ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ IV
ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΒΙΟΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

«Αξιολόγηση της Ποιότητας Ανάφλεξης Gasoil Χαμηλού Θείου από Ελληνικά Διυλιστήρια»

Επιβλέπων: Δημήτριος Καρώνης Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

Ονοματεπώνυμο: Αναστάσιος Μουιάνος
Αριθμός Μητρώου: 05110651
Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο: «Αξιολόγηση της Ποιότητας Ανάφλεξης Gasoil Χαμηλού Θείου από Ελληνικά Διυλιστήρια» εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2014-2015, στα πλαίσια της εκπαιδευτικής διαδικασίας, στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών.

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον υπεύθυνο και επιβλέπων Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Δημήτριο Καρώνη για την ανάθεση της εργασίας αυτής και την καθοριστική συμβολή του για την ολοκλήρωσή της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον Μηχανολόγο Μηχανικό και Υποψήφιο Διδάκτορα Ηρακλή Ζάχο-Σιάγκο, που με καθοδήγησε σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας και βοήθησε με τις επισημάνσεις και παρατηρήσεις του, αφιερώνοντας πολύτιμο χρόνο και εκφράζοντας ιδιαίτερο ενδιαφέρον, όπως επίσης και το προσωπικό του εργαστηρίου των ΕΛ.ΠΕ. και της Motor Oil, για τη διάθεση των δειγμάτων καυσίμων και τη πραγματοποίηση μετρήσεων στις ιδιότητές τους.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους συναδέλφους μου, για την αμέριστη υποστήριξη και συμπαράσταση που επέδειξαν καθ΄ όλη τη διάρκεια των σπουδών στη Σχολή Χημικών Μηχανικών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της ποιότητας ανάφλεξης και άλλων φυσικοχημικών ιδιοτήτων των καυσίμων ντήζελ και συγκεκριμένα δειγμάτων gasoil, χαμηλού θείου. Οι ιδιότητες που μελετήθηκαν είναι η ποιότητα ανάφλεξης, η οποία περιγράφεται με την κλίμακα του αριθμού κετανίου, οι θερμοκρασίες απόσταξης των κλασμάτων των καυσίμων, που περιγράφονται σχηματικά με τις καμπύλες απόσταξης, το ιξώδες, η πυκνότητα και ιδιότητα ροής, μετρώντας το σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου.

Από το σύνολο των ιδιοτήτων αυτών, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην ποιότητα ανάφλεξης των καυσίμων ντήζελ, στο πώς οι υπόλοιπες ιδιότητες επηρεάζουν αυτή και ποιες πρότυπες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για το προσδιορισμό του αριθμού κετανίου, συγκρίνοντας αυτές μεταξύ τους ως προς το εύρος, τον τρόπο και τις συνθήκες λειτουργίας, τη βαθμονόμησή τους και τα μέτρα ακρίβειας των αποτελεσμάτων τους, επαναληψιμότητα και αναπαραγωγισιμότητα.

Οι πρότυπες μέθοδοι που έχουν θεσπιστεί για το προσδιορισμό και υπολογισμό του αριθμού κετανίου και οι οποίες θα συγκριθούν μεταξύ τους είναι:

- ASTM-D613, πρότυπη μέθοδος μέτρησης αριθμού κετανίου για καύσιμα ντήζελ.
- ASTM-D6890, πρότυπη μέθοδος προσδιορισμού αριθμού κετανίου, για καύσιμα ντήζελ, σε θάλαμο καύσης σταθερού όγκου.
- ASTM-D7668 πρότυπη μέθοδος προσδιορισμού παραγόμενου αριθμού κετανίου, για καύσιμα ντήζελ, υστέρησης ανάφλεξης και κατανάλωσης, χρησιμοποιώντας θάλαμο καύσης σταθερού όγκου.
- ASTM-D7170 πρότυπη μέθοδος προσδιορισμού παραγόμενου αριθμού κετανίου, καυσίμων ντήζελ, σταθερής περιόδου έγχυσης σε θάλαμο καύσης σταθερού όγκου.
- ASTM-D4737 πρότυπη μέθοδος υπολογισμού του δείκτη κετανίου χρησιμοποιώντας εξίσωση τεσσάρων μεταβλητών.
- ASTM-D-976 πρότυπη μέθοδος υπολογισμού δείκτη κετανίου

Ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων αυτών έγινε με τον εργαστηριακό εξοπλισμό του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών και των Εργαστηρίων Ασπροπύργου και Ελευσίνας των ΕΛ.ΠΕ, ακολουθώντας τις πρότυπες μεθόδους για την εκάστοτε ιδιότητα.

Οι πρότυπες μέθοδοι με τις οποίες προσδιορίστηκαν οι προαναφερόμενες ιδιότητες, με τις αντίστοιχες συσκευές είναι:

- ASTM-D7170, χρησιμοποιώντας τη συσκευή «Ελέγχου Ποιότητας Ανάφλεξης» (Fuel Ignition Tester-FIT)

- ASTM-D7334, πρότυπη μέθοδος απόσταξης προϊόντων πετρελαίου και υγρών καυσίμων σε ατμοσφαιρική πίεση (μέθοδος μειωμένου μεγέθους), χρησιμοποιώντας τη συσκευή απόσταξης μειωμένου μεγέθους MiniDisADXpert.
- ASTM-D7042, πρότυπη μέθοδος μέτρησης δυναμικού ιξώδους και πυκνότητας, με ιξωδόμετρο Stabinger (και υπολογισμός του κινηματικού ιξώδους), χρησιμοποιώντας τη συσκευή SV-3000.
- ASTM-D6371, πρότυπη μέθοδος υπολογισμού σημείου ψυχρού φίλτρου απόσταξης καυσίμων ντήζελ και καυσίμων θέρμανσης, χρησιμοποιώντας τη συσκευή FPP5G.

Αρχικός στόχος είναι ο έλεγχος της ακρίβειας και της σταθερότητας των μετρήσεων της συσκευής «Ελέγχου Ποιότητας Ανάφλεξης», για τον προσδιορισμό του παραγόμενου αριθμού κετανίου (Derived Cetane Number – DCN). Τα δείγματα καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονταν από διάφορες πηγές και από διαφορετικές ημερομηνίες. Η ακρίβεια και η σταθερότητα της εν λόγω συσκευής βασίστηκε στη χρήση του μέτρου της επαναληψιμότητας της μεθόδου, μελετώντας τα αποτελέσματα των επαναλήψεων κάθε δείγματος ξεχωριστά. Επίσης πραγματοποιήθηκε σύγκριση του παραγόμενου αριθμού κετανίου με τον «Υπολογιζόμενο Δείκτη Κετανίου», χρησιμοποιώντας το μέτρο της αναπαραγωγισιμότητας της μεθόδου. Τέλος ελέγχθηκε η διακύμανση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με τη χρήση αυτής της συσκευής, προσθέτοντας επιπλέον στοιχεία που επιβεβαιώνουν την ακρίβεια και σταθερότητα της συσκευής «Ελέγχου Ποιότητας Ανάφλεξης».

Επιπρόσθετα διαθέτοντας πειραματικά δεδομένα από δύο διαφορετικά εργαστήρια και δεδομένα μετρήσεων της ίδιας ιδιότητας, αλλά προσδιορισμένη με διαφορετική μέθοδο και εξοπλισμό, συγκεκριμένα για τις θερμοκρασίες απόσταξης, δίνεται η δυνατότητα επεξεργασίας και στατιστικής ανάλυσης των εξαγόμενων πειραματικών δεδομένων των καμπυλών απόσταξης των δειγμάτων καυσίμων συγκρίνοντας τις διαφορές θερμοκρασιών που παρατηρήθηκαν, ανάμεσα στις δύο μεθόδους. Η μελέτη αυτή παρουσιάζει τις περιοχές στις οποίες, τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις και διαφορές, αλλά και αυτές στα οποία τείνουν να ταυτίζονται. Τα δεδομένα τόσο αυτών που διαφέρουν αλλά και αυτών που συγκλίνουν, αποτελούν μία αρχική βάση δεδομένων, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για περαιτέρω μελέτη, διερεύνησης αυτής της συμπεριφοράς, είτε λόγω χημικής και ποσοτικής σύστασης των καυσίμων, είτε λόγω ευαισθησίας της συσκευής μέτρησης απόσταξης μειωμένου μεγέθους. Επιπρόσθετα δίνεται η δυνατότητα χρήσης των δεδομένων απόσταξης που προέρχονται από την εν λόγω συσκευή, στην περιοχή όπου παρουσιάζεται σύγκλιση, αφού αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν ως ακριβή.

Ολοκληρώνοντας τα προαναφερόμενα σημεία μελέτης και στόχους της εργασίας αυτής, διαθέτοντας ένα σύνολο πειραματικών δεδομένων, έγινε προσπάθεια συσχέτισης των ιδιοτήτων των δειγμάτων καυσίμων ντήζελ, λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή τους στον Αριθμό Κετανίου, χρησιμοποιώντας λογισμικό ανάλυσης δεδομένων, εξάγοντας μία μαθηματική σχέση η οποία θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί, ως μία ακόμη εμπειρική σχέση ώστε να δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού του αριθμού κετανίου μετρώντας συγκεκριμένες ιδιότητες δειγμάτων καυσίμων. Τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά λόγω του μικρού διαθέσιμου αριθμού

δειγμάτων, δίνουν όμως τα πρώτα στοιχεία για τη διαμόρφωση μίας σχετικής βάσης δεδομένων, λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο που αλληλοεπιδρούν οι φυσικές ιδιότητες των καυσίμων, στην ποιότητα ανάφλεξής τους. Επίσης παρατηρείται ποιες από τις ιδιότητες αυτές είναι ικανές να προσφέρουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα οι θερμοκρασίες των χαρακτηριστικών ποσοστών απόσταξης και η πυκνότητα, ενώ αντίθετα τα αποτελέσματα της χρήσης του ιξώδους και της περιεκτικότητας των αρωματικών δεν μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στη βελτίωση της ικανότητας πρόβλεψης του αριθμού κετανίου.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 2

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΡΟΝΥΜΙΩΝ 7

1.1. Γενικά Στοιχεία 8

1.2. Ιδιότητες Καυσίμων Ντήζελ και Επίδραση αυτών στην Ποιότητα Ανάφλεξης και Καύσης τους 11

1.2.1. Εισαγωγή 11

1.2.2. Ιδιότητες Καυσίμων Ντήζελ 12

1.3. Πετρελαιομηχανές 16

1.3.1. Γενικά 16

1.3.2. Λειτουργία Εγχυτήρα 16

1.3.3. Λειτουργία Τετράχρονης Πετρελαιομηχανής 18

1.3.4. Καύσιμα Μηχανών Diesel 20

1.4. Αριθμός Κετανίου (Cetane Number) 21

1.4.1. Γενικά 21

1.4.2. Συσχέτιση Μοριακή Δομής Η/C και Αριθμού Κετανίου 21

1.4.3. Μέθοδοι Προσδιορισμού Αριθμού Κετανίου 23

1.4.4. Ιστορική Εξέλιξη του Πρότυπου Κινητήρα Εκτίμησης Αριθμού Κετανίου ... 24

1.4.5. Μέθοδοι Εκτίμησης Αριθμού Κετανίου 26

1.5. Μέθοδοι Προσδιορισμού Αριθμού Κετανίου και Παραγόμενου Αριθμού Κετανίου. 29

1.5.1. Πρότυπη Μέθοδος Προσδιορισμού Αριθμού Κετανίου, Καυσίμων Ντήζελ (ASTM D-613) 29

1.5.2. Πρότυπη Μέθοδος Προσδιορισμού της Υστέρησης Ανάφλεξης και του «Παραγόμενου Αριθμού Κετανίου» (Derived Cetane Number), για Καύσιμα ντηζελ μέσω Καύσης σε Θάλαμο Σταθερού Όγκου (ASTM-D6890) 39

1.5.3. Πρότυπη Μέθοδος Προσδιορισμού του «Παραγόμενου Αριθμού Κετανίου» (Derived Cetane Number DCN), καυσίμων ντήζελ (ASTM-D7668) 46

1.5.4. Πρότυπη Μέθοδος Προσδιοριαμού του «Παραγόμενου Αριθμού Κετανίου» (Derived Cetane Number DCN), καυσίμων ντήζελ , σταθερής περιόδου έγχυσης σε θάλαμο καύσης σταθερού όγκου (ASTM-D7170) 52

1.5.5. Σύγκριση Πρότυπων Μεθόδων Προσδιορισμού Αριθμού Κετανίου 53

1.6. Πρότυπες Μέθοδοι Προσδιορισμού Λοιπών Ιδιοτήτων Καυσίμων Ντήζελ . 59

1.6.1 Πρότυπη Μέθοδος Απόσταξης για Παράγωγα Πετρελαίου, υπό Ατμοσφαιρική Πίεση (ASTM D-86) 59

1.6.2. Πρότυπη Μέθοδος Απόσταξης Προϊόντων Πετρελαίου και Υγρών Καυσίμων υπό Ατμοσφαιρική Πίεση (Mini Method) (ASTM-D7344) 63

1.6.3. Πρότυπη Μέθοδος Προσδιορισμού Δυναμικού Ιξώδους και Πυκνότητας Υγρών με Ιξωδόμετρο Stanbinger (και υπολογισμός Κινηματικού Ιξώδους) (ASTM-D7042)…….65

1.6.4. Πρότυπη Μέθοδος Προσδιορισμού Σημείου Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου Καυσίμων Ντήζελ και Καυσίμων Θέρμανσης (ASTM D-6371) 66

2.1. Εισαγωγή 67

2.2. Δείγματα Καυσίμων 67

2.3. Μέτρηση Παραγόμενου Αριθμού Κετανίου Δειγμάτων Καυσίμων Ντήζελ .. 68

2.4. Απόσταξη Δειγμάτων Καυσίμων Ντήζελ..... 93

2.5. Μέτρηση Ιξώδους και Πυκνότητας Δειγμάτων Καυσίμων Ντήζελ..... 111

2.6. Μέτρηση Σημείου Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου Δειγμάτων Καυσίμων Ντήζελ ……114

2.7. Συσχετισμός Ιδιοτήτων Δειγμάτων Καυσίμων ντήζελ..... 116

3. Συμπεράσματα 128

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Α» 130

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Β» 136

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Γ» 139

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Δ» 141

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Ε» 144

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «ΣΤ» 147

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Ζ» 151

Βιβλιογραφία 154

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΡΟΝΥΜΙΩΝ

Α/Α	Ακρωνύμιο	Πλήρης Περιγραφή
1	H/C	Hydrocarbons
2	BP	Boiling Point
3	FBP	Final Boiling Point
4	IBP	Initial Boiling Point
5	CN	Cetane Number
6	AMN	Alpha-nethylnaphtalene
7	HMN	Heptamethyl-nonane
8	MCH	Methylocyclohexane
9	CN	Cetane Number
10	ID	Ignition Delay
11	CVCC	Constant Volume Combustion Chamber
12	DCN	Derived Cetane Number
13	CCI	Calculated Cetane Index
14	CR	Compression Ratio
15	Rpm	Rounds Per Minute
16	CF	Check Fuel
17	RF	Reference Fuel
18	PRF	Primary Reference Fuel
19	SRF	Secondary Reference Fuel
20	QCS	Quality Control Sample
21	CD	Combustion Delay
22	H/Y	Ηλεκτρονικός Υπολογιστής
23	CI	Cetane Index
24	ARV	Accepted Reference Value
25	IP	Injection Period
26	CFPP	Cold Filter Plugging Point

Κεφάλαιο 1

Θεωρητικό Μέρος

1.1. Γενικά Στοιχεία

Τα καύσιμα ντήζελ (Diesel Fuel) αποτελούν ένα μείγμα υδρογονανθράκων (Hydrocarbons - H/C), τα οποία προέρχονται από την απόσταξη του αργού πετρελαίου. Στη σύστασή τους περιέχουν κυρίως H/C αλυσίδες, με εύρος αριθμού ατόμων άνθρακα από 9 έως 20, το σημείο βρασμού τους (Boiling Point – BP), κυμαίνεται στο εύρος των 163 – 357°C. Στα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στους κινητήρες της αυτοκινητοβιομηχανίας παρατηρούνται και H/C αλυσίδες με πάνω από 28 άτομα άνθρακα, και τελικό σημείο βρασμού (Final Boiling Point – FBP), πάνω από τους 390° C.

Τα καύσιμα ντήζελ αποτελούν τα καύσιμα που παρέχουν την ενέργεια για την λειτουργία των κινητήρων ντήζελ (Diesel Engine). Οι εν λόγω κινητήρες πήραν το όνομά τους από τον Γερμανό μηχανικό, που τις εφεύρε το έτος 1892, ενώ το έτος 1897 λειτούργησε επιτυχώς ο πρώτος ντηζελοκινητήρας.

Στα πρώτα χρόνια λειτουργίας του ντηζελοκινητήρα, έγινε ευρέως γνωστός και η χρήση του εξαπλώθηκε διότι είχε την ικανότητα να χρησιμοποιεί μεγάλη ποικιλία φθηνών καυσίμων. Αργότερα οι απαιτήσεις που αφορούσαν στην απόδοση και τα οικονομικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας, προώθησαν την εξέλιξη των προδιαγραφών των καυσίμων και καθιέρωση προτύπων για αυτές, ώστε να επιτυγχάνονται τα επιθυμητά χαρακτηριστικά απόδοσης και ειδικότερα στον τομέα των μεταφορών.

Τα καύσιμα ντήζελ χαρακτηρίζονται ως μεσαία αποστάγματα και είναι πιο πυκνά από την βενζίνη, με αποτέλεσμα να παρέχουν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας ανά μονάδα όγκου σε σύγκριση με τη βενζίνη.

Τα καύσιμα ντήζελ κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τα πρότυπα των Η.Π.Α με τα αντιστοιχα χαρακτηριστικά τους τις εξής κατηγορίες:

- **Καύσιμα ντήζελ No1:** Αποτελούνται από H/C αλυσίδες κυρίως με 9 έως 16 άτομα άνθρακα και έχει σημεία βρασμού προσεγγιστικά από 150 έως 300°C και προέρχονται κυρίως από απευθείας ρεύματα απόσταξης (Straight-Run). Αυτή η κατηγορία ντήζελ χρησιμοποιείται κυρίως για εφαρμογές θέρμανσης.

- **Καύσιμα ντήζελ No2:** Αποτελούνται από μείγματα αποσταγμάτων του αργού πετρελαίου όπως απευθείας μεσαία αποστάγματα, από καταλυτικά διασπώμενα ρεύματα, υδρογονοαποθειωμένα μεσαία αποστάγματα και

θερμικά πυρολυμένα αποστάγματα. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκει και το καύσιμο ντήζελ κίνησης, που χρησιμοποιείται στην αυτοκινητοβιομηχανία.

- **Καύσιμα Ντήζελ Νο.4:** Χρησιμοποιούνται κυρίως σε κινητήρες χαμηλών και μεσαίων ταχυτήτων, το οποίο ονομάζεται ναυτιλιακό καύσιμο και χαρακτηρίζεται και ως υπολειμματικό. Για την παραγωγή του χρησιμοποιούνται μείγματα ρευμάτων απόσταξης, τα οποία περιέχουν συστατικά με υψηλά σημεία βρασμού, τα οποία χαρακτηρίζονται ως υπολειμματικά. [1]

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει το πρότυπο EN-590, με βάση το οποίο τα καύσιμα ντήζελ, χωρίζονται σε 6 κατηγορίες (Grade A-F), με βάση τις διαφορετικές τιμές της ιδιότητας που ονομάζεται «Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου» (Cold Filter Plugging Point-CFPP) και αφορά στις ιδιότητες ροής των καυσίμων ντήζελ. Η εν λόγω κατηγοριοποίηση παρουσιάζεται στο παρακάτω πίνακα (Πιν 1.1.1). Επιπλέον, υπάρχουν 5 άλλες κλάσεις καυσίμου ντήζελ (κατηγορία 0 έως 4) που χαρακτηρίζονται από διαφορετικές ιδιότητες και αφορούν περιοχές με Αρκτικό κλίμα ή παρόμοιες κλιματολογικές συνθήκες (Πιν 1.1.2). [2]

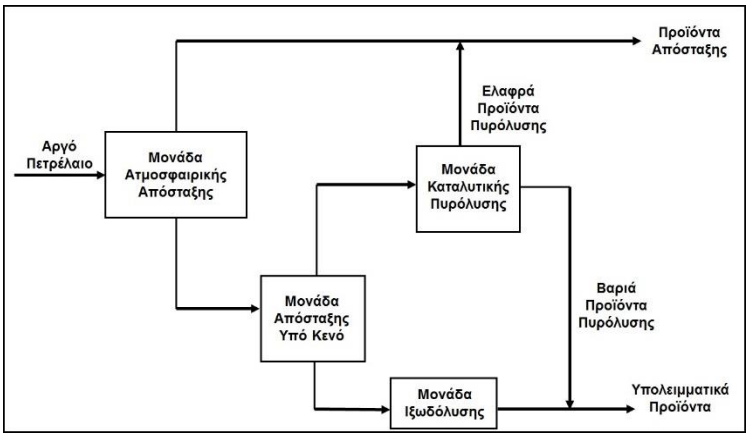
Πίνακας 1.1.1 Ευρωπαϊκό Πρότυπο Κατηγοριοποίησης Καυσίμων Ντήζελ EN-590 (Grade A-F) [2]

Property	Unit	Limits						Test method
		Grade A	Grade B	Grade C	Grade D	Grade E	Grade F	
CFPP	°C, max.	+5	0	−5	−10	−15	−20	EN 116 EN 16329

Πίνακας 1.1.2 Ευρωπαϊκό Πρότυπο Κατηγοριοποίησης Καυσίμων Ντήζελ EN-590 (Class 0-4) [2]

Property	Units	Limits					Test method
		class 0	class 1	class 2	class 3	class 4	
CFPP	°C, max.	−20	−26	−32	−38	−44	EN 116 EN 16329
Cloud point	°C, max.	−10	−16	−22	−28	−34	EN 23015
Density at 15 °C	kg/m^3,min. kg/m^3, max.	800,0 845,0	800,0 845,0	800,0 840,0	800,0 840,0	800,0 840,0	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosity at 40 °C	mm^2/s, min. mm^2/s, max.	1,500 4,000	1,500 4,000	1,500 4,000	1,400 4,000	1,200 4,000	EN ISO 3104
Cetane number EU	minimum	51,0	51,0	51,0	51,0	51,0	EN ISO 5165 EN 15195 EN 16144
Cetane number	minimum	49,0	49,0	48,0	47,0	47,0	EN ISO 5165 EN 15195 EN 16144
Cetane index	minimum	46,0	46,0	46,0	43,0	43,0	EN ISO 4264
Distillation recovered at 180 °C recovered at 340 °C	 % (*V/V*), max. % (*V/V*), min.	 10,0 95,0	 10,0 95,0	 10,0 95,0	 10,0 95,0	 10,0 95,0	EN ISO 3405 EN ISO 3924

Στο παρακάτω γράφημα (Γραφ 1.1.1.) παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ατμοσφαιρικής και υπο κενό απόσταξης και τα προϊόντα αυτών.



Γράφημα 1.1.1 Διάγραμμα Ατμοσφαιρικής και υπό Κενό Απόσταξης Αργού Πετρελαίου και τα Προϊόντα τους

➢ Χημική Σύσταση

- Καύσιμα ντήζελ No1: Αποτελούνται κυρίως από κανονικές και διακλαδισμένες Η/C αλυσίδες (παραφινικές), κυκλικές αλυσίδες (ναφθενικές) και αρωματικές αλυσίδες. Το εύρος των θερμοκρασιών βρασμού των εν λόγω καυσίμων αποκλείει τη μεγάλη περιεκτικότητα σε βενζολικούς και πολυαρωματικούς Η/C.

- Καύσιμα ντήζελ No2: Αποτελούνται κυρίως από κανονικές και διακλαδισμένες Η/C αλυσίδες (παραφινικές), κυκλικές αλυσίδες (ναφθενικές) και αρωματικές αλυσίδες και μείγματα κυκλικών και αρωματικών Η/C. Όταν τα καύσιμα της κατηγορίας αυτής αποτελούνται κυρίως από ρεύματα ατμοσφαιρικής απόσταξης, τότε πιθανότατα να περιέχουν λιγότερο από 5%, πολυαρωματικούς Η/C, στις περιπτώσεις που αποτελούνται από ρεύματα τόσο ατμοσφαιρικής αλλά και απόσταξης υπό κενό και ελαφρά διασπώμενα αποστάγματα, το ποσοστό αυτό ανέρχεται το πολύ σε 10%.

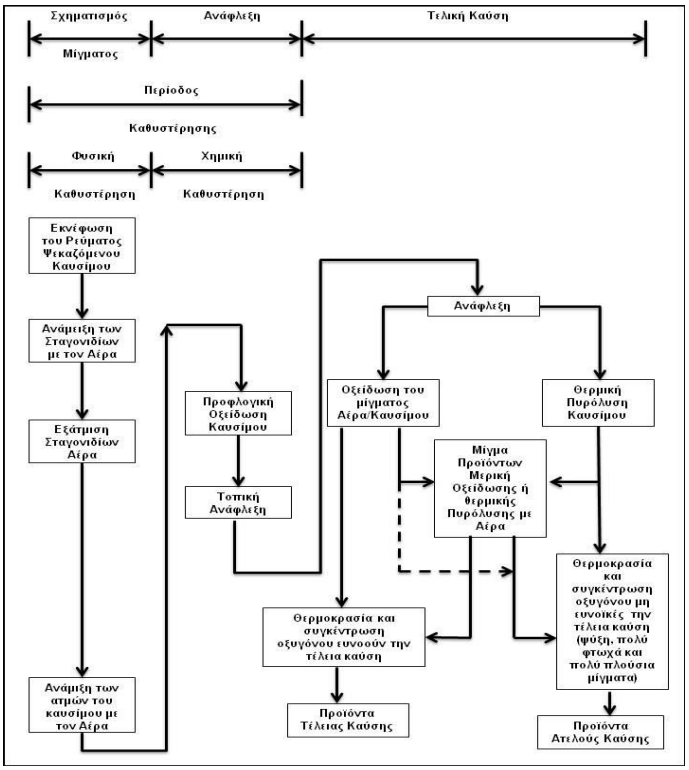
- Καύσιμα ντήζελ No4: Αποτελούνται από όλες τις προαναφερόμενες κατηγορίες ενώσεων και μάλιστα σε μεγαλύτερα ποσοστά, αφού αποτελούν τα υπολειμματικά προϊόντα τόσο της ατμοσφαιρικής αλλά και της απόσταξης υπό κενό. [1]

1.2. Ιδιότητες Καυσίμων Ντήζελ και Επίδραση αυτών στην Ποιότητα Ανάφλεξης και Καύσης τους

1.2.1. Εισαγωγή

Για να επιτευχθεί ανάφλεξη σε έναν κινητήρα απαιτείται η ύπαρξη ενός εύφλεκτου μείγματος αέρα-καυσίμου και μίας ενεργειακής πηγής που θα αναφλέξει το μείγμα και θα εκκινήσει τη διεργασία της καύσης. Στον κινητήρα ντήζελ, το εύφλεκτο μείγμα δημιουργείται από την έγχυση του καυσίμου υπό τη μορφή ενός τέλεια διεσπαρμένου εκνεφώματος που αναμιγνύεται με τον έντονα στροβιλεζόμενο και συμπιεζόμενο αέρα μέσα στο θάλαμο καύσης. Η ενέργεια που απαιτείται προέρχεται από την υψηλή θερμοκρασία του συμπιεσμένου αέρα, που προκαλεί την ανάφλεξη του καυσίμου, όταν αυτό εισάγεται λίγο πριν την φάση της συμπίεσης.

Η καύση στους κινητήρες ντήζελ, πραγματοποιείται σε στάδια που περιλαμβάνουν φυσικές και χημικές διεργασίες. Οι φυσικές διεργασίες περιλαμβάνουν το στροβιλισμό και τη δημιουργία του μίγματος αέρα-καυσίμου καθώς και τη δημιουργία της πίεσης και της θερμοκρασίας που απαιτούνται για να γίνουν οι χημικές αντιδράσεις. Οι χημικές αντιδράσεις ξεκινούν με την αυτανάφλεξη του καυσίμου και προχωρούν στην πλήρη καύση του καυσίμου που απελευθερώνει τη θερμική του ενέργεια. Στο παρακάτω γράφημα (Γρ 1.2.1.1), παρατηρούνται όλες οι φάσεις και τα στάδια, με τις αντίστοιχες φυσικοχημικές αντιδράσεις κατά τη διάρκεια καύσης καυσίμου ντήζελ. [3]



Γράφημα 1.2.1.1 Φυσικές και Χημικές Διεργασίες κατά τη Διάρκεια Καύσης σε Κινητήρες Ντήζελ [3]

1.2.2. Ιδιότητες Καυσίμων Ντήζελ

Όπως έχει προαναφερθεί κατά τη διάρκεια της καύσης των καυσίμων ντήζελ, στους αντίστοιχους κινητήρες, πραγματοποιούνται τόσο φυσικές αλλά και χημικές διεργασίες. Μέσω της χημικής ενέργειας που εκλύεται κατά τη φάση της καύσης, παρατηρείται η παραγωγή κινητικής ενέργειας, μέσα από την κίνηση των βασικών μερών του κινητήρα. Το καύσιμο έχει και άλλους ρόλους, όπως η λίπανση συγκεκριμένων εξαρτημάτων αλλά και η ψύξη των λειτουργικών μεταλλικών επιφανειών κατά τη φάση της τριβής αυτών. Συνεπώς το είδος, αλλά και η περιεκτικότητα των συστατικών του καυσίμου επηρεάζουν άμεσα τις φυσικοχημικές ιδιότητές του. [4]

Οι βασικότερες προς εξέταση ιδιότητες των καυσίμων ντήζελ είναι οι παρακάτω:

- Ποιότητα Ανάφλεξης (Ignition Quality)
- Πτητικότητα (Velocity)
- Ιξώδες (Viscosity)
- Πυκνότητα (Density)
- Περιεκτικότητα σε Αρωματικά
- Ιδιότητες Ροής

➢ Ποιότητα Ανάφλεξης

Η ευκολία ανάφλεξης των καυσίμων ντήζελ και ο τρόπος με τον οποίο καίγονται, καθορίζουν την ποιότητα ανάφλεξης των καυσίμων. Το καύσιμο εγχέεται μέσα στο θάλαμο καύσης σε υγρή μορφή, και αυτό πρέπει να έχει τη δυνατότητα να εξατμίζεται πολύ γρήγορα και να αναφλέγεται χωρίς φλόγα ή σπινθήρα. Η ικανότητα αυτή του καυσίμου, καλείται ποιότητα ανάφλεξης.

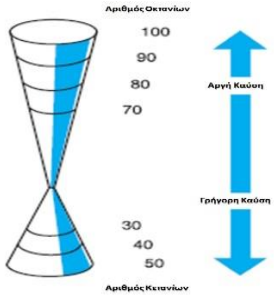
Η κατάταξη των τύπων Η/C ανάλογα με την ποιότητα ανάφλεξής του είναι:

Αρωματικοί < Ναφθενικοί < Ισοπαραφινικοί < Παραφινικοί [3, 4]

Γενικά η αύξηση του αριθμού ατόμων άνθρακα του μορίου αυξάνει την τάση του για αυτανάφλεξη. Μία υψηλή περιεκτικότητα σε κανονικές, μη διακλαδισμένες παραφίνες (C_nH_{2n+2}), ειδικά αυτών με μακριές ανθρακικές αλυσίδες, βελτιώνει την ποιότητα ανάφλεξης. Σε αντίθεση τα κυκλικά και αρωματικά μόρια, με τις σταθερές κυκλικές δομές, είναι δύσκολο να διασπαστούν και μειώνουν την ποιότητα ανάφλεξης. Η επιρροή των ισοπαραφινών και των ολεφινών, είναι πιο περίπλοκη. Η υψηλή συγκέντρωση αυτών έχει την τάση να μειώνει την ποιότητα ανάφλεξης του καυσίμου, αλλά αυτό εξαρτάται από το μέγεθος των διακλαδώσεων. Για παράδειγμα αν οι διακλαδώσεις είναι συγκεντρωμένες στο ένα άκρο της ανθρακικής αλυσίδας, αυτό του είδος τα μόρια μπορεί να επηρεάσουν θετικά την ποιότητα ανάφλεξης. [5]

Στην παρακάτω εικόνα (Εικ 1.2.2.1), παρουσιάζεται η σύγκριση του αριθμού κετανίου των καυσίμων ντήζελ και του αριθμού οκτανίου των καυσίμων

βενζίνης. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός κετανίου, αυξάνεται η ταχύτητα της καύσης, και αντίθετα με την αύξηση του αριθμού οκτανίου μειώνεται η ταχύτητα καύσης. [3, 4]



Εικόνα 1.2.2.1Σύγκριση Αριθμού Κετανίου και Αριθμού Οκτανίου [4]

Ο αριθμός κετανίου αποτελεί την σημαντικότερη ιδιότητα που χαρακτηρίζει την ποιότητα ανάφλεξης των καυσίμων ντήζελ. Στην παράγραφο που αναφέρεται στον αριθμό κετανιού θα δοθεί ο ορισμός του, ο μαθηματικός τύπος που τον περιγράφει, τους τρόπους μέτρησής, πως η σύσταση των καυσίμων επηρεάζουν το μέτρο αυτού και η εκτίμησή του χρησιμοποιώντας διάφορες ιδιότητες των καυσίμων.

➢ Πτητικότητα

Η πτητικότητα, χαρακτηρίζει την ικανότητα του καυσίμου να αλλάζει κατάσταση, δηλαδή από υγρό σε ατμό. Γενικά όσο μειώνεται η πτητικότητα τόσο αυξάνονται οι επικαθίσεις άνθρακα και τη φάση της καύσης, αλλά και οι φθορές στον κινητήρα.

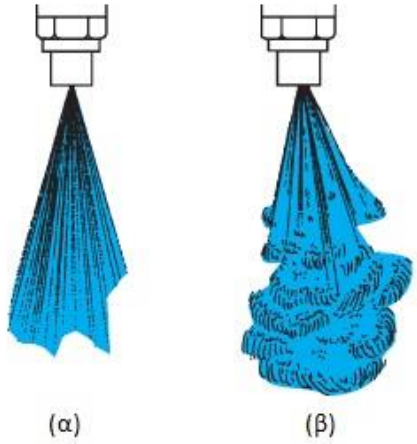
Τα χαρακτηριστικά της πτητικότητας ενός καυσίμου ντήζελ εκφράζονται σε όρους θερμοκρασίας στην οποία αποστάζουν συγκεκριμένες ποσότητες από ένα δείγμα του καυσίμου υπό ελεγχόμενη θέρμανση και εντός πρότυπης συσκευής. Η απόσταξη ή η περιοχή βρασμού επηρεάζει και άλλες ιδιότητες όπως το ιξώδες, το σημείο ανάφλεξης, τη θερμοκρασία αυτανάφλεξης, τον αριθμό κετανίου και την πυκνότητα. [3, 4]

➢ Ιξώδες

Το ιξώδες είναι πάρα πολύ σημαντικό για τη σωστή λειτουργία του κινητήρα, καθώς συμβάλει στη λίπανση των κινούμενων μερών στο σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου, αλλά καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και την ποιότητα του εκνεφώματος που παράγεται από το σύστημα έγχυσης καυσίμου. Χαρακτηρίζει την ιδιότητα ενός ρευστού να αντιστέκεται στη δύναμη που το ωθεί σε ροή και είναι άμεσα συνδεδεμένο με το σημείο ροής και την πυκνότητα.

Τα καύσιμα ντήζελ που έχουν χαμηλό δείκτη ιξώδους, είναι λεπτόρευστα σε υψηλές θερμοκρασίας, αλλά μπορεί να γίνονται παχύρευστα σε αντίστοιχες χαμηλές. Το καύσιμο όμως διέρχεται μέσα από το σύστημα έγχυσης και πρέπει αυτό να γίνεται με ευκολία τόσο σε υψηλές αλλά και σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Το ιξώδες των καυσίμων επηρεάζουν και το αποτύπωμα της έγχυσης μέσα από το αντίστοιχο σύστημα. Παρατηρείται ότι τα λεπτόρευστα καύσιμα παρουσιάζουν ιδανικά και ομοιόμορφα αποτυπώματα έγχυσης, τα οποία συμβάλουν στην άριστη ποιότητα του εκνεφώματος (Εικ 1.2.2.2). [3, 4]



Εικόνα 1.2.2.2 Ποιότητες Αποτυπώματος Έγχυσης, (α) Καλή Ποιότητα (β) Χαμηλή Ποιότητα [4]

➢ Πυκνότητα

Η πυκνότητα ενός καυσίμου, δηλαδή η μάζα της μονάδας του όγκου του καυσίμου, μπορεί να δώσει χρήσιμες ενδείξεις για τη σύσταση του καυσίμου και τα χαρακτηριστικά σχετικά με τη λειτουργία του κινητήρα. Επίσης χρησιμοποιείται και η σχετική πυκνότητα (Specific Gravity), που μπορεί να εκφραστεί σαν ειδικό βάρος, το οποίο υπολογίζεται από το λόγο της πυκνότητας του καυσίμου, προς τη πυκνότητα του νερού. Η σχετική πυκνότητα επηρεάζει την είσοδο του καυσίμου, με ψεκασμό, καθώς αυτό εισέρχεται στο θάλαμο καύσης. Αφού το καύσιμο ντήζελ επιπλέει στον νερό, αυτό έχει σχετική πυκνότητα μικρότερη της μονάδας και το εύρος αυτής είναι από 0,80 έως 0,94.

Η πυκνότητα έχει άμεση σχέση με το είδος των Η/C, που περιέχονται στο καύσιμο, καθώς και με τον αριθμό ατόμων άνθρακα του μορίου. Η σχέση για την πυκνότητα ανάλογα με την κατηγορία είναι:

Παραφινικοί < Ναφθενικοί < Αρωματικοί

Γενικά η αύξηση του αριθμού ατόμων άνθρακα στο μόριο, αυξάνει την πυκνότητα του Η/C. [3, 4]

➢ Περιεκτικότητα σε Αρωματικά

Ο όρος αρωματικά περιλαμβάνει το σύνολο των ενώσεων που υπάρχουν στο ντήζελ και περιλαμβάνουν τουλάχιστον έναν αρωματικό δακτύλιο στο μόριό τους. Στα καύσιμα ντήζελ περιλαμβάνονται Η/C με δέκα (10) έως είκοσι (20) άτομα άνθρακα, επομένως οι ενώσεις που έχουν αρωματικό δακτύλιο, έχουν και ένα

τμήμα μη αρωματικό (παραφινικό ή ναφθενικό). Σε μικρές αναλογίες μπορεί να υπάρξουν μόρια με δύο (2) ή και τρεις (3) αρωματικούς δακτυλίους. [3]

Τα μόρια Η/C, τα οποία έχουν κυκλικές δομές, παρουσιάζουν αυξημένη σταθερότητα, με αποτέλεσμα να απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις για να επιτευχθεί η ανάφλεξή τους. Συνεπώς όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα ενός καυσίμου σε αρωματικά τόσο μειώνεται η ποιότητα ανάφλεξης του. [5]

➢ Ιδιότητες Ροής

Οι ιδιότητες ροής αποτελούν ενδείξεις συμπεριφοράς των καυσίμων ντήζελ σε χαμηλές θερμοκρασίες. Οι παραφινικές ενώσεις είναι επιθυμητές λόγω της πολύ καλής ποιότητας ανάφλεξης τους, η ύπαρξη όμως μεγαλομορίων παραφίνης παρουσιάζει το πρόβλημα του διαχωρισμού της σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Ο διαχωρισμός αυτός προκαλεί προβλήματα στο σύστημα διανομής του καυσίμου και είναι ανεπιθύμητος.

Για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων ροής σε χαμηλές θερμοκρασίες υπάρχουν οι παρακάτω μέθοδοι:

- Σημείο Θόλωσης
- Σημείο Ροής
- Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου
- Σημείο Εμφάνισης Παραφίνης
- Δοκιμή Ροής Χαμηλών Θερμοκρασιών [3]

1.3. Πετρελαιομηχανές

1.3.1. Γενικά

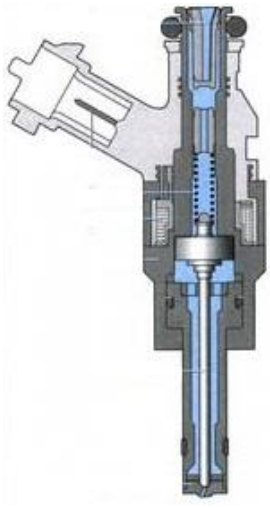
Οι πετρελαιομηχανές ανήκουν στις μηχανές καύσης ή μηχανές ντήζελ. Όπως υποδηλώνει και το όνομα τους, οι μηχανές της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιούν ως καύσιμο πετρέλαιο. Οι πετρελαιομηχανές διαφέρουν από τις βενζινομηχανές ως προς το σύστημα ανάφλεξης του καυσίμου. Στη βενζινομηχανή συμπιέζεται μείγμα βενζίνης και αέρα σε θερμοκρασία χαμηλότερη από τη θερμοκρασία αυτανάφλεξης του καυσίμου, και την κατάλληλη στιγμή παράγεται σπινθήρας από τον αναφλεκτήρα που προκαλεί την έκρηξη. Στην πετρελαιομηχανή συμπιέζεται μόνο αέρας και την κατάλληλη στιγμή εισάγεται το καύσιμο με έγχυση στο θερμό αέρα, γεγονός που οδηγεί στην αυτανάφλεξη του πετρελαίου. Έτσι, στις πετρελαιομηχανές ο αναφλεκτήρας και ο εξαερωτήρας, που υπάρχουν στις βενζινομηχανές αντικαθίσταται από τον εγχυτήρα καυσίμου. Κατά τα λοιπά, η πετρελαιομηχανή έχει τα ίδια λειτουργικά μέρη με τη βενζινομηχανή. Επειδή στις πετρελαιομηχανές κατά το χρόνο της συμπίεσης δεν υπάρχει καύσιμο μέσα στον κύλινδρο, προφανώς δεν είναι δυνατό να συμβεί πρόωρη ανάφλεξη. Έτσι οι μηχανές “Diesel” μπορεί να λειτουργούν σε μεγαλύτερους βαθμούς συμπίεσης, από ότι οι μηχανές “Otto”. [6]

1.3.2. Λειτουργία Εγχυτήρα

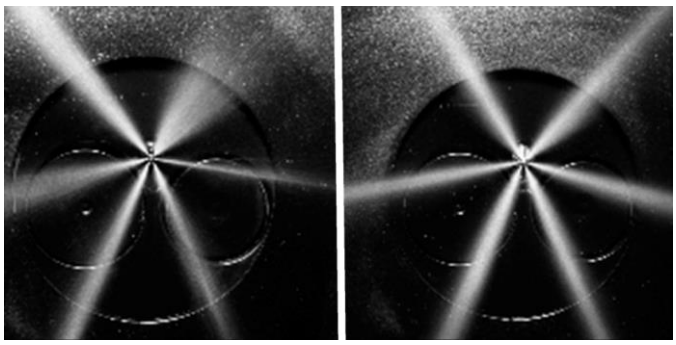
Για την έγχυση του καυσίμου στο χώρο καύσης απαιτείται αντλία, λόγω του ότι κατά τη στιγμή της έγχυσης του καυσίμου επικρατεί μέσα στον κύλινδρο μεγάλη πίεση. Η αντλία καταθλίβει το καύσιμο στην απαιτούμενη υψηλή πίεση και ρυθμίζει την ποσότητα του καυσίμου που θα εγχυθεί. Επειδή, για την καλή καύση, το πετρέλαιο πρέπει να έχει διασπαστεί σε λεπτότατα σταγονίδια χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό διάφορες τεχνικές ή μέθοδοι. Η πιο συνήθης μέθοδος είναι η μηχανική έγχυση του καυσίμου με εγχυτήρα διαμέσου ενός στενού ακροφυσίου, δημιουργούμενου έτσι νέφους σταγονιδίων. Για την πλήρη καύση των σταγονιδίων του πετρελαίου χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα. Συνήθως, στο άνω μέρος του σώματος του κυλίνδρου υπάρχει προθάλαμος, ο οποίος συγκοινωνεί με τον κύριο θάλαμο καύσης της μηχανής με στενή δίοδο ή οπές μικρού μεγέθους. Μέσα στον προθάλαμο καύσης καταλήγει το ακροφύσιο της έγχυσης. [6]

Εγχυτήρες καυσίμων υπάρχουν σε πολλούς τύπος, όλοι όμως βασίζονται στην ίδια γενική αρχή λειτουργίας, αλλά ο καθένας τους έχει τη δική του κατασκευαστική μορφή, η οποία εξαρτάται από τον τύπο και τις ειδικές συνθήκες λειτουργίας της μηχανής, στην οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Η Εικόνα 1.3.2.1 δείχνει τη γενική διάταξη και την αρχή λειτουργίας ενός τυπικού εγχυτήρα με ακροφύσιο. Το καύσιμο υψηλής πίεσης μετά την αντλία εισέρχεται στον εγχυτήρα. Αμέσως μετά την εισαγωγή του, το καύσιμο κατέρχεται διαμέσου αγωγού που υπάρχει στο σώμα του εγχυτήρα και φτάνει στο θάλαμο πίεσης του ακροφυσίου πάνω από την

έδρα της βελονοειδούς βαλβίδας. Η βαλβίδα ανυψώνεται μόλις η πίεση του καυσίμου υπερβεί την πίεση που ασκεί το ελατήριο στην κορυφή του εγχυτήρα. Όταν συμβεί αυτό, το καύσιμο υψηλής πίεσης αναγκάζεται να περάσει από το στόμιο ή τις οπές του ακροφυσίου και να εγχυθεί στον προθάλαμο καύσης. Λόγω της υψηλής πίεσης του πετρελαίου και του μικρού μεγέθους των οπών, το καύσιμο διασκορπίζεται σε πλήθος μικρών σωματιδίων, το οποίο βοηθάει σημαντικά την ταχεία και επιτυχή καύση του πετρελαίου (Εικ 1.3.2.2). [6]



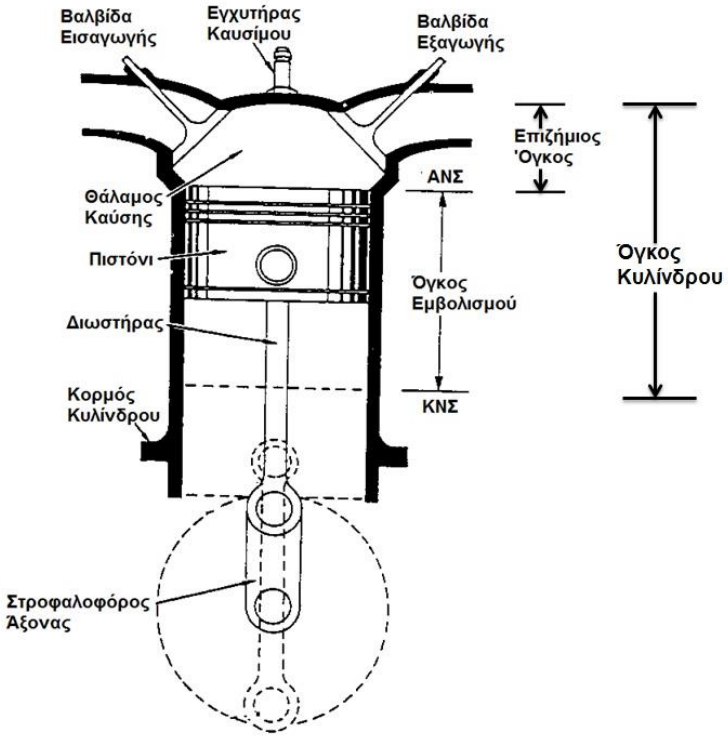
Εικόνα 1.3.2.1Τυπικός Εγχυτήρας Καυσίμου



Εικόνα 1.3.2.2 Έγχυση Σταγονιδίων Καυσίμου στο Θάλαμο Καύσης [7]

1.3.3. Λειτουργία Τετράχρονης Πετρελαιομηχανής

Στην Εικόνα 1.3.3.1 παρουσιάζεται η τομή ενός τυπικού συστήματος κυλίνδρου και πιστονιού ενός πετρελαιοκινητήρα, στο οποίο διακρίνονται τα βασικά μέρη αυτού και τα χαρακτηριστικά μεγέθη.



Εικόνα 1.3.3.1 Τομή Συστήματος Κυλίνδρου Πιστονιού Πετρελαιοκινητήρα

Η λειτουργία των μηχανών ντήζελ (δίχρονων και τετράχρονων) είναι παρόμοια με εκείνη των βενζινομηχανών. Για την επεξήγηση του τρόπο λειτουργίας ο συγκεκριμένος τύπος πετρελαιομηχανής, θεωρείται προς στιγμή τη μηχανή να τίθεται σε περιστροφική κίνηση με τη βοήθεια κινητικής ενέργειας και το έμβολο να βρίσκεται στο άνω νεκρό σημείο ¨ΑΝΣ¨. [6]

1^{ος} Χρόνος (Αναρρόφηση ή Εισαγωγή)

Κατά το πρώτο χρόνο το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ. Η βαλβίδα εισαγωγής είναι ανοιχτή, ενώ η βαλβίδα εξαγωγής και ο εγχυτήρας είναι κλειστά. Λόγω του κενού που δημιουργείται μέσα στον κύλινδρο κατά την κάθοδο του εμβόλου, προκαλείται αναρρόφηση ποσότητας φρέσκου αέρα στον κύλινδρο διαμέσου της ανοιχτής βαλβίδας εισαγωγής. Η διεργασία αναρρόφησης του αέρα διακόπτεται όταν το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ. Τη στιγμή εκείνη, η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει αυτόματα, εγκλωβίζοντας έτσι τον αναρροφηθέντα αέρα στον κύλινδρο (Εικ 1.3.3.2 (α)). [6]

2ος Χρόνος (Συμπίεση)

Κατά το δεύτερο χρόνο, το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ. Οι δύο βαλβίδες της μηχανής είναι κλειστές, το ίδιο και ο εγχυτήρας. Καθώς το έμβολο ανέρχεται, ο αέρας που είναι εγκλωβισμένος στον κύλινδρο αρχίζει να συμπιέζεται και εισρέει στον προθάλαμο. Ο αέρας γίνεται πολύ θερμός, φτάνοντας στη μέγιστη θερμοκρασία περίπου 900 ^{o}C, η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία ανάφλεξης του πετρελαίου (Εικ 1.3.3.2 (β)). [6]

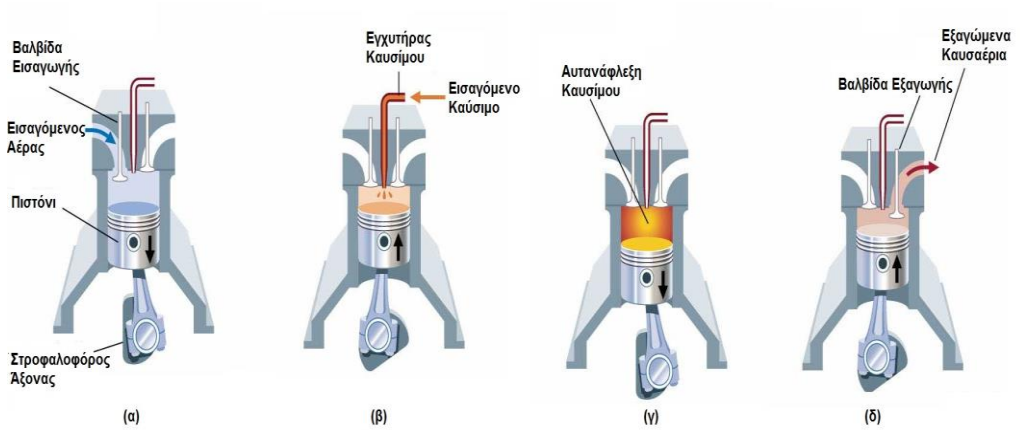
3ος Χρόνος (Καύση και Εκτόνωση)

Κατά τον τρίτο χρόνο, και οι δύο βαλβίδες της μηχανής είναι κλειστές. Καθώς το έμβολο φτάνει στο ΑΝΣ και η θερμοκρασία έχει φτάσει στη μέγιστη τιμής της, αρχίζει η έγχυση του πετρελαίου στον προθάλαμο, η οποία συνεχίζεται και κατά το 1/10 περίπου προς τα κάτω διαδρομής του εμβόλου. Το πετρέλαιο αναμειγνυόμενο με το θερμό αέρα αυταναφλέγεται και αρχίζει η καύση του. Το καιόμενο μείγμα μέσα στον προθάλαμο, εκτονούμενο, εισέρχεται με στροβιλώδη ροή στο θάλαμο καύσης της μηχανής. Με τη ροή αυτή επιτυγχάνεται καλύτερη ανάμειξη και συνεπώς, πληρέστερη καύση του πετρελαίου. Τα υψηλής πίεσης αέρια ωθούν το έμβολο με δύναμη προς τα κάτω και αυτό με τη σειρά του αναγκάζει το στροφαλοφόρο άξονα να περιστραφεί παράγοντας έτσι κινητήριο έργο κατά τη διάρκεια εκτόνωσης του συστήματος (Εικ 1.3.3.2 (γ). [6]

Η καύση στους ντηζελοκινητήρες πραγματοποιείται σε στάδια που περιλαμβάνουν φυσικές και χημικές διεργασίες. Οι φυσικές διεργασίες περιλαμβάνουν το στροβιλισμό και τη δημιουργία μίγματος αέρα – καυσίμου καθώς και τη δημιουργία πίεσης και της θερμοκρασίας που απαιτούνται για να γίνουν οι χημικές αντιδράσεις. Οι χημικές διεργασίες ξεκινούν με την αυτανάφλεξη του καυσίμου και προχωρούν στην πλήρη καύση του καυσίμου που απελευθερώνει την θερμική ενέργεια. [3]

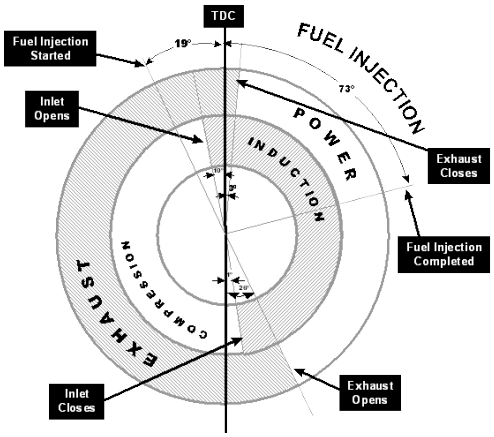
4ος Χρόνος (Εξαγωγή)

Κατά τον τέταρτο χρόνο το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ. Η βαλβίδα εισαγωγής και εγχυτήρας είναι κλειστά, ενώ η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει λίγο πριν το έμβολο φθάσει στο ΑΝΣ και ο κύλινδρος επικοινωνεί με το περιβάλλον. Έτσι καθώς το έμβολο ανέρχεται, τα καυσαέρια αναγκάζονται να εξέλθουν από τον κύλινδρο στην ατμόσφαιρα διαμέσου της ανοιχτής βαλβίδας εξόδου. Τέλος, όταν το έμβολο φθάσει στο ΑΝΣ η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει και ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής νέου φρέσκου αέρα για να ακολουθήσει επόμενος κύκλος λειτουργίας της μηχανής (Εικ 1.3.3.2. (δ)). [6]



Εικόνα 1.3.3.2 Χρόνοι Λειτουργίας Τετράχρονης πετρελαιομηχανής

Οι ακριβείς χρόνοι όπου γίνονται το άνοιγμα και το κλείσιμο κάθε βαλβίδας και η έγχυση του πετρελαίου όπως, επίσης, η διάρκεια των διακριτών λειτουργιών της μηχανής, απεικονίζονται παραστατικά στο αντίστοιχο σπειροειδές διάγραμμα, που είναι παρόμοιο με εκείνο της τετράχρονης βενζινομηχανής (Εικ 1.3.3.3.). [6]



Εικόνα 1.3.3.3 Σπειροειδές Διάγραμμα Λειτουργίας Τετράχρονης Πετρελαιομηχανής

1.3.4. Καύσιμα Μηχανών Diesel

Στις μηχανές Diesel, χρησιμοποιούνται πετρέλαια διαφόρων τύπων, στις μηχανές αυτοκινήτων και στους σταθερούς κινητήρες μικρής μέχρι και μέσης ισχύος χρησιμοποιείται το λεγόμενο πετρέλαιο κίνησης ή ντήζελ κίνησης, ενώ στις μηχανές πλοίων και στους σταθερούς κινητήρες μεγάλης ισχύος χρησιμοποιείται το βαρύ πετρέλαιο ή ντήζελ πλοίων (ναυτιλιακό). Οι απαιτήσεις ποιότητας του ντήζελ κίνησης είναι πολύ μεγαλύτερες από εκείνες του ντήζελ των πλοίων. Οι δύο κυριότερες προδιαγραφές ποιότητας πετρελαίου είναι ο αριθμός κετανίου και η περιεκτικότητα σε θείο. [6]

1.4. Αριθμός Κετανίου (Cetane Number)

1.4.1. Γενικά

Ως αριθμός κετανίου (Cetane Number – CN), ορίζεται το μέτρο επίδοσης της ανάφλεξης ενός καυσίμου ντήζελ, συγκρίνοντας το με την αντίστοιχη επίδοση ενός καυσίμου αναφοράς σε ένα πρότυπο κινητήρα ελέγχου. [8]

Η κλίμακα του CN, κυμαίνεται από το μηδέν (0) έως και το εκατό (100), αλλά οι τυπικές τιμές μετρήσεων καλύπτουν το εύρος από 30 έως 65 CN. Η αυθαίρετη αυτή κλίμακα του CN, αρχικά οριζόταν ως η επί τοις εκατό ογκομετρική αναλογία μειγμάτων, του κανονικού κετανίου (n-cetane) και του άλφα-μεθυλναφθαλενίου (Alpha-methylnapthalane – AMN), όπου το n-cetane είχε CN=100 και το AMN είχε CN=0. Η αλλαγή από το AMN στο επταμέθυλο – εννεάνιο (Ισοκετάνιο, Heptamethylnonane - HMN), ως συστατικό με χαμηλό CN, έγινε το 1962, διότι το HMN χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη διαθεσιμότητα και μεγαλύτερη αποθηκευτική σταθερότητα. Για το HMN έχει οριστεί ως CN_{ARV}=15. Η μαθηματική σχέση που περιγράφει τον CN, ενός καυσίμου ντήζελ είναι η εξής (Εξ. 1.1):

$$CN = volume - v\%\, ncetane + 0{,}15(volume - v\%HMN) \qquad \text{(Εξ. 1.1) [8]}$$

1.4.2. Συσχέτιση Μοριακή Δομής Η/C και Αριθμού Κετανίου

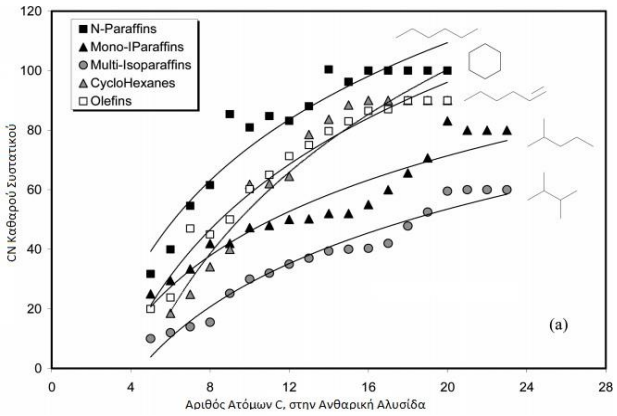
Όπως έχει προαναφερθεί, ο CN αποτελεί μέτρο της ποιότητας ανάφλεξης, ενός καυσίμου ντήζελ και για να μετρηθεί το μέτρο αυτό έχουν κατασκευαστεί όργανα μέτρησης της υστέρησης ανάφλεξης (Ignition Delay – ID) των καυσίμων αυτών. Ως ID ορίζεται ο μετρούμενος χρόνος, από τη στιγμή της έγχυσης του καυσίμου στο θάλαμο καύσης μέχρι τη στιγμή της ανάφλεξής του [8, 9, 10, 11].

Ένα καύσιμο με υψηλό CN έχει μικρό ID, και η ανάφλεξη του ξεκινάει άμεσα μετά την έγχυσή του. Στη παράγραφο ιδιοτήτων των καυσίμων ντήζελ και συγκεκριμένα στην ποιότητα ανάφλεξης, αναφέρθηκαν τα είδη των Η/C, που παρατηρούνται στα καύσιμα αυτά και η μειούμενη σειρά που έχουν, με βάση την ιδιότητα αυτή. Η ποιότητα ανάφλεξης περιγράφεται με τη κλίμακα του CN, συνεπώς, αυτή η κλίμακα επηρεάζεται άμεσα από τη σύσταση και περιεκτικότητα των Η/C, που παρατηρούνται στις κατηγορίες των καυσίμων ντήζελ. Ανάλογα με την ποιότητα ανάφλεξης έτσι και με το CN, οι κανονικές παραφινικές Η/C αλυσίδες, αυξάνουν το CN και όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητά τους τόσο μεγαλύτερος είναι και ο CN, ενώ αντίθετα οι ολεφινικές αλυσίδες, οι ναφθενικοί και αρωματικοί δακτύλιοι, που απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες για να αναφλεγούν, μειώνουν την ποιότητα ανάφλεξης και αντίστοιχα το CN. Η επιθυμητή μοριακή δομή είναι η κανονική παραφινική αλυσίδα, διότι ακόμη και οι διακλαδώσεις, και συγκεκριμένα οι πολλαπλές, μειώνουν την ποιότητα ανάφλεξης και αντίστοιχα το CN. Στα παρακάτω διαγράμματα (Γραφ1.4.2.1,2) παρουσιάζεται η τάση μεταβολής του CN σε σχέση τόσο με το είδος

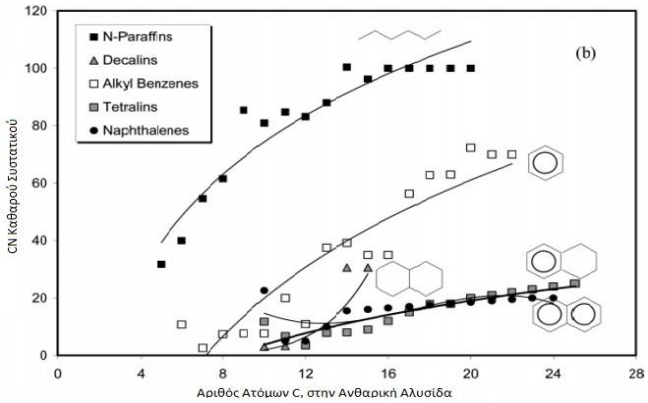
των Η/C αλυσίδων, αλλά και με τον αριθμό των ατόμων άνθρακα, που απαρτίζουν αυτές.

Η παρατηρούμενη τάση είναι ότι οι κανονικές (μη διακλαδισμένες) παραφινικές Η/C αλυσίδες χαρακτηρίζονται από υψηλούς αριθμού CN και όσο αυξάνεται ο αριθμός των ατόμων άνθρακα στην αλυσίδα τόσο αυξάνεται και ο CN. Σε αντίθεση με τις κανονικές παραφινικές αλυσίδες, οι διακλαδισμένες χαρακτηρίζονται από μικρότερους CN, όπως επίσης ρόλο παίζει και η θέση των διακλαδώσεων, αν αυτές είναι συγκεντρωμένες στο ένα άκρο, τότε αυξάνεται ο CN, σε σύγκριση με τις διάσπαρτες διακλαδώσεις στην παραφινική Η/C αύσίδα. Οι ολεφινικές αλυσίδες σε σχέση με τις διακλαδισμένες, χαρακτηρίζονται από υψηλότερο CN και τείνουν να προσεγγίσουν τη συμπεριφορά των παραφινών. Οι αρωματικές και ναφθενικές αλυσίδες χαρακτηρίζονται από τους χαμηλότερους CN, λόγω αυξημένης σταθερότητας των δακτυλίων. Η θέση όμως του κυκλικού μορίου επηρεάζει τον CN, όπως και η θέση των διακλαδώσεων. [12]

Τα καύσιμα ντήζελ Νο2, τα οποία χρησιμοποιούνται στους κινητήρες της αυτοκινητοβιομηχανίας, αποτελούνται από μείγμα Η/C αλυσίδων σε διάφορες περιεκτικότητες, δηλαδή περιέχουν κανονικές και διακλαδισμένες παραφινικές αλυσίδες, και αρωματικές αλυσίδες, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται από χαμηλότερο CN σε σύγκριση με τα καύσιμα ντήζελ Νο1, όμως σε αυτά της πρώτης κατηγορίας χρησιμοποιούνται πρόσθετα ως βελτιωτικά του CN. [1]



Γράφημα 1.4.2.1Διάγραμμα Συσχέτισης Μοριακής Δομής Η/C και CN [12]



Γράφημα 1.4.2.2 Διάγραμμα Συσχέτισης Μοριακής Δομής Η/C και CN [12]

Παρατηρώντας αυτή τη συσχέτιση μοριακής δομής και CN, έχουν γίνει προσπάθειες προσδιορισμού του χρησιμοποιώντας φυσικές μεθόδους ανάλυσης όπως «Φασματοσκοπία Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού» (Nuclear Magnetic Resonance-NMR), «Φασματοσκοπία Υπερύθρου» (Fourier Transform Infrared Spectroscopy - FTIR) και «Αέρια Χρωματογραφία - Φασματομετρία Μάζας» (Gas Chromatography/Mass Spectroscopy – GC/MS), και ανάπτυξη μοντέλων προσδιορισμού του CN, χρησιμοποιώντας τις μεθόδους αυτές. [12]

1.4.3. Μέθοδοι Προσδιορισμού Αριθμού Κετανίου

Όπως προαναφέρθηκε η ποιότητα ανάφλεξης και αντίστοιχα ο CN, εξαρτάται άμεσα από τη χημική και ποσοτική σύσταση των καυσίμων ντήζελ. Η ανάπτυξη όμως μοντέλων βάση των προηγούμενων χαρακτηριστικών δεν μπορεί να εξαγάγει αξιόπιστα αποτελέσματα. Συνεπώς ο προσδιορισμός του CN, δε βασίζεται στη μελέτη της σύστασης αλλά στα χαρακτηριστικά λειτουργίας πρότυπων κινητήρων και άλλων οργάνων μέτρησης.

Η κατασκευή αυτών των πρότυπων κινητήρων ξεκίνησε παράλληλα με την αυξητική τάση της χρήσης των κινητήρων ντήζελ και ειδικά στο τομέα των μεταφορών, όπου άρχισαν να ορίζονται προδιαγραφές για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καυσίμων αυτών, τα οποία είναι αλληλένδετα με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και την απόδοση των κινητήρων.

Οι συσκευές μέτρησης που χρησιμοποιούνται για το προσδιορισμό του CN είναι τα παρακάτω:

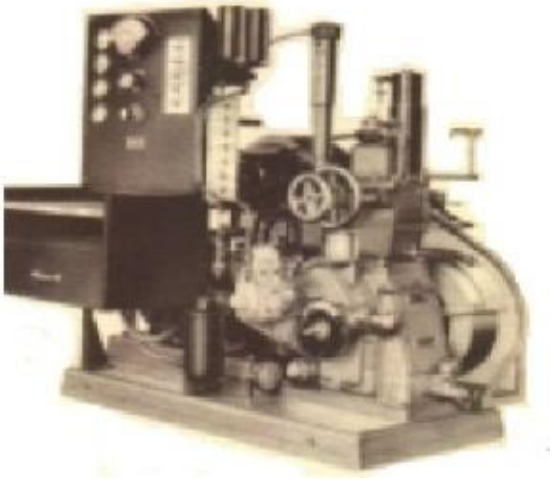
- Πρότυπος μονοκύλινδρος κινητήρας μεταβλητού όγκου συμπίεσης (Cooperative Fuel Research-CFR), ο σχεδιασμός του οποίου και η λειτουργία του καθορίζεται από τη πρότυπη μέθοδο ASTM-D613. [8]
- Πρότυπη συσκευή προσδιορισμού του ID και του παραγόμενου αριθμού κετανίου (Derived Cetane Number – DCN), σε θάλαμο καύσης σταθερού όγκου ο σχεδιασμός της οποίας και η λειτουργία της καθορίζεται από τη πρότυπη μέθοδο ASTM-D6890. [9]
- Πρότυπη συσκευή προσδιορισμού του ID, της υστέρησης καύσης (Combustion Delay – CD) και του DCN, σε θάλαμο καύσης σταθερού όγκου, ο σχεδιασμός της οποίας και η λειτουργία της καθορίζεται από τη πρότυπη μέθοδο ASTM-D7668. [10]
- Πρότυπη συσκευή προσδιορισμού του DCN, σταθερής περιόδου έγχυσης (Injection Period – IP) καυσίμου, σε σταθερού όγκου θάλαμο καύσης, ο σχεδιασμός της οποίας και η λειτουργεία της καθορίζεται από τη πρότυπη μέθοδο ASTM-D7170. [11]

1.4.4. Ιστορική Εξέλιξη του Πρότυπου Κινητήρα Εκτίμησης Αριθμού Κετανίου

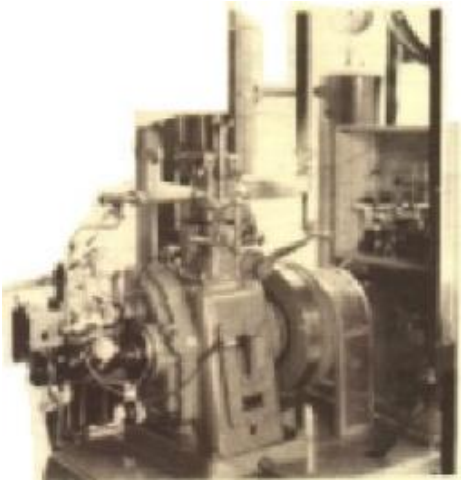
Τη δεκαετία του 1920 συστάθηκε η επιτροπή Συνεργατικής Έρευνας Καυσίμων (Cooperative Fuel Research-CFR) για να ανταποκριθεί στην ανάγκη των διυλιστηρίων και των κατασκευαστών κινητήρων, ώστε να αναπτυχθεί ένας τρόπος μέτρησης και ο καθορισμός χαρακτηριστικών καύσης της βενζίνης. Η επιτροπή αποτελούνταν από μια διορατική ομάδα παραγωγών καυσίμου και των κατασκευαστών κινητήρων. Το 1928 η επιτροπή πήρε την απόφαση ότι μια τυποποιημένη μονοκύλινδρη μηχανή δοκιμής, ήταν αναγκαία ως πρώτο βήμα στην ανάπτυξη μίας μεθόδου ελέγχου «κτυπήματος» κινητήρων βενζίνης. Στις αρχές Δεκεμβρίου του 1928, η επιτροπή CFR δέχθηκε το βασικό σχεδιασμό της εταιρίας Waukesha Motor και των λεπτομερειών σχεδιασμού αυτής. [13]

Ο πρώτος κινητήρας σχεδιάστηκε, κατασκευάστηκε, δοκιμάστηκε και παραδόθηκε στο Ντιτρόιτ σε λιγότερο από 45 ημέρες. Τέθηκε στη διάθεση στις 14 Ιανουαρίου 1929 στο ετήσιο συνέδριο της Ένωσης Μηχανικών Αυτοκινητοβιομηχανίας (Society of Automotive Engineers). Ο πρότυπος αυτός κινητήρας βελτίωσε την ικανότητα της αυτοκινητοβιομηχανίας και των βιομηχανιών πετρελαίου να προσαρμόσουν τα προϊόντα τους ώστε να αποδίδουν καλύτερα μαζί, επειδή παρείχε ένα αναγνωρισμένο πρότυπο για τον καθορισμό της ποιότητας των καυσίμων. Αυτό αναμφίβολα οδήγησε στην ταχεία εξέλιξη των δύο καυσίμων και των αντίστοιχων κινητήρων τους. Οι κινητήρες CFR πωλούνται ακόμη και σήμερα για τη βασική έρευνα σε νέους τομείς, όπως οι εκπομπές ρύπων και η καταλληλόλητα των εναλλακτικών καυσίμων. Στις παρακάτω εικόνες παρατηρείται η χρονική και η τεχνολογική εξέλιξη των πρότυπων κινητήρων (Εικ 1.4.4.1-4). [13]

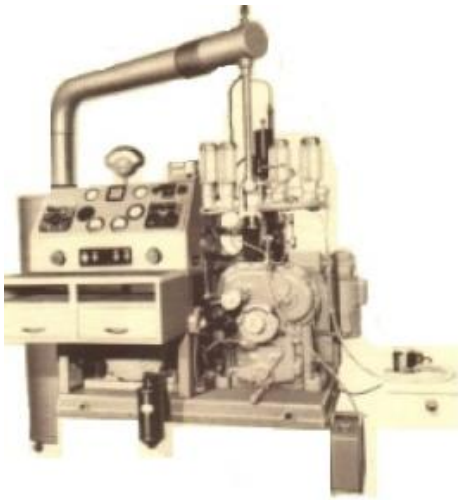
Εικόνα 1.4.4.1 Ο πρώτος κινητήρας CFR κατασκευασμένος το 1929 [13]



Εικόνα 1.4.4.2 Ο πρώτος κινητήρας μέτρησης Αριθμού Κετανίου κατασκευασμένος το 1936 [13]



Εικόνα 1.4.4.3 Υπερτροφοδοτούμενη έκδοση του κινητήρα CFR, για αξιολόγηση των αεροπορικών βενζινών, εξελίχθηκε κατά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο [13]



Εικόνα 1.4.4.4 Σύγχρονος κινητήρας CFR, με υδρόψυκτο καρμπιρατέρ [13]

Ο πρότυπος κινητήρας CFR Waukesha, αναγνωρίζεται από την Αμερικανική Εταιρεία Μηχανολόγων Μηχανικών (American Society of Mechanical Engineers – ASME), ως το τεσσαρακοστό ένατο στη σειρά των ιστορικών μηχανικών ορόσημων. Λόγω του διεθνούς ενδιαφέροντος στην αρχική επιτροπή CFR, η οποία προσδιόρισε την ανάγκη για αυτή την ανάπτυξη του πρότυπου κινητήρα, και τη διεθνή χρήση του κινητήρα από την αρχή της κατασκευής του, ο κινητήρας αυτός είναι επίσης αποδέκτης της πρώτης διεθνής αναγνώρισης ως ορόσημο της Εθνικής Ιστορίας της ASME (ASME National History) και Επιτροπής Κληρονομιάς (Heritage Committee). Ο κινητήρας CFR είχε τελειοποιηθεί μέσα στην ίδια χρονιά, από τότε που ολοκληρώθηκε το 1929, και οι βασικές αρχές σχεδιασμού και τα χαρακτηριστικά του θαλάμου καύσης, παραμένουν μέχρι και σήμερα ως αρχικά είχαν σχεδιαστεί. Σχεδόν 5.000 από αυτές τις μηχανές που έχουν παραχθεί και πωληθεί παγκοσμίως, με ετήσια παραγωγή περίπου 85 κινητήρες ανά έτος και αξίζει να σημειωθεί ότι είναι το μεγαλύτερο συνεχώς παραγόμενο μοντέλο στην ιστορία της εταιρείας. [13]

1.4.5. Μέθοδοι Εκτίμησης Αριθμού Κετανίου

Παρά τη συνεχώς εξελισσόμενη κατασκευαστική τεχνολογία, που αφορά στις πρότυπες συσκευές προσδιορισμού του «Παραγόμενου Αριθμού Κετανίου» (Derived Cetane Number – DCN), παρατηρείται η ύπαρξη μελετών και καθιέρωση πρότυπων μεθόδων, οι οποίες έχουν σαν στόχο την εκτίμηση του CN, μέσω μαθηματικών σχέσεων οι οποίες θα περιγράφουν τη συσχέτιση των διάφορων ιδιοτήτων των καυσίμων ντήζελ, με αυτή της ποιότητας ανάφλεξης. Οι κυριότερες ιδιότητες που χρησιμοποιούνται είναι η πυκνότητα, το ιξώδες, τα σημεία βρασμού, το σημείο ανιλίνης και η περιεκτικότητα σε διάφορα συστατικά, όπως τα αρωματικά.

Η καθιέρωση τέτοιων μαθηματικών σχέσεων εισάγουν μία ακόμη παράμετρο στην ποιότητα ανάφλεξης των καυσίμων ντήζελ, η οποία ονομάζεται «Υπολογιζόμενος Δείκτης Κετανίου» (Calculated Cetane Index – CCI). Για το CCI έχουν καθιερωθεί μέθοδοι υπολογισμού του, οι οποίες περιγράφονται από τις παρακάτω πρότυπες μεθόδους.

Ο CCI είναι ένα εργαλείο που διατίθεται για τον υπολογισμό του CN όταν μία συσκευή προσδιορισμού δεν είναι διαθέσιμη για τον προσδιορισμό της ιδιότητας αυτής. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη προσέγγιση του CN, όπου η ποσότητα του δείγματος είναι πάρα πολύ μικρή για την εκτίμησή σε πρότυπο κινητήρα. Σε περιπτώσεις όπου ο CN των καυσίμων έχει αρχικά καθοριστεί, ο δείκτης είναι χρήσιμος ως δείκτης ελέγχου του CN σε επόμενα δείγματα, υπό τον όρο ότι η προέλευσή και ο τρόπος παρασκευής τους παραμένουν αμετάβλητα. [14, 15]

1. ASTM-D976

Οι μαθηματικές σχέσεις που υπολογίζουν τον CCI με βάση αυτή τη μέθοδο είναι οι παρακάτω:

$$CCI = -420{,}34 + 0{,}016G^2 + 0{,}192G\log(M) + 65{,}01(\log(M))^2 - 0{,}0001809M^2$$ (Εξ 1.4.5.1) [14]

$$CCI = 454{,}74 - 1641{,}416D + 774{,}74D^2 - 0{,}554B + 97{,}803(\log(B))^2$$ (Εξ 1.4.5.2) [14]

Όπου:

- G= Ειδικό Βάρος (API Gravity)
- M=Θερμοκρασία (^{o} F) στην οποία έχει εξατμιστεί το 50%, της αρχικής ποσότητας (Mid-Boiling Temperature)
- D=Πυκνότητα (Density) gr/ml, μετρημένη στους 15°C
- B= G= Ειδικό Βάρος (API Gravity)
- M=Θερμοκρασία (^{o} C) στην οποία έχει εξατμιστεί το 50%, της αρχικής ποσότητας, διορθωμένη στη βαρομετρική πίεση

Οι παραπάνω σχέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συγκεκριμένα καύσιμα όπως αυτά που δεν έχουν βελτιωτικά καυσίμων, δεν είναι καθαροί Η/C, δεν είναι συνθετικά καύσιμα (προϊόντα πετρελαίου από άμμο, πίσσα και λιθανθρακόπισσα κλπ), και ακατέργαστα καύσιμα και υπολείμματα. [14]

2. ASTM-D4737

Οι μαθηματικές σχέσεις που υπολογίζουν τον CCI με βάση αυτή τη μέθοδο είναι οι παρακάτω (Εξ.1.4.5.3-5):

$$CCI = 45{,}52 + 0{,}0892T_{10N} + (0{,}131 + 0{,}901B)T_{50N} + (0{,}0523 - 0{,}420B)T_{90N} + 0{,}00049(T_{10N}^2 - T_{90N}^2) + 107B + 60B^2$$ (Εξ 1.4.5.3) [15]

Όπου:

- D= Πυκνότητα (Density) gr/ml, μετρημένη στους 15°C
- DN= D-0,85
- B=$(e^{-3{,}5DN}) - 1$
- T_{10}= Θερμοκρασία (^{o} C) στην οποία έχει εξατμιστεί το 10%, της αρχικής ποσότητας, διορθωμένη στη βαρομετρική πίεση
- $T_{10N} = T_{10} - 215$
- T_{50}= Θερμοκρασία (^{o} C) στην οποία έχει εξατμιστεί το 50%, της αρχικής ποσότητας, διορθωμένη στη βαρομετρική πίεση

- $T_{50N} = T_{50} - 260$
- T_{90}= Θερμοκρασία (^{o} C) στην οποία έχει εξατμιστεί το 90%, της αρχικής ποσότητας, διορθωμένη στη βαρομετρική πίεση
- $T_{90N} = T_{90} - 310$

Η παραπάνω εξίσωση, παράχθηκε από μετρήσεις σε δείγμα διάφορων καυσίμων όπως εμπορικά καύσιμα ντήζελ, μείγματα προϊόντων απόσταξης και πετρέλαια παραγόμενα από άμμο, πίσσα και λιθανθρακόπισσα

$$CCI = -399{,}9D + 0{,}1113T_{10} + 0{,}1212T_{50} + 0{,}0627T_{90} + 309{,}33$$ (Εξ 1.4.5.4) [15]

Όπου:

- D= Πυκνότητα (Density) gr/ml, μετρημένη στους 15°C
- T_{10}= Θερμοκρασία (^{o} C) στην οποία έχει εξατμιστεί το 10%, της αρχικής ποσότητας, διορθωμένη στη βαρομετρική πίεση
- T_{50}= Θερμοκρασία (^{o} C) στην οποία έχει εξατμιστεί το 50%, της αρχικής ποσότητας, διορθωμένη στη βαρομετρική πίεση
- T_{90}= Θερμοκρασία (^{o} C) στην οποία έχει εξατμιστεί το 90%, της αρχικής ποσότητας, διορθωμένη στη βαρομετρική πίεση

$$CCI = -399{,}90D + 0{,}06183T_{10} + 0{,}06733T_{50} + 0{,}03483T_{90} + 304{,}09$$ (Εξ 1.4.5.5) [15]

Όπου:

- D= Πυκνότητα (Density) gr/ml, μετρημένη στους 15°C
- T_{10}= Θερμοκρασία (^{o} F) στην οποία έχει εξατμιστεί το 10%, της αρχικής ποσότητας, διορθωμένη στη βαρομετρική πίεση
- T_{50}= Θερμοκρασία (^{o} F) στην οποία έχει εξατμιστεί το 50%, της αρχικής ποσότητας, διορθωμένη στη βαρομετρική πίεση
- T_{90}= Θερμοκρασία (^{o} F) στην οποία έχει εξατμιστεί το 90%, της αρχικής ποσότητας, διορθωμένη στη βαρομετρική πίεση

Η εμπειρική αυτή σχέση παράχθηκε από μετρήσεις σε καύσιμα ντήζελ της κατηγορίας No2-D S500, με περιεκτικότητα σε θείο από 16 έως 500ppm. [15]

1.5. Μέθοδοι Προσδιορισμού Αριθμού Κετανίου και Παραγόμενου Αριθμού Κετανίου

1.5.1. Πρότυπη Μέθοδος Προσδιορισμού Αριθμού Κετανίου, Καυσίμων Ντήζελ (ASTM D-613)

➢ Σκοπός

Ο σκοπός της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ο καθορισμός της διαβάθμισης των καυσίμων ντήζελ, χρησιμοποιώντας μία αυθαίρετη κλίμακα, αυτή του CN, μετρούμενη σε μία μονοκύλινδρη τετράχρονη μηχανή ντήζελ, έμμεσης έγχυσης καυσίμου και μεταβλητού λόγου συμπίεσης (Compression Ratio - CR). [8]

➢ Συνοπτική Περιγραφή Μεθόδου

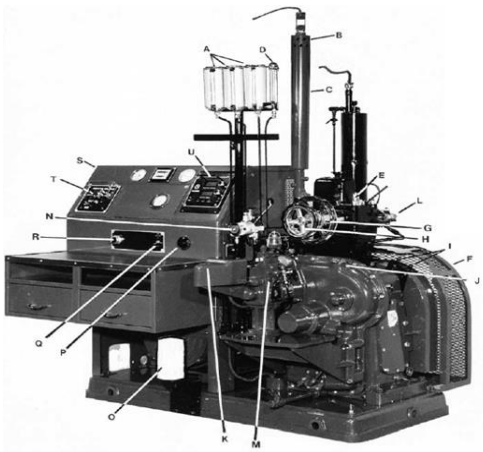
Ο CN ενός καυσίμου ντήζελ προσδιορίζεται συγκρίνοντας τα χαρακτηριστικά κατανάλωσης – καύσης του, σε έναν πρότυπο κινητήρα, με τα αντίστοιχα μείγματα καυσίμων αναφοράς γνωστού CN, κάτω από συγκεκριμένες και σταθερές λειτουργικές συνθήκες. Ο προσδιορισμός αυτός πραγματοποιείται με τη χρήση ενός χειροκίνητου εμβόλου, το οποίο δημιουργεί διάφορους CR, με τις αντίστοιχες ενδείξεις, για κάθε δείγμα καυσίμου ξεχωριστά και για τα δύο χρησιμοποιούμενα δείγματα αναφοράς, στα οποία παρατηρείται συγκεκριμένο ID. Συνδυάζοντας τις ενδείξεις των CR και τα αντίστοιχα ID, με παρεμβολή υπολογίζεται ο απαιτούμενος CN. [8]

➢ Μηχανικά Μέρη Πρότυπου Κινητήρα

Ο πρότυπος κινητήρας που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του CN αποτελείται από ένα μονοκύλινδρο κινητήρα με τα παρακάτω βασικά μέρη:

- Σταθερό στρόφαλο
- Συγκρότημα αντλίας καυσίμου
- Κύλινδρος με ξεχωριστή κεφαλή συνδεδεμένη με θάλαμο προέγχυσης
- Σύστημα ψύξης με κύκλωμα ανακυκλοφορίας
- Σύστημα πολλαπλών δεξαμενών καυσίμων με βαλβίδα επιλογής αυτών
- Εγχυτήρα καυσίμου με προσαρμοσμένο κατάλληλο ακροφύσιο έγχυσης
- Κατάλληλο σύστημα εξαγωγής καυσαερίων
- Ηλεκτρικό κύκλωμα

Περισσότερες λεπτομέρειες για τα μηχανικά μέρη του πρότυπου κινητήρα παρατηρούνται στην Εικόνα 1.5.1.1. [8]



A: Δεξαμενές Καυσίμων
B: Εισαγωγή Θερμού Αέρα
C: Σιγαστήρας Εισαγωγής Αέρα
D: Ρυθμιστής Ροής Καυσίμου
E: Μετρητής Καύσης – Κατανάλωσης
F: Πλαίσιο Ασφαλείας
G: Χειροκίνητο Έμβολο Ρύθμισης Συμπίεσης
H: Ασφάλεια Χειροκίνητου Εμβόλου
I: Μετρητής Τροχού Μέτρησης Ταχύτητας
J: Τάπα Εισαγωγής Ελαιολιπαντικών
K: Ασφάλεια Αντλίας Ψεκασμού
L: Προσαρμοσμένος Εγχυτήρας Καυσίμου
M: Αντλία Έγχυσης Καυσίμου
N: Βαλβίδα Επιλογής Καυσίμου
O: Φίλτρο Λαδιού
P: Ρυθμιστής Θερμοκρασίας Λαδιού Στροφάλου
Q: Διακόπτης Θερμαντήρα Αέρα
S: Πίνακας Οργάνων
T: Ρυθμιστής Θερμοκρασίας Εισαγόμενου Αέρα
U: Μετρητής CN: Dual Digital Cetane Meter

Εικόνα 1.5.1.1Πρότυπος Κινητήρας Μέτρησης CN [8]

➢ Λειτουργικές Συνθήκες

Ο προσδιορισμός του CN ενός δείγματος καυσίμου, με τη χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου απαιτεί συγκεκριμένες και σταθερές λειτουργικές, έτσι ώστε το ID να εξαρτάται, μόνο από τον χειροκίνητα μεταβαλλόμενο CR.

Οι βασικότερες λειτουργικές συνθήκες που πρέπει να παραμένουν σταθερές είναι:

- Ταχύτητα Κινητήρα στις 900 ± 9 rpm
- Χρονισμός Βαλβίδων, με το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής να γίνεται στις 10,0 ± 2,5^{o} από το Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ) και το κλείσιμο στις 34° από το Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ) στη πρώτη περιστροφή του στροφάλου άξονα. Η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει στις 40° πριν από το ΚΝΣ στη δεύτερη περιστροφή του άξονα και κλείνει στις 15,0 ± 2,5^{o} μετά το ΑΝΣ στη επόμενη περιστροφή του άξονα.
- Χρονισμός της αντλίας καυσίμου, όπου το κλείσιμο του εμβόλου της αντλίας γίνεται μεταξύ των 300 και 306° του στροφαλοφόρου άξονα στο χρόνο της συμπίεσης.
- Χρονισμός Έγχυσης, ο οποίος πραγματοποιείται στις 13° πριν από το ΑΝΣ και η πίεση στο ακροφύσιο έγχυσης πρέπει να είναι 10,3 ± 0,34 MPa.
- Ρυθμός Ροής Έγχυσης, ο οποίος πρέπει να είναι 13,0 ± 0,2 ml/min
- ID, το οποίο πρέπει να παρατηρείται στις 13°, τόσο για τα δείγματα προς εξέταση αλλά και για τα καύσιμα αναφοράς. [8]

➢ Διαδικασία Σταθεροποίησης Λειτουργικών Συνθηκών

1. Προσαρμογή CR, Διαδικασία Χειροκίνητης Προσαρμογής

Ο CR σε αυτού του είδος πρότυπου κινητήρα μέτρησης του CN ενός καυσίμου, είναι μεταβλητός και εξαρτάται από τη μεταβλητή θέση του εμβόλου στο θάλαμο προανάφλεξης της κεφαλής του κυλίνδρου. Η θέση του εμβόλου καθορίζεται από τη περιστροφική κίνηση του χειροτροχού, και η ένδειξη της οποίας αναγράφεται σε μία μικροκλίμακα “Vernier”, εκτείνεται από 0,500 έως 3,000 και είναι αλληλένδετη με το CR. Μικρές ενδείξεις τις κλίμακας αντιστοιχούν σε υψηλούς CR και αντίστοιχα μεγάλες ενδείξεις αντιστοιχούν σε χαμηλούς CR.

Όπως έχει προαναφερθεί η εκτίμηση του CN, απαιτεί προσαρμογές του CR, έτσι ώστε να επιτευχθούν κατάλληλες συνθήκες υστέρησης ανάφλεξης για κάθε ένα δείγμα καυσίμου ή καυσίμου αναφοράς. Μεταβάλλοντας τη σχετική θέση του χειροκίνητου εμβόλου, αλλάζει και η χρονική περίοδο ανάφλεξης. Εκ φύσεως τα καύσιμα με χαμηλό CN έχουν μεγαλύτερη υστέρηση ανάφλεξης σε σχέση με αυτά που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες τιμές CN. Αυτή η μέθοδος απαιτεί όλα τα καύσιμα να λειτουργούν με συγκεκριμένη χρονική υστέρηση ανάφλεξης, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητες οι μεταβολές της θέσης του χειροκίνητου εμβόλου.

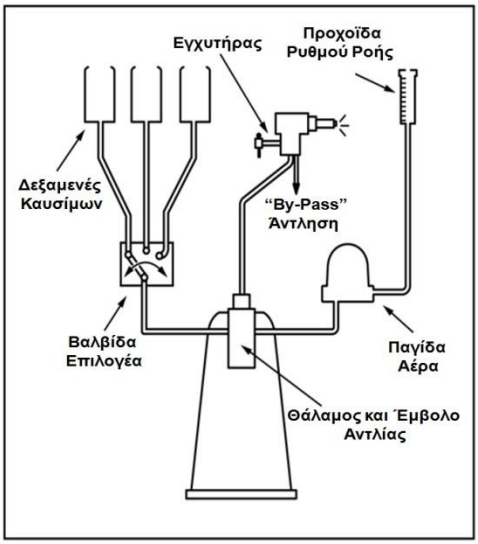
1. Χαλαρώνεται ο μικρός τροχός ασφαλείας, που είναι προσαρμοσμένος πάνω στο χειροκίνητο έμβολο, περιστρέφοντάς τον αντίθετα από τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση του μηχανισμού και επιτρέπει στο μεγαλύτερο τροχό να περιστρέφεται ώστε το μεταβλητό έμβολο συμπίεσης να κινείται προς τα μέσα ή έξω από το θάλαμο προέγχυσης.

2. Ορίζεται μία θέση για το μεγαλύτερο τροχό ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη χρονική υστέρηση ανάφλεξης, όπως αυτή θα αναγράφεται στον μετρητή κετανίου. Δεξιόστροφη περιστροφή αυξάνει το CR και μειώνει την ένδειξη της γωνίας του στροφάλου για τη στιγμή της ανάφλεξης. Οι τελικές διορθώσεις του χειροκίνητου εμβόλου, πρέπει να γίνονται δεξιόστροφα, ώστε να ελαχιστοποιούνται τα λάθη ενδείξεων, εξαλείφοντας αναπόφευκτες δυσλειτουργίες του χειροκίνητου μηχανισμού.

3. Ασφαλίζεται ο μηχανισμός περιστρέφοντας το μικρό τροχό δεξιόστροφα μέχρι αυτός να σφίξει, πάνω στο μεγαλύτερο τροχό. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι απαιτείται ιδιαίτερη μόχλευση ώστε να επιτευχθεί η ασφάλιση, τότε πρέπει να ελεγχθεί η προσαρμογή του μεγαλύτερου τροχού. [8]

2. Λειτουργία Συστήματος Καυσίμου

Το σύστημα καυσίμου αποτελείται από 3 δεξαμενές καυσίμων, στην κάθε μία από αυτές υπάρχει βαλβίδα επιλογής και βαλβίδα άντλησης, όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (Εικ 1.5.1.2). Η λειτουργία του επιλογέα είναι να μεταφέρει ένα συγκεκριμένο καύσιμο περιστρέφοντας στην αντίστοιχη θέση την συγκεκριμένη βαλβίδα και με τον τρόπο αυτό μεταφέρεται το επιλεγόμενο καύσιμο στην είσοδο της αντλίας και γεμίζει ο θάλαμος της αντλίας, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με την προχοΐδα ρυθμού ροής καυσίμου, μέσω μίας "παγίδας" αέρα. Μέσω της προχοΐδας υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της στάθμης του επιλεγόμενου καυσίμου, αφού σε αυτά τα δοχεία η στάθμη των καυσίμων είναι ίδια.



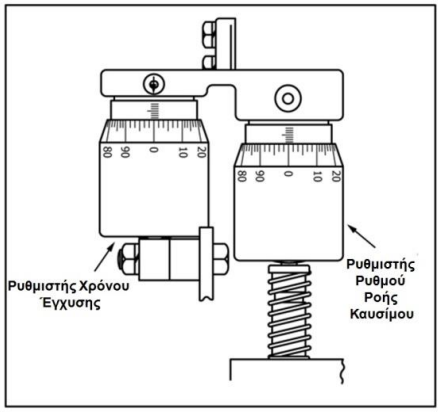
Εικόνα 1.5.1.2 Σύστημα Καυσίμου Πρότυπου Κινητήρα [8]

Όταν ο επιλογέας καυσίμου, βρίσκεται ανάμεσα από δύο σημεία επιλογής δεξαμενής καυσίμου, τότε το καύσιμο αντλείται μόνο από τη γραμμή ροής της προχοΐδας και η άντληση από άλλη δεξαμενή είναι μπλοκαρισμένη. Έτσι με αυτή τη διαδικασία, αρχικά τοποθετώντας τον επιλογέα σε μία συγκεκριμένη δεξαμενή, γεμίζει τόσο ο θάλαμος της αντλίας αλλά και της προχοΐδας και στη συνέχεια περιστρέφοντας τον επιλογέα έτσι ώστε να αποκλειστεί η ροή από μία δεξαμενή, παρατηρείται άντληση και κατά συνέπεια κατανάλωση καυσίμου μόνο από την προχοΐδα. Η μονάδα μέτρησης της βαθμονομημένης προχοΐδας είναι 1 mL, έτσι ώστε να καθίσταται δυνατή η καταμέτρηση συγκεκριμένου όγκου καυσίμου σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. [8]

3. Μέτρηση Ροής Καυσίμου

Ακολουθώντας τα προαναφερόμενα βήματα επιλογής δεξαμενής καυσίμου και της άντλησης καυσίμου μόνο από τη γραμμή ροής καυσίμου της προχοΐδας και κάνοντας χρήση ενός ηλεκτρικού ρολογιού μπορεί να μετρηθεί η ροή και η κατανάλωση καυσίμου, εκκινώντας τη χρονομέτρηση τη στιγμή που η στάθμη

του καυσίμου, διέρχεται από τη πρώτη βαθμονομημένη γραμμή της προχοΐδας, και σταματώντας τη χρονομέτρηση όταν παρατηρηθεί συγκεκριμένη κατανάλωση καυσίμου, 13 mL. Η καταναλισκόμενη ποσότητα των 13 mL, αντιστοιχεί σε χρονική διάρκεια 60 ± 1 s, σύμφωνα με τις πρότυπες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Σε περίπτωση που δεν παρατηρείται αντιστοιχία χρόνου και ροής, απαιτείται προσαρμογή της ροής, που γίνεται με τη χρήση του μικρομετρητή ροής καυσίμου, μέσω τη μεταβολή της σχετικής θέσης του εμβόλου (Rack) της αντλίας (Εικ 1.5.1.3). Περιστρέφοντας δεξιόστροφα το μικρομετρητή αυξάνεται η ροή του καυσίμου, τυπικά μία μεταβολή της αναγραφόμενης διαβάθμισης κατά 0,005, επιφέρει μεταβολή του χρόνου κατά 1 s, για ροή 13 mL καταναλισκόμενου καυσίμου. Ο προσδιορισμός της πρότυπης ροής καυσίμου (13 mL/60 ± 1 s), αποτελεί μία διαδικασία δοκιμής και σφάλματος, στην οποία οι αρχικές μετρήσεις γίνονται σε χρόνο των 10 s, όπου θα πρέπει να έχουν καταναλωθεί περίπου 2 mL. [8]



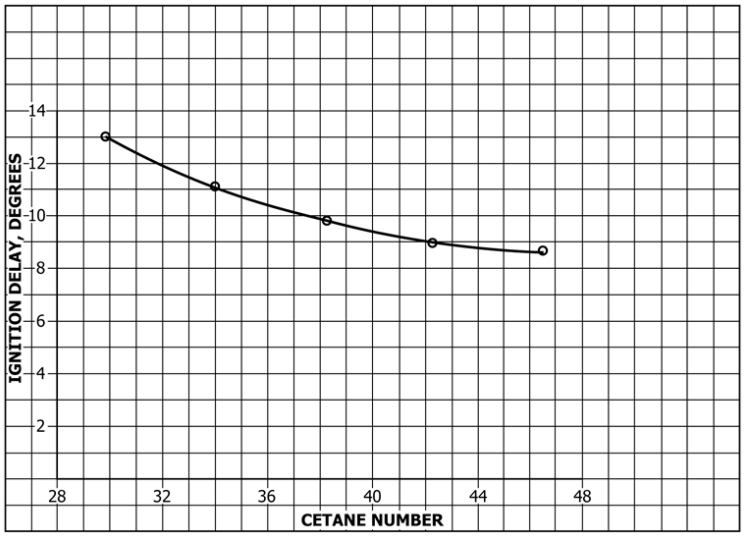
Εικόνα 1.5.1.3 Σύστημα Ρύθμισης Χρόνου Έγχυσης και Ρυθμού Ροής Καυσίμου Πρότυπου Κινητήρα [8]

4. Προσαρμογή Χρονισμού Έγχυσης

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα, με την κατάλληλη ροή καυσίμου και με τον επιλογέα καυσίμου τοποθετημένο στη δεξαμενή του προς εξέταση καυσίμου, παρατηρείται ο ενδεικνυόμενος χρονισμός έγχυσης του καυσίμου. Έτσι με τη περιστροφή του μικρομετρικού ρυθμιστή χρόνου έγχυσης, μπορεί να μεταβληθεί ο προαναφερόμενος χρονισμός, αυξάνοντας τον με δεξιόστροφη περιστροφή και μειώνοντας τον με αριστερόστροφη περιστροφή, μέχρι να επιτευχθεί ο κατάλληλος χρονισμός (αριθμός μοιρών του στροφάλου) (Εικ 1.5.1.3.). [8]

5. Έλεγχος της Υστέρησης Ανάφλεξης σε Σύγκριση με τον Αριθμό Κετανίου

Ο συσχετισμός του ID, με τον εκτιμώμενο CN, παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (Γραφ 1.5.1.1), με την προϋπόθεση της σωστής λειτουργίας του συστήματος έγχυσης καυσίμου. Ως ικανοποιητικός χρόνος ολοκλήρωσης εκτίμησης του CN ενός καυσίμου είναι η μία (1) ώρα, διατηρώντας σταθερές και στις απαιτούμενες τιμές τις παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα.



Γράφημα 1.5.1.1 Διάγραμμα Συσχετισμού Υστέρησης Ανάφλεξης και Αριθμού Κετανίου [8]

Χρησιμοποιώντας ένα καύσιμο αναφοράς, για το οποίο εκτιμάται ότι έχει CN περίπου 15, ρυθμίζονται και σταθεροποιούνται όλες οι λειτουργικές συνθήκες, ορίζοντας το ID στις 13°. Στη συνέχεια προετοιμάζονται τουλάχιστον τέσσερα (4) μείγματα καυσίμων αναφοράς, για τα οποία η μεταξύ τους διαφορά στην κλίμακα του CN πρέπει να κυμαίνεται στους 4 βαθμούς. Ακολούθως παραμένει σε λειτουργία ο πρότυπος κινητήρας διατηρώντας τη σχετική θέση του χειροκίνητου εμβόλου, όπως ήταν κατά την εκτίμηση του CN, για το καύσιμο αναφοράς (35), και προσαρμόζοντας τόσο τη ροή μέχρι την επιθυμητή τιμή των 13 mL/60±1s, όσο και το χρονισμό έγχυσης στις 13°. Καταγράφονται οι τιμές του ID, των μειγμάτων καυσίμων αναφοράς και τοποθετούνται σε αντίστοιχο διάγραμμα «Βαθμών ID/CN», του οποίου η καμπύλη πρέπει να έχει τη μορφή που παρουσιάζεται στο Γράφημα 1.5.1.1. Σε περίπτωση που τα σημεία δεν σχηματίζουν μία αντίστοιχη ομαλή καμπύλη, τότε απαιτείται καθαρισμός ή επισκευή ή και αντικατάσταση του ακροφυσίου έγχυσης. [8]

➢ Διαδικασία Βαθμονόμησης Πρότυπου Κινητήρα

Για τη βαθμονόμηση του κινητήρα, αρχικά πρέπει να εναρμονιστούν όλες οι ρυθμίσεις και οι λειτουργικές παράμετροι σύμφωνα με τα προαναφερόμενα, τις βασικές και πρότυπες λειτουργικές συνθήκες. Ο κινητήρας πρέπει να λειτουργεί τουλάχιστον μία (1) ώρα, για να ολοκληρωθεί η προθέρμανση του και να σταθεροποιηθούν οι βασικές παράμετροι. Ο συγκεκριμένος κινητήρας δεν διαθέτει ικανοποιητικά μείγματα καυσίμων για τη βαθμονόμηση του. Τα καύσιμα ελέγχου (Check Fuels – CF) αποτελούν τα βασικά διαθέσιμα μέσα για να αποδεικνύουν τη σωστή λειτουργία του κινητήρα. Για τον παραπάνω έλεγχο μπορούν να χρησιμοποιηθούν ένα ή και παραπάνω τέτοιου τύπου καύσιμα.

Η λειτουργία του κινητήρα κρίνεται ικανοποιητική όταν η εκτίμηση του CN ενός CF, είναι εντός ορίων ανεκτικότητας (Tolerance Limits) για τα CF, τα οποία υπολογίζονται με την παρακάτω εξίσωση (Εξ 1.5.1.1):

$$Tolerance\ Limits = CN_{ARV} \pm 1{,}5 \times S_{ARV}$$ (Εξ.1.5.1.1.) [8]

Όπου:

- CN_{ARV}: Η αποδεκτή τιμή CN του CF
- 1,5: ένας επιλεγμένος παράγοντας ορίου ανεκτικότητας (K), για κανονικές κατανομές
- S_{ARV}: Η τυπική απόκλιση (Standard Deviation) ενός CF, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του αντίστοιχου CN_{ARV}.

Ο στατιστικός παράγοντας ορίου ανεκτικότητας (K), που βασίζεται σε ένα αριθμό δειγμάτων, επιτρέπει μία πρόβλεψη ποσοστού μηχανών που θα έχουν τη δυνατότητα να εκτιμήσουν τα CF, μέσα στα υπολογισμένα όρια ανεκτικότητας. Συνεπώς η τιμή K=1,5, έχει εκτιμηθεί ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκτίμηση των CF, σε 19 από 20 περιπτώσεις, για ποσοστό 70% των κινητήρων.

Στην περίπτωση όπου τα αποτελέσματα είναι εκτός ορίων ανεκτικότητας, ο κινητήρας δεν είναι κατάλληλος για εκτίμηση των δειγμάτων, και απαιτείται μηχανολογικός έλεγχος, και έλεγχος όλων των παραμέτρων – συνθηκών λειτουργίας, με αποτέλεσμα τη πιθανή αντικατάσταση κρίσιμων εξαρτημάτων. Για παράδειγμα το ακροφύσιο έγχυσης καυσίμου, αποτελεί ένα από τα κρισιμότερα εξαρτήματα, το οποίο ελέγχεται πρώτο και αντικαθίσταται όταν απαιτείται, για την επίτευξη της εναρμόνισης απαιτούμενων λειτουργικών συνθηκών για αποδεκτές εκτιμήσεις. [8]

➢ Εκτίμηση του CN Δείγματος Καυσίμου

Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία της βαθμονόμησης, οποτεδήποτε αυτή απαιτείται και σταθεροποιώντας τις λειτουργικές συνθήκες (ροή καυσίμου, χρονισμός έγχυσης καυσίμου, υστέρηση ανάφλεξης), στις απαιτούμενες τιμές, ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα για να ολοκληρωθεί η εκτίμηση του CN ενός δείγματος καυσίμου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η σταθεροποίηση των ενδείξεων της έγχυσης και της υστέρησης ανάφλεξης, πρέπει να γίνει στα πρώτα 5 με 10 λεπτά των μετρήσεων και ότι ο χρόνος εκτίμησης που απαιτείται για κάθε δείγμα αλλά και για κάθε καύσιμο αναφοράς πρέπει να είναι σταθερός και όχι μικρότερος των τριών (3) λεπτών.

1. Εισάγεται ποσότητα του προς εξέταση καυσίμου στην δεξαμενή δειγμάτων, ελέγχονται οι λειτουργικές συνθήκες και γίνονται οι απαιτούμενες προσαρμογές, ώστε να επιτευχθούν αυτές. Παρατηρείται και καταγράφεται η ένδειξη της σχετικής θέσης του χειροκίνητου εμβόλου ως αντιπροσωπευτική ένδειξη.

2. Επιλέγεται το πρώτο καύσιμο αναφορά (Reference Fuel – RF), του οποίου ο CN εκτιμάται να είναι κοντά με αυτό του προς εξέταση δείγματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι ως RF, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε μείγματα πρότυπων καυσίμων αναφοράς (Primary Reference Fuel – PRF) (n-cetane – HMN), είτε δευτερεύοντα καύσιμα αναφοράς (Secondary Reference Fuel – SRF) (T, U Fuel). Αν η εκτιμώμενη τιμή CN είναι μεγαλύτερη από την αποδεκτή τιμής αναφοράς του T-Fuel, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί μείγμα T-Fuel/n-cetane, με αναλογίες που

αναγράφονται στον Πίνακα 1.5.1.1 Ο όγκος του πρώτου RF, πρέπει να είναι 400-500 mL, τα οποία εισάγονται σε μία από τις άδειες δεξαμενές δειγμάτων του πρότυπου κινητήρα. Πραγματοποιούνται οι απαιτούμενες προσαρμογές στη σχετική θέση του χειροκίνητου εμβόλου, όπως έχει ήδη περιγραφεί και καταγράφονται οι καινούργιες ενδείξεις-αποτελέσματα.

Πίνακας 1.5.1.1 % Κατ΄ Όγκο Αναλογίες Μειγμάτων RF, με CN > T-Fuel [8]

Μείγμα	T-Fuel % vol	n-cetane % vol
1	100	0
2	75	25
3	50	50
4	25	75
5	0	100

3. Επιλέγεται και χρησιμοποιείται δεύτερο RF, ώστε οι ενδείξεις αναφοράς και των δύο RF, να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του CN, του προς εξέταση δείγματος.

3.1. Αν χρησιμοποιούνται μείγματα PRF, τότε η % κατ΄ όγκο διαφορά σε n-cetane των δύο (2) RF, δεν πρέπει να ξεπερνά τις 7 μονάδες, διότι έχει οριστεί ότι για την προαναφερόμενη διαφορά ο CN μεταβάλλεται κατά 5,95.

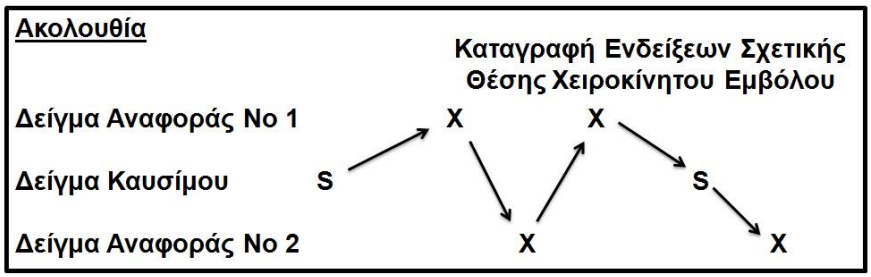
3.2. Αν χρησιμοποιούνται SRF, τότε η διαφορά CN σε T-Fuel των δύο (2) RF, δεν πρέπει να ξεπερνά τις 5,6 μονάδες, διότι έχει υπολογιστεί ότι τυπικά για % κατ΄ όγκο διαφορά 5 μονάδων παρατηρείται μεταβολή CN κατά 2,7 και για 10 μονάδες παρατηρείται μεταβολή CN κατά 5,2.

3.3. Αν η εκτιμώμενη τιμή CN είναι μεγαλύτερη από την αποδεκτή τιμή αναφοράς του T-Fuel, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί μείγμα T-Fuel/n-cetane, με αναλογίες που αναγράφονται στον Πίνακα 1.5.1.1.

3.4. Ποσότητα 400-500 mL, των παραπάνω δειγμάτων εισάγεται σε μία άλλη δεξαμενή δειγμάτων, πραγματοποιούνται οι απαιτούμενες προσαρμογές και καταγράφονται οι καινούργιες ενδείξεις.

3.5. Σε περίπτωση που οι ενδείξεις των RF, περικλείουν την ένδειξη του αρχικού δείγματος συνεχίζονται οι μετρήσεις, ειδάλλως δημιουργούνται καινούργια RF, μέχρι να ικανοποιηθεί αυτή η συνθήκη.

3.6. Σε περίπτωση επιτυχούς μέτρησης του δεύτερου RF, πραγματοποιείται η εξής ακολουθία: πρώτο RF → Αρχικό Δείγμα Καυσίμου → δεύτερο RF, σε κάθε μέτρηση απαιτείται έλεγχος των συνθηκών λειτουργίας και καταγραφής των ενδείξεων μόνο σε περίπτωση σταθεροποίησης αυτών. Η ακολουθία των μετρήσεων παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα (Γραφ 1.5.1.2.) . [8]



Γράφημα 1.5.1.2 Ακολουθία Μετρήσεων Δειγμάτων Καυσίμων Και Καυσίμων Αναφοράς [8]

➢ Υπολογισμοί του CN

1. Υπολογίζονται οι μέσοι όροι των ενδείξεων τόσο των δειγμάτων αλλά και των RF.

2. Υπολογίζεται ο CN, με παρεμβολή των μέσων όρων, οι οποίοι αναλογούν στους μέσους όρους των RF, που περικλείουν το ζητούμενο CN, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση (Εξ 1.5.1.2)

$$CN_s = CN_{LRF} + \left(\frac{HW_s - HW_{LRF}}{HW_{HRF} - HW_{LRF}}\right) \times (CN_{HRF} - CN_{LRF}) \qquad \text{(Εξ 1.5.1.2) [8]}$$

Όπου:

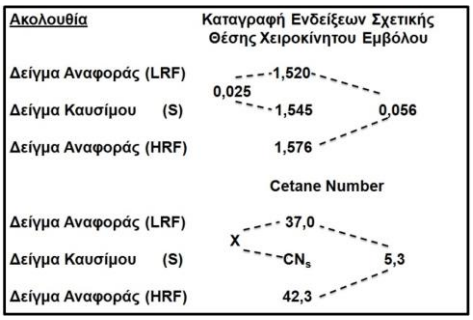
- CN_s: CN του προς εξέταση δείγματος
- CN_{LRF}: CN των LRF
- CN_{HRF}: CN των HRF
- HW_s: Ένδειξη του προς εξέταση δείγματος
- HW_{LRF}: Ένδειξη των LRF
- HW_{HRF}: Ένδειξη των HRF

3. Αν ο CN είναι μεγαλύτερος από την ARV του T-Fuel, τότε υπολογίζονται οι CN, με βάση τα μείγματα του Πίνακα 1.5.1.1, η εκτίμηση υπολογίζεται κάνοντας χρήση της παρακάτω εξίσωσης και χρησιμοποιώντας αυτές τις τιμές στην Εξίσωση 1.5.1.3

$$CN_{RF} = \frac{\{(vol - \%\,TFuel \times ARV_{TFuel}) + (vol - \%n - cetane \times 100\}}{100} \qquad \text{(Εξ.1.5.1.3) [8]}$$

4. Στρογγυλοποιείται ο CN στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο, και οποιοσδήποτε εκτιμώμενος CN που τελειώνει σε 5 στρογγυλοποιείται στο πλησιέστερο πρώτο δεκαδικό ψηφίο για παράδειγμα το 35,55 και το 35,65 γίνονται 35,6.

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ακολουθίας εκτίμησης CN και οι μαθηματικοί υπολογισμοί αυτού.



Γράφημα 1.5.1.3 Παράδειγμα Ακολουθίας Υπολογισμού CN Δείγματος Καυσίμου

$$CN_s = CN_{LRF} + \left(\frac{HW_s - HW_{LRF}}{HW_{HRF} - HW_{LRF}}\right) \times (CN_{HRF} - CN_{LRF}) =$$

$$37{,}0 + \left(\frac{1{,}545 - 1{,}520}{1{,}576 - 1{,}520}\right) \times (42{,}3 - 37{,}0) =$$

37,0 + 0,446× 5,3 = **39,4**

1.5.2. Πρότυπη Μέθοδος Προσδιορισμού της Υστέρησης Ανάφλεξης και του «Παραγόμενου Αριθμού Κετανίου» (Derived Cetane Number), για Καύσιμα ντηζελ μέσω Καύσης σε Θάλαμο Σταθερού Όγκου (ASTM-D6890)

➢ Σκοπός

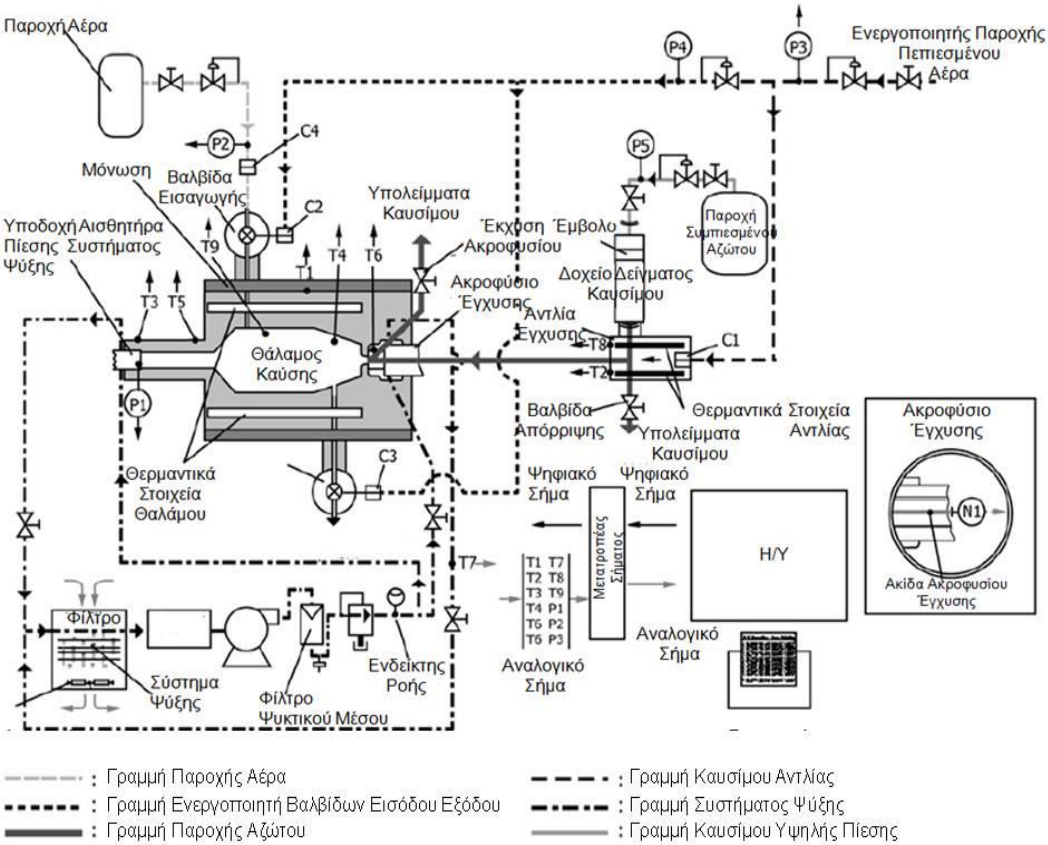
Η μέθοδος αυτή μετράει το ID, χρησιμοποιώντας ένα θάλαμο καύσης σταθερού όγκου, με άμεσο ψεκασμό – έγχυση, μέσα σε πεπιεσμένο και θερμό αέρα. Μια εξίσωση συσχετίζει το προσδιοριζόμενο ID με το CN, με αποτέλεσμα να εξαγάγεται ο DCN.

Το εύρος του ID που καλύπτεται από τη συγκεκριμένη μέθοδο είναι από 3,1 ms έως 6,5 ms (64 DCN έως 33 DCN). Ο αναλυτής καύσης μπορεί να μετράει ID εκτός του προαναφερόμενου εύρους, αλλά επηρεάζεται η αξιοπιστία της μεθόδου. [9]

➢ Συσκευές – Εξαρτήματα Συστήματος Ελέγχου

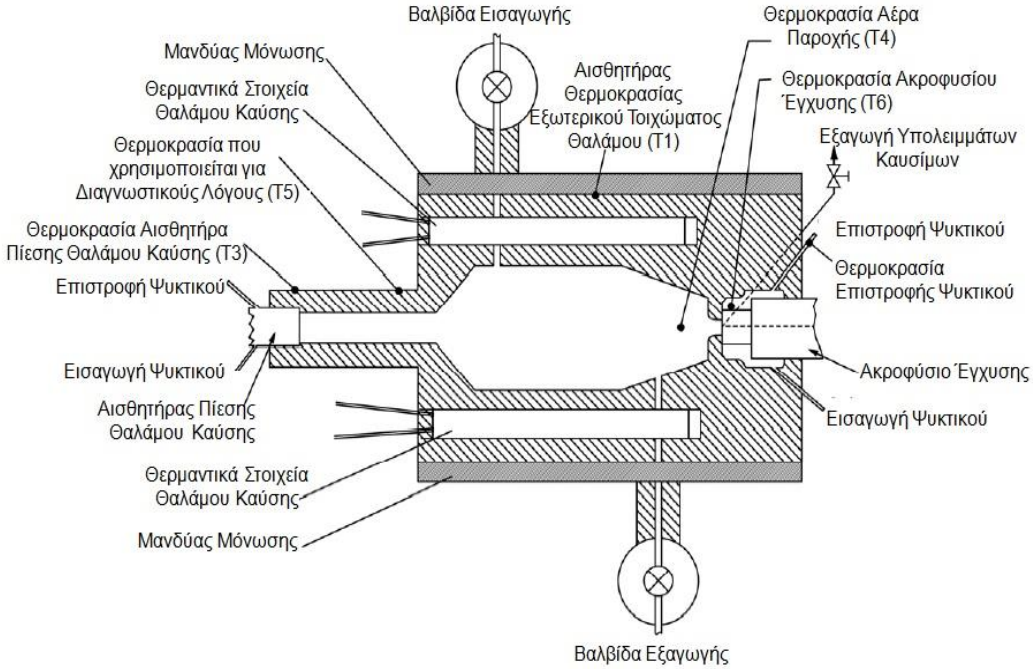
Η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα πλήρως αυτοματοποιημένο αναλυτικό σύστημα μέτρησης των απαιτούμενων χαρακτηριστικών των καυσίμων ντήζελ, το οποίο αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη (Γραφ 1.5.2.1):

- Ένα θάλαμο καύσης σταθερού όγκου με έγχυση σε υψηλή πίεση, στον οποίο είναι προσαρμοσμένο εξωτερικό ηλεκτρικό σύστημα θέρμανσης, κατάλληλη μόνωση και πνευματικοί ενεργοποιητές βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής
- Ένα θερμαινόμενο, πνευματικά ενεργοποιημένο σύστημα έγχυσης, με αντλία, προσαρμοσμένο ακροφύσιο έγχυσης και συνδεδεμένο με το δοχείο-δεξαμενή δειγμάτων
- Σύστημα εναλλάκτη ψύξης υγρού-αέρα, φίλτρο, περιστροφική αντλία και βαλβίδες ελέγχου ροής
- Ζεύγη θερμοστοιχείων, μετρητές και αισθητήρες πίεσης, αισθητήρες κίνησης ακροφυσίου έγχυσης, ρυθμιστές πίεσης πεπιεσμένων αερίων, πνευματικά ενεργοποιημένα στοιχεία και σωληνοειδείς βαλβίδες
- Σύστημα Η/Υ, το οποίο ελέγχει την αλληλουχία των μετρήσεων, αποκτά και συγκεντρώνει τα δεδομένα των αισθητήρων, παρέχει τα αποτελέσματα μετρήσεων – υπολογισμών και παρουσιάζει μερικές παραμέτρους λειτουργικών συνθηκών του συστήματος



Γράφημα 1.5.2.1 Σχεδιάγραμμα Αναλυτή Καύσης [9]

Στο παρακάτω γράφημα (Γρ 1.5.2.2.) παρουσιάζεται η σχηματική απεικόνιση του θαλάμου καύσης με τα ρυθμιστικά και παρελκόμενα στοιχεία του. [9]



Γράφημα 1.5.2.2 Σχηματική Απεικόνιση Θαλάμου Καύσης [9]

➢ Λειτουργική Διαδικασία Συσκευής

1. Εκκίνηση – Προθέρμανση Συσκευής

Για να τεθεί σε λειτουργία η συσκευή, τίθεται ο διακόπτης του αναλυτή καύσης στη θέση «ON» και εκκινείται το πρόγραμμα της προθέρμανσης του οργάνου, εκτελώντας τις αντίστοιχες εντολές από το κατάλληλο λογισμικό του Η/Υ. Στη συνέχεια ανοίγουν οι βαλβίδες των φιαλών συμπιεσμένου αέρα και αζώτου και προσαρμόζεται η πίεση αυτών στις συγκεκριμένες απαιτούμενες τιμές. [9]

2. Έλεγχος Ασφάλισης Θαλάμου Καύσης

Χρησιμοποιώντας κατάλληλες εντολές στο λογισμικό του Η/Υ, εκκινείται μία αυτοματοποιημένη διαδικασία ελέγχου ασφάλισης του θαλάμου καύσης. Αυτή η διαδικασία ελέγχει τα αποτελέσματα εισαγωγής συμπιεσμένου αέρα εντός του θαλάμου, και οι μεταβολές της πίεσης παρουσιάζονται στον Η/Υ για 20 s,όπως και ο ρυθμός μεταβολής αυτής. Ο χειριστής είναι υπεύθυνος ώστε να διαπιστώσει εάν ο ρυθμός ελάττωσης της πίεσης είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων δηλαδή μικρότερος από 3,5 kPa/s. Αν ο ρυθμός είναι εκτός ορίων τότε υπάρχει μη επαρκής ασφάλιση του θαλάμου και απαιτούνται διαγνωστικές διαδικασίες. [9]

3. Διαδικασία Ανάλυσης – Μέτρησης Δείγματος Καυσίμου

α. Ο όγκος του προς εξέταση δείγματος πρέπει να είναι περίπου 100 mL, στα οποία πρέπει να υπολογίζεται και ο όγκος καθαρισμού καυσίμου (flush). Το εν λόγω δείγμα διέρχεται μέσα από φίλτρο για την εξασφάλιση της καθαρότητας του.

β. Εισάγεται ποσότητα καυσίμου τουλάχιστον ίση με τον όγκο του δοχείου δείγματος και ξεπλένεται το εσωτερικό του δοχείου μέσω του συστήματος της αντλίας. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται ποσότητα συμπιεσμένου αζώτου, η οποία διέρχεται μέσα από την αντλία και το σύστημα έγχυσης, ώστε να απομακρυνθούν υπολείμματα καυσίμου μέσα από το σύστημα έγχυσης.

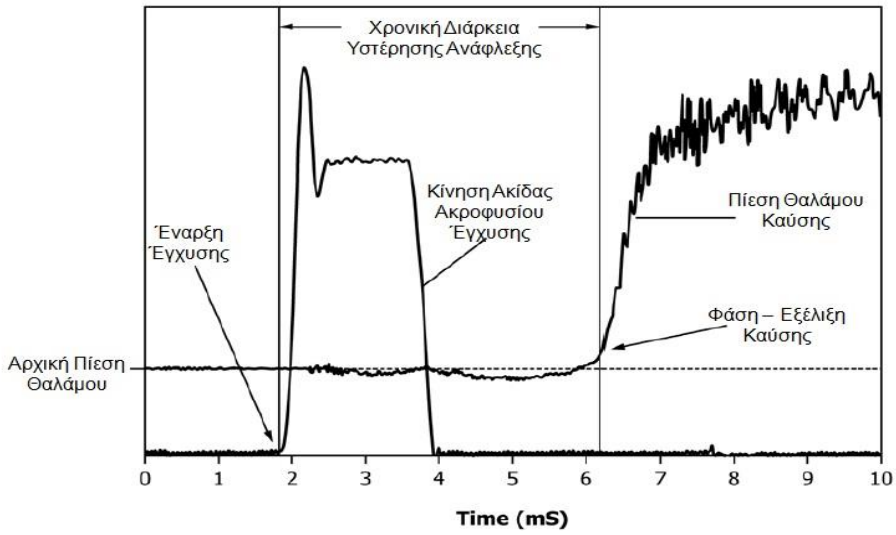
γ. Εισάγεται εκ νέου καινούρια ποσότητα καυσίμου εντός του δοχείου δείγματος και απελευθερώνεται ποσότητα αέρα εντός του συστήματος γεμίζοντάς το με καύσιμο. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται πάλι ποσότητα συμπιεσμένου αέρα, ώστε να γεμίσει πλήρως το σύστημα με καύσιμο και να εξαχθεί ο εναπομένων αέρας.

δ. Ένας ολοκληρωμένος αυτοματοποιημένος κύκλος μετρήσεων, αποτελείται από 15 προκαταρκτικές καύσεις και άλλους 32 κύκλους καύσης. Ένας ολοκληρωμένος κύκλος καύσης περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Πλήρωση του θαλάμου στην πίεση ελέγχου
- Έγχυση μικρής ποσότητας καυσίμου εντός του θαλάμου
- Απελευθέρωση των αερίων καύσης

- Έλεγχος των παραμέτρων λειτουργίας και διατήρηση αυτών στις απαιτούμενες τιμές. Αν οι παράμετροι δεν είναι πλήρως εναρμονισμένες γίνονται οι απαιτούμενες διορθώσεις και εκκινείται καινούριος κύκλος καύσεων.
- Τέλος καταγράφεται ο μέσος όρος των χρονικών διαρκειών του ID, κάθε κύκλου καύσης για τον υπολογισμό του DCN.

Κατά τη διάρκεια των κύκλων καύσης αισθητήρες κίνησης μετρούν τη χρονική διάρκεια της κίνησης της ακίδας του ακροφυσίου και αισθητήρες πίεσης μετρούν την πίεση του εισερχόμενου αέρα, εντός του θαλάμου καύσης (Γρ 1.5.2.3.).



Γράφημα 1.5.2.3 Διάγραμμα Σημάτων Αισθητήρων Κίνησης και Πίεσης κατά τη Διάρκεια Ενός Ολοκληρωμένου Κύκλου Καύσης [9]

ε. Χρησιμοποιώντας ποσότητα συμπιεσμένου αερίου αζώτου, το οποίο διέρχεται μέσα από όλο το σύστημα άντλησης και έγχυσης καυσίμου, επιτυγχάνεται ο καθαρισμός του συστήματος και απομάκρυνση υπολειμμάτων καυσίμων. Ολοκληρώνοντας την διεργασία καθαρισμού με συμπιεσμένο άζωτο, το σύστημα είναι έτοιμο για καινούργιο κύκλο μετρήσεων με καινούριο δείγμα καυσίμου. [9]

➢ Αναφορά Αποτελεσμάτων

Με την ολοκλήρωση των επαναλήψεων 32 (+15), ολοκληρώνεται ένας κύκλος μετρήσεων, και κατά τη διάρκεια των βασικών 32 κύκλων καύσης, καταγράφονται οι εξής λειτουργικοί παράμετροι, οι οποίες τυπώνονται σε μία αντίστοιχη αναφορά (Εικ 1.5.2.1):

- Πίεση Αέρα Παροχής (P_2)
- Πίεση Ενεργοποιητή Έγχυσης Αέρα (P_3)
- Θερμοκρασία Αέρα Παροχής (T_4)
- Θερμοκρασία Αισθητήρα Πίεσης Θαλάμου Καύσης (T_3)

- Θερμοκρασία Ακροφυσίου Έγχυσης (T_6)
- Θερμοκρασία Ψυκτικού Ρεύματος Επιστροφής (T_7)
- Θερμοκρασία Αντλίας Έγχυσης Καυσίμου (T_2)
- Υστέρηση Ανάφλεξης (ID)
- Παραγόμενος Αριθμός Κετανίου (DCN) [9]

Run ID: 1043
Fuel ID: Test Fuel 1234-567
ISS version: X.XX, rev. XX
Test Method: ASTM D6890-DD

Date & Time: XX/YY/20ZZ 3:44:25 PM
Operator: J.D.
Setpoint: 566.0
S/W License Code: 000013-UA5D6A-423ASR-...

Inj. #	ID	DCN	Charge P.	Inj. P.	Test T.	Trans T.	Nozzle T.	Coolant T.	Air B. T.	Pump T.
1	4.034	50.72	2.138	1.205	543.1	124.8	49.4	42.0	572.6	35.1
2	4.039	50.66	2.138	1.205	543.1	125.1	48.9	41.9	572.0	35.3
3	4.070	50.31	2.138	1.205	542.6	125.1	49.1	42.0	572.3	35.1
4	3.981	51.33	2.138	1.205	543.0	125.3	48.9	42.0	572.6	35.6
5	4.051	50.52	2.138	1.206	543.0	125.4	49.2	42.1	571.7	35.2
6	4.014	50.95	2.138	1.206	542.6	125.5	49.2	42.0	572.9	35.0
7	3.965	51.52	2.139	1.206	542.4	125.8	49.0	41.6	572.3	35.3
8	3.928	51.96	2.139	1.206	542.5	125.5	49.0	42.0	572.0	35.2
9	3.928	51.97	2.138	1.206	542.9	125.6	49.1	42.1	572.1	34.8
10	4.064	50.38	2.138	1.206	543.2	125.6	49.0	41.6	571.9	35.6
11	3.910	52.19	2.138	1.206	543.0	125.6	49.1	42.0	572.8	35.3
12	3.941	51.81	2.138	1.206	543.3	125.3	49.2	42.0	572.0	35.3
13	3.954	51.66	2.138	1.206	543.0	125.5	49.3	42.1	571.5	35.7
14	4.032	50.74	2.138	1.206	542.8	125.6	49.0	42.0	572.4	35.2
15	3.921	52.04	2.139	1.206	543.0	125.6	48.9	42.0	571.8	35.4
16	3.972	51.44	2.138	1.207	542.5	125.7	49.1	42.0	572.4	35.6
17	4.056	50.47	2.138	1.206	543.2	125.7	49.0	42.0	572.4	35.1
18	3.961	51.57	2.138	1.207	543.5	125.7	49.1	42.0	572.8	35.0
19	4.051	50.52	2.137	1.207	543.3	125.8	48.9	42.0	571.9	35.4
20	4.127	49.68	2.138	1.206	542.3	125.8	49.1	42.0	572.5	35.3
21	3.946	51.75	2.138	1.207	542.4	125.9	49.0	42.0	572.6	35.2
22	3.966	51.51	2.139	1.207	542.8	126.1	48.9	42.0	571.3	35.4
23	3.924	52.02	2.138	1.207	542.9	126.0	49.2	42.0	572.9	35.4
24	4.069	50.32	2.139	1.207	543.0	126.1	49.3	42.0	572.0	35.2
25	3.927	51.98	2.138	1.207	542.0	126.0	49.0	41.9	572.0	35.3
26	4.044	50.60	2.140	1.207	542.7	126.0	49.2	42.0	572.1	35.1
27	3.959	51.59	2.138	1.207	543.1	126.0	49.0	42.0	572.8	35.2
28	4.021	50.86	2.138	1.207	542.9	125.7	48.9	42.2	572.3	35.2
29	4.036	50.70	2.138	1.208	543.3	125.9	49.2	42.0	572.1	35.1
30	3.984	51.29	2.139	1.208	543.0	126.0	49.3	41.9	572.4	35.2
31	4.015	50.94	2.140	1.207	542.7	125.9	49.4	42.0	571.9	35.3
32	3.950	51.70	2.140	1.208	542.8	125.9	49.0	41.9	572.1	35.2
Avg.:	3.995	51.17	2.138	1.207	542.9	125.7	49.1	42.0	572.2	35.3
Min.:	3.910	49.68	2.137	1.205	542.0	124.8	48.9	41.6	571.3	34.8
Max.:	4.127	52.19	2.140	1.208	543.5	126.1	49.4	42.2	572.9	35.7
Range:	0.217	2.51	0.003	0.003	1.5	1.3	0.5	0.7	1.5	0.9
Std. Dev.:	0.057	0.66	0.001	0.001	0.3	0.3	0.1	0.1	0.4	0.2

Πίεση Ενεργοποιητή Έγχυσης Αέρα (P_3)
Πίεση Αέρα Παροχής (P_2)
DCN
ID
Θερμοκρασία Αέρα Παροχής (T_4)
Ελάχιστη Θερμοκρασία Αέρα Παροχής (T_{4min})
Μέγιστη Θερμοκρασία Αέρα Παροχής (T_{4max})
(T_{4max}) - (T_{4min})
Θερμοκρασία Αισθητήρα Πίεσης Θαλάμου Καύσης (T_3)
(T_{3min})
(T_{3max})
(T_{3max}) – (T_{3min})
Θερμοκρασία Ψυκτικού Ρεύματος Επιστροφής (T_7)
Θερμοκρασία Αντλίας Έγχυσης Καυσίμου (T_2)
Ελάχιστη Θερμοκρασία Ακροφυσίου Έγχυσης (T_{6min})
Μέγιστη Θερμοκρασία Ακροφυσίου Έγχυσης (T_{6max})
Θερμοκρασία Ακροφυσίου Έγχυσης (T_6)

Εικόνα 1.5.2.1 Παράδειγμα Αναφοράς Ολοκληρωμένου Κύκλου Μετρήσεων [9]

➢ Υπολογισμοί DCN

Για τον υπολογισμό του DCN, χρησιμοποιώντας την περιγραφόμενη μέθοδο χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση (Εξ 1.5.2.1):

$$DCN = 4{,}460 + \frac{186{,}6}{ID}$$ (Ε. 1.5.2.1) [9]

Στις περιπτώσεις όπου το ID είναι εκτός των ορίων 3,1 έως 6,5 ms, τότε για τον υπολογισμό του DCN χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση (Εξ 1.5.2.2.), η οποία όμως δεν παρέχει αξιοπιστία για ID εκτός των 3,3 έως 6,4 ms:

$$DCN = 83{,}99(ID - 1{,}512)^{-0{,}658} + 3{,}457$$ (Εξ.1.5.2.2) [9]

➢ Βαθμονόμηση και Έλεγχος Σωστής Λειτουργίας Συσκευής

Αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο η βαθμονόμηση, αλλά και ο έλεγχος σωστής λειτουργίας της συσκευής γίνεται ακολουθώντας την ίδια αυτοματοποιημένη διαδικασία ανάλυσης δειγμάτων καυσίμων.

Για τη βαθμονόμηση του οργάνου χρησιμοποιούνται ως καύσιμα αναφοράς:

- n-Heptane, για το οποίο απαιτούνται τρεις (3) διαδοχικοί προσδιορισμοί ID, των οποίων ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων πρέπει να είναι εντός των εξής ορίων 3,78 ± 0,01 ms.
- MCH, για το οποίο απαιτούνται δύο (2) διαδοχικοί προσδιορισμοί ID. Για να είναι αποδεκτά τα αποτελέσματα πρέπει κάθε μία από τις δοκιμές να βρίσκεται εντός των ορίων 10,4 ± 0,6 ms ή ο μέσος όρος είναι εντός των ορίων 10,4 ± 0,5 ms.

Η βαθμονόμηση του αναλυτή καύσης ολοκληρώνεται όταν είναι επιτυχής οι μετρήσεις και των δύο αυτών καυσίμων αναφοράς.

Ο έλεγχος ποιότητας πραγματοποιείται πριν από κάθε λειτουργική περίοδο με μόνο ένα προσδιορισμό ID, του πρότυπου ελέγχου (n-heptane) και ενός καυσίμου ελέγχου ποιότητας (Quality Check Sample – QCS). Ως QCS, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα δείγμα καυσίμου γνωστού ID, το εύρος του οποίου προσδιορίζεται από το πρωταρχικό εύρος του αναλυτή καύσης. [9]

➢ Διαδικασία Κλεισίματος Συσκευής

α. Έλεγχος του συστήματος για τυχόν υπολείμματα δειγμάτων καυσίμων στο σύστημα έγχυσης, στο δοχείο δείγματος και σε όλα τα υπόλοιπα μέρη.

β. Κλείσιμο βαλβίδων συμπιεσμένων αερίων.

γ. Άνοιγμα βαλβίδων για την εκτόνωση όλων των αερίων, και αποσυμπίεση αυτών, από τους ρυθμιστές αερίων και τον αναλυτή καύσης.

δ. Τοποθέτηση του βασικού διακόπτη του οργάνου στη θέση “OFF”. [9]

➢ Ignition Quality Tester (IQT)

Ένας αυτοματοποιημένος αναλυτής είναι ο “Ignition Quality Tester - IQT” (Εικ 1.5.2.2), με παντεταρισμένο σύστημα έγχυσης καυσίμου υποστηριζόμενο από πρότυπο αέρα, ο οποίος έχει τη δυνατότητα να προσδιορίζει την ποιότητα ανάφλεξης ενός δείγματος καυσίμου, γρήγορα, αθόρυβα αλλά και με μικρό οικονομικό κόστος. Το ID και ο DCN του προς εξέταση δείγματος καυσίμου, μπορεί να μετρηθεί γρήγορα και με μεγάλη ακρίβεια. [16]

Εικόνα 1.5.2.2 Αναλυτής Ποιότητας Ανάφλεξης Καυσίμων IQT [16]

Ο σχεδιασμός του συγκεκριμένου αναλυτή, όσων αφορά τα λειτουργικά του μέρη, τη διαδικασία ανάλυσης, τις λειτουργικές παραμέτρους αλλά και τα εξαγόμενα αποτελέσματα, είναι βασισμένος στις προδιαγραφές που ορίζονται από τη πρότυπη μέθοδο προσδιορισμού, των ID και DCN, ASTM-D6890.

1.5.3. Πρότυπη Μέθοδος Προσδιορισμού του «Παραγόμενου Αριθμού Κετανίου» (Derived Cetane Number DCN), καυσίμων ντήζελ (ASTM-D7668)

➢ Σκοπός

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί έναν θάλαμο καύσης σταθερού όγκου με σύστημα άμεσης έγχυσης μέσα σε θερμαινόμενο συμπιεσμένο συνθετικό αέρα, όπου κατά τη διάρκεια της καύσης δημιουργείται ένα κύμα δυναμικής πίεσης. Μία μαθηματική σχέση, η οποία καθορίζεται από την καμπύλη της αναπτυσσόμενης πίεσης, μετατρέπει την υστέρηση ανάφλεξης (ID), σε ένα παραγόμενο αριθμό κετανίου (DCN). Με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται το ID και η Υστέρηση Καύσης (Combustion Delay-CD) στα εξής χρονικά όρια:

- ID: από 1,9 έως 25 ms
- CD: από 2,5 έως 160 ms

τα οποία αντιστοιχούν σε DCN από 30 έως 70, όμως η αξιοπιστία της μεθόδου αναφέρεται σε DCN από 39 έως 67. [10]

➢ Συσκευές – Εξαρτήματα Συστήματος Ελέγχου

Η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα πλήρως αυτοματοποιημένο αναλυτικό σύστημα μέτρησης των απαιτούμενων χαρακτηριστικών των καυσίμων ντήζελ, το οποίο αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη (Γραφ1.5.3.1):

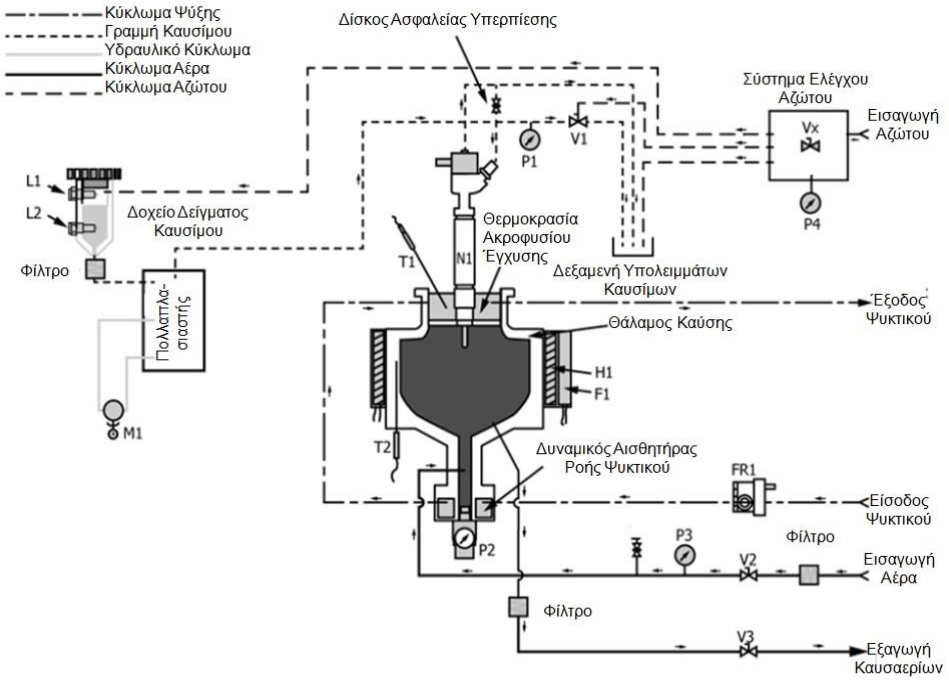
- Θάλαμο Καύσης σταθερού όγκου 0,437 ± 0,005 L, στον οποίο είναι προσαρμοσμένα θερμαντικά στοιχεία, θερμική μόνωση, ηλεκτρικοί ενεργοποιητές βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής. Στον θάλαμο υπάρχουν οπές – ανοίγματα για την προσαρμογή του ακροφυσίου έγχυσης και του αισθητήρα πίεσης, για την εισαγωγή του απαιτούμενου αέρα και την εξαγωγή των παραγόμενων καυσαερίων.

- Σύστημα έγχυσης καυσίμου το οποίο αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:
  - ➢ Δοχείο δείγματος καυσίμου, όγκου περίπου 200 mL.
  - ➢ Υδραυλική αντλία, η οποία μπορεί να αυξάνει τη πίεση του καυσίμου έως 19 MPa.
  - ➢ Πολλαπλασιαστής πίεσης, 10:1.
  - ➢ Εγχυτήρας καυσίμου.
  - ➢ Δίσκος Ασφαλείας Υπερπίεσης, ο οποίος απελευθερώνει την πίεση σε περίπτωση που αυτή υπερβεί την τιμή των 180 MPa.
  - ➢ Βαλβίδα Καθαρισμού (Flush).

- Σύστημα Ψύξης, το οποίο αποτελείται από ένα κλειστό κύκλωμα, που ρυθμίζει την θερμοκρασία του ακροφυσίου έγχυσης αλλά και του αισθητήρα δυναμικής πίεσης.
- Αισθητήρες ο οποίοι μετρούν και καταγράφουν τις λειτουργικές συνθήκες:
  - Αισθητήρας Στατικής Πίεσης Θαλάμου Καύσης.
  - Δυναμικός Αισθητήρας Πίεσης Θαλάμου Καύσης.
  - Αισθητήρας μέτρησης της πίεσης του δείγματος που εγχύεται στο θάλαμο καύσης.
  - Αισθητήρας πίεσης αζώτου.
  - Αισθητήρας θερμοκρασίας εσωτερικού τοιχώματος θαλάμου καύσης.
  - Αισθητήρας θερμοκρασίας ακροφυσίου έγχυσης.

- Σύστημα αυτοματοποιημένου ελέγχου, απόκτησης, ανάλυσης και αναφοράς δεδομένων. Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα μικροεπεξεργαστή στη βασική του μονάδα, ένα πληκτρολόγιο για την εισαγωγή των δεδομένων, μία οθόνη για την προβολή και παρατήρηση όλων των λειτουργικών παραμέτρων, από το σύνολο των αισθητήρων πίεσης και θερμοκρασίας.

- Ρυθμιστές πίεσης συμπιεσμένων αερίων:
  - Ρυθμιστής Αέρα παροχής δύο σταδίων, ο οποίος μπορεί να ελέγχει την πίεση ροής με ελάχιστη τιμή 2,2 MPa.
  - Ρυθμιστή Αζώτου δύο σταδίων, ο οποίος μπορεί να ελέγχει την πίεση της ροής με ελάχιστη τιμή 0,7 MPa.



Γράφημα 1.5.3.1 Σχηματική Απεικόνιση Ολοκληρωμένου Συστήματος Μέτρησης ID και CD [10]

➢ Λειτουργική Διαδικασία Οργάνου

1. Εκκίνηση – Προθέρμανση Οργάνου

Για να τεθεί το όργανο σε λειτουργική κατάσταση, αρχικά ανοίγονται οι βαλβίδες των φιαλών του αέρα και του αζώτου, μέχρι να επιτευχθεί η κατάλληλη πίεση και στη συνέχεια εκκινείται το σύστημα ψύξης.

Τοποθετώντας το διακόπτη του αναλυτή στη θέση “ON”, ξεκινάει η φάση προθέρμανσης του συστήματος. Με τη σταθεροποίηση της θερμοκρασίας του τοιχώματος του θαλάμου, γίνεται έλεγχος της πτώσης πίεσης εντός του θαλάμου, για τυχόν διαρροές.

2. Διαδικασία Ανάλυσης - Μέτρησης Δείγματος Καυσίμου

Ολοκληρώνοντας τη φάση της προθέρμανσης και σταθεροποίησης των λειτουργικών συνθηκών, και τη διαδικασία ελέγχου ποιότητας, το όργανο πλέον είναι σε κατάσταση έναρξης ανάλυσης δειγμάτων καυσίμου. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι ίδια με αυτή της βαθμονόμησης και ελέγχου ποιότητας, η οποία είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

α. Αρχική εισαγωγή δείγματος καυσίμου όγκου περίπου 50 mL, για καθαρισμό του αναλυτή, μέσω της διαδικασίας καθαρισμού (Flush)

β. Πλήρωση του δοχείου δείγματος με περίπου 160 mL, του προς εξέταση καυσίμου και ασφάλιση του δοχείου, ώστε να επιτευχθούν οι απαιτούμενες συνθήκες πίεσης.

γ. Εκκίνηση της αυτοματοποιημένης διαδικασίας, η οποία περιλαμβάνει 5 προκαταρτικούς κύκλους καύσης και άλλους 15 βασικούς.

δ. Σε περίπτωση που θα επανελεγχθεί το ίδιο καύσιμο, μπορεί να εισαχθεί απευθείας η επόμενη ανάλογη ποσότητα, σε αντίθετη περίπτωση, τα υπολείμματα καυσίμου εξάγονται από το σύστημα μέσω καθαρισμού και στη συνέχεια εισάγεται το καινούριο καύσιμο.

ε. Με την ολοκλήρωση των μετρήσεων και εξασφαλίζοντας ότι δεν υπάρχουν υπολείμματα καυσίμων σε όλο το σύστημα, κλείνουν οι βαλβίδες των φιαλών αερίων και επιλέγεται η εντολή του κλεισίματος (Shut Down) του συστήματος. Σε αυτή τη φάση το σύστημα ψύξης παραμένει ενεργό για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 1,5 h, όπου και στη συνέχεια εμφανίζεται αντίστοιχο μήνυμα στην οθόνη του συστήματος που επιτρέπει τη πλήρη απενεργοποίηση του συστήματος, τοποθετώντας το γενικό διακόπτη στη θέση “OFF”. [10]

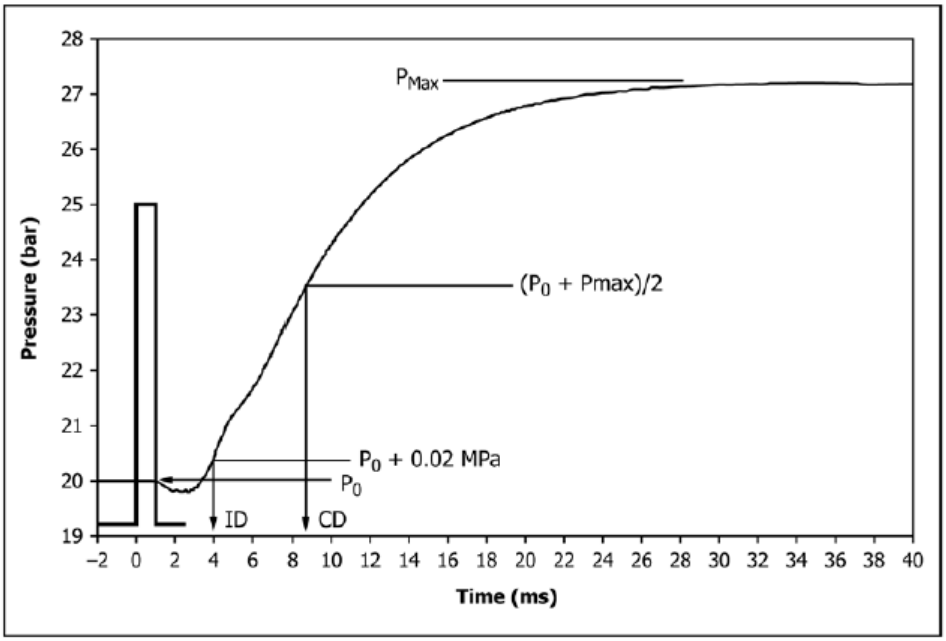
3. Αναφορά Αποτελεσμάτων

Με την ολοκλήρωση του συνολικού κύκλου καύσεων, εξαγάγεται η αναφορά αποτελεσμάτων, στην οποία αναγράφονται οι παρακάτω πληροφορίες:

- Η ταυτότητα του δείγματος.
- Η ημερομηνία ανάλυσης.
- Ο μέσος όρος των μετρούμενων ID και CD, στρογγυλοποιημένα στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο (0,01 ms).
- Ο υπολογιζόμενος DCN στρογγυλοποιημένος στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο (0,01).
- Ο ακέραιος μέσος όρος της θερμοκρασίας του τοιχώματος του θαλάμου σε ° C.
- Η χρονική περίοδος έγχυσης της ανάλυσης.
- Ο αριθμός των ζευγών δεδομένων ακραίων τιμών, που αποκλείστηκαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου των ID και CD. [10]

4. Υπολογισμοί DCN

Στη παρακάτω γραφική παράσταση (Γραφ 1.5.3.2) παρουσιάζεται η καμπύλη διακύμανσης των συνθηκών πίεσης εντός του θαλάμου καύσης, στα οποία διακρίνονται τα σημεία – τιμές της αρχικής στατική πίεσης (P_o), η μέγιστη δυναμική πίεση (P_{MAX}), και η χρονική διάρκεια των ID και CD. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ID ορίζεται από την αύξηση της στατικής πίεσης κατά 0,02 MPa και ότι το CD ορίζεται από το ημιάθροισμα της στατικής και μέγιστης δυναμικής πίεσης ($\frac{P_o + P_{MAX}}{2}$). [10]



Γράφημα 1.5.3.2 Γραφική Παράσταση της Χρονικής Εξέλιξης Μεταβολής Πίεσης Εντός του Θαλάμου Καύσης [10]

Για τον υπολογισμό του DCN, χρησιμοποιώντας την περιγραφόμενη μέθοδο χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση (Εξ 1.5.3.1):

$$DCN = 13{,}028 + \left(-\frac{5{,}3378}{ID}\right) + \left(\frac{300{,}18}{CD}\right) + \left(-\frac{1267{,}90}{CD^2}\right) + \left(\frac{3415{,}32}{CD^3}\right) \quad \text{(Εξ.1.5.32) [10]}$$

➢ Βαθμονόμηση και Έλεγχος Σωστής Λειτουργίας Οργάνου

Αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο η βαθμονόμηση, αλλά και ο έλεγχος σωστής λειτουργίας του οργάνου γίνεται ακολουθώντας την ίδια αυτοματοποιημένη διαδικασία ανάλυσης δειγμάτων καυσίμων.

Η βαθμονόμηση στην οποία χρησιμοποιείται το Hexadecane/HMN, πραγματοποιείται για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του θαλάμου, την χρονική διάρκεια της έγχυσης και το ID, τα οποία πρέπει να βρίσκονται εντός των προκαθορισμένων ορίων. Εκτελείται η αυτοματοποιημένη διαδικασία βαθμονόμησης, η οποία περιλαμβάνει ένα ολοκληρωμένο κύκλο καύσεων τόσο των 5 προκαταρτικών αλλά και των 15 βασικών. Με την ολοκλήρωση αυτού υπολογίζεται ο μέσος όρος των ID και των CD. Οι επιθυμητοί και απαιτούμενοι μέσοι όροι είναι 2,96±0,16 ms και 4,90±0,08 ms , για το ID και το CD, αντίστοιχα.

Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται, για βαθμονόμηση με υλικό αναφοράς το MCH, στην οποία πραγματοποιούνται 2 ολοκληρωμένοι κύκλοι μετρήσεων και υπολογισμών των ID και CD. Για να θεωρηθεί επιτυχής η διαδικασία πρέπει κάθε ξεχωριστή μέτρηση να βρίσκεται εντός των ορίων των 11,0 ± 1,30 ms και 17,00 ± 1,40 ms για το ID και CD, αντίστοιχα και ο μέσος όρος των μετρήσεων πρέπει να βρίσκεται εντός των ορίων των 11,0 ± 1,10 ms και 17,00 ± 1,30 ms για το ID και CD, αντίστοιχα.

Η βαθμονόμηση του αναλυτή ολοκληρώνεται όταν είναι επιτυχής και οι δύο προαναφερόμενες διαδικασίες.

Ο έλεγχος ποιότητας πραγματοποιείται πριν από κάθε λειτουργική περίοδο με μόνο ένα προσδιορισμό του ID και CD για ένα πρότυπο ελέγχου (Hexadecane/HMN) και προσδιορισμός τουλάχιστον ενός DCN από ένα QCS. Ως QCS, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα δείγμα καυσίμου του οποίου το ID, προσδιορίζεται από το πρωταρχικό εύρος του αναλυτή καύσης. Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται φιάλες πρότυπου αέρα (οξυγόνου – αζώτου), απαιτείται η πραγματοποίηση ενός ελέγχου ποιότητας, μετά από κάθε αντικατάσταση της φιάλης.

Η χρήση του αναλυτή κρίνεται κατάλληλη με την ολοκλήρωση και των δύο προαναφερόμενων ελέγχων ποιότητας.

➢ Cetane ID510

Ο αναλυτής “Herzog Cetane ID 510 Analyzer” (Εικ 1.5.3.1), αποτελεί ένα συμπαγή και εύκολο στη χρήση αναλυτή, με πλήρως αυτοματοποιημένες διαδικασίες ανάλυσης και βαθμονόμησης, προσφέροντας υψηλά επίπεδα πιστότητας. Είναι πλήρως εναρμονισμένο με τις προδιαγραφές μέτρησης CN, που ορίζονται από τη πρότυπη μέθοδο ASTM-D613, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δείγματα Biodiesel, μείγματα αυτών και καύσιμα με βελτιωτικά πρόσθετα CN. Η μέθοδος προσδιορισμού του CN, με τον αναλυτή ID 510, έχει εγκριθεί με βάση την πρότυπη μέθοδο ASTM-D7668. Το εύρος ανάλυσης είναι από 35 έως 65 DCN, ο χρόνος προθέρμανσης είναι περίπου 40 λεπτά και ο αντίστοιχος ανάλυσης περίπου 30 λεπτά. [17]

Εικόνα 1.5.3.1 Αναλυτής ID 510 [17]

1.5.4. Πρότυπη Μέθοδος Προσδιοριαμού του «Παραγόμενου Αριθμού Κετανίου» (Derived Cetane Number DCN), καυσίμων ντήζελ , σταθερής περιόδου έγχυσης σε θάλαμο καύσης σταθερού όγκου (ASTM-D7170)

Ο σκοπός της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ο ποσοτικός προσδιορισμός των χαρακτηριστικών ανάφλεξης των συμβατικών καυσίμων ντήζελ και αυτών που περιέχουν βελτιωτικά αριθμού κετανίου. Η συγκεκριμένη μέθοδος μετράει την υστέρηση ανάφλεξης (Ignition Delay-ID), χρησιμοποιώντας ένα θάλαμο καύσης σταθερού όγκου με άμεσο ψεκασμό σε θερμό και συμπιεσμένο αέρα. Με βάση μία μαθηματική εξίσωση το ID μετατρέπεται σε ένα παραγόμενο αριθμό κετανίου (Derived Cetane Number-DCN)

Αυτή η μέθοδος καλύπτει ένα εύρος τιμών από την ελάχιστη 35,0 DCN, ο οποίος αντιστοιχεί σε 4,89 ms ID, μέχρι την μέγιστη τιμή 59,6 DCN, ο οποίος αντιστοιχεί σε 2,87 ms ID. [11]

Τα κύρια μέρη του οργάνου μέτρησης, η μέθοδος βαθμονόμησης, ο τρόπος λειτουργίας του, καθώς και η αναφορά των αποτελεσμάτων περιγράφονται στις αντίστοιχες παραγράφους στο πειραματικό μέρος.

1.5.5. Σύγκριση Πρότυπων Μεθόδων Προσδιορισμού Αριθμού Κετανίου

Ολοκληρώνοντας την περιγραφή των πρότυπων μεθόδων προσδιορισμού του CN παρουσιάζονται συγκριτικοί πίνακες των προαναφερόμενων μεθόδων.

Πίνακας 1.5.5.1 Συγκριτικός Πίνακας Εύρους Μέτρησης και Περιοχών Ακρίβειας Μετρήσεων [9, 10, 11]

	IQT (ASTM-D6890)	**CID510 (ASTM-D7668)**	**FIT (ASTM-D7170)**
Εύρος DCN	33 - 64	30 – 70	35 – 59,6
Εύρος ID (ms)	6,5 – 3,1	25 -1,9	4,89 - 2,87
Εύρος CD (ms)	-	160 -2,5	-
Περιοχή Ακρίβειας Μετρήσεων	**IQT (ASTM-D689)**	**CID510 (ASTM-D7668)**	**FIT (ASTM-D7170)**
Εύρος DCN	33,4 – 62,0	39 -67	40,8 – 58,6
Εύρος ID (ms)	6,24 – 3,24	-	4,26 – 2,97

Παρατηρώντας τις περιοχές στις οποίες είναι ακριβείς οι μετρήσεις κάθε συσκευής, διαπιστώνεται ότι διαφέρουν σημαντικά, συνεπώς θα πρέπει να υπάρχει κάποια πληροφορία για το εύρος στο οποίο αναμένεται να μετρηθεί ο DCN, όπως για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί εάν υπάρχουν διαθέσιμα τα απαιτούμενα δεδομένα ο CCI, ως μία πρώτη ένδειξη της περιοχής στην οποία κυμαίνεται ο DCN.

Πίνακας 1.5.5.2 Συγκριτικός Πίνακας Λειτουργικών Συνθηκών Συσκευών Προσδιορισμού DCN [9, 10, 11]

Λειτουργικές Συνθήκες	**IQT (ASTM-D6890)**	**CID510 (ASTM-D7668)**	**FIT (ASTM-D7170)**
Ποσότητα Δείγματος (ml)	100	370	220
Απαιτούμενος Χρόνος Μέτρησης (min)	20	30	25
Θερμοκρασία Αέρα Παροχής (° C)	545 ± 30	-	510 ± 50
Θερμοκρασία Τοιχώματος Θαλάμου Καύσης (° C)	Ορίζεται από το χειριστή με βάση τη διαδικασία βαθμονόμησης (Εξωτερικού Τοιχώματος)	560 – 640 Ορίζεται από το χειριστή με βάση τη διαδικασία βαθμονόμησης (Εσωτερικού Τοιχώματος)	Ορίζεται από το χειριστή με βάση τη διαδικασία βαθμονόμησης (Εσωτερικού Τοιχώματος)
Πίεση Θαλάμου Καύσης (MPa)	2,137 ± 0,007	2,00 ± 0,02	2,4 ± 0,02

Από το πίνακα σύγκρισης λειτουργικών συνθηκών, παρατηρείται ότι και οι 3 συσκευές, είναι σχεδιασμένες για να λειτουργούν σε παρόμοιες συνθήκες. Κοινό χαρακτηριστικό τους είναι ο μικρός χρόνος μέτρησης ενός δείγματος και η μικρή απαιτούμενη ποσότητα. Επίσης και στις 3 συσκευές η διαδικασία μέτρησης είναι αυτοματοποιημένη χωρίς να απαιτούνται ιδιαίτερη χειρισμοί κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Πίνακας 1.5.5.3 Συγκριτικός Πίνακας Μετρήσεων Βαθμονόμησης Συσκευών Προσδιορισμού DCN [9, 10, 11]

Α/Α Βαθμ/σης		**IQT (ASTM-D6890)**	**CID510 (ASTM-D7668)**	**FIT (ASTM-D7170)**
1.	Καύσιμα Βαθμονόμησης	n-Heptane	Hexadecane/ HMN	n-Heptane
	Αριθμός Επαναλήψεων	3	1	3
	ID (CD) Βαθμονόμησης (ms)	3,78 ± 0,01	2,96±0,16 (4,90±0,08)	3,15 ± 0,04
2.	Καύσιμα Βαθμονόμησης	MCH	MCH	MCH
	Αριθμός Επαναλήψεων	2	2	2
	ID (CD) Βαθμονόμησης (ms)	10,4 ± 0,6	11,00 ± 1,1 (17,00 ± 1,2)	10,1 ± 0,5

Από τον πίνακα σύγκρισης βαθμονόμησης των συσκευών αυτών παρατηρείται ότι, για τις βαθμονομήσεις τους απαιτούνται παραπλήσιες διαδικασίες, οι οποίες ουσιαστικά ακολουθούν την διαδικασία μέτρησης ενός δείγματος καυσίμου, με τη διαφορά ότι τα αποτελέσματα είναι γνωστά και πρέπει να είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων, ώστε να μην είναι αναγκαίες λειτουργικές προσαρμογές από τον χειριστή όπως η μεταβολή της θερμοκρασίας τοιχώματος του θαλάμου καύσης.

- **Ακρίβεια Μεθόδου Μετρήσεων**

Η ακρίβεια (precision) μιας μεθόδου εκφράζεται με την επαναληψιμότητα (repeatability - r) και την αναπαραγωγιμότητα (reproducibility - R)**.** Η επαναληψιμότητα μαζί με την ακρίβεια, αποτελούν τους σημαντικότερους παραμέτρους που καθορίζουν την αξιοπιστία μιας μεθόδου.

1. Επαναληψιμότητα

Ορίζεται ως η δυνατότητα της μεθόδου να δίνει το ίδιο αποτέλεσμα σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις του ίδιου δείγματος και είναι συνώνυμο με τη συνέπεια (consistency). Μας δείχνει το βαθμό διασποράς των τιμών της ανάλυσης κατά τον προσδιορισμό μιας ουσίας με μία συγκεκριμένη μέθοδο. Η επαναληψιμότητα μας δείχνει το μέγεθος των τυχαίων λαθών που μπορεί να οφείλονται σε ποικίλους παράγοντες, όπως διαφορετικά όργανα μέτρησης, αντιδραστήρια διαφορετικής προέλευσης, αλλαγή προσωπικού στην εργαστηριακή ανάλυση, κα. [18]

Επίσης η διαφορά δύο επιτυχώς ολοκληρωμένων μετρήσεων, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από τον ίδιο χειριστή, με τα ίδια όργανα μέτρησης, κάτω από τις ίδιες και σταθερές λειτουργικές συνθήκες, που ορίζονται από τις πρότυπες μεθόδους μέτρησης, με ακριβώς το ίδιο προς εξέταση δείγμα, μπορούν να ξεπερνούν τις τιμές που καθορίζονται από τον παρακάτω πίνακα (Πιν 1.5.5.4), μόνο σε 1 από 20 περιπτώσεις.

2. Αναπαραγωγιμότητα

Είναι το μέτρο της διασποράς μεταξύ των αποτελεσμάτων ανεξάρτητων ελέγχων που λαμβάνονται με την ίδια μέθοδο στο ίδιο δείγμα κάτω από διαφορετικές συνθήκες, δηλαδή, διαφορετικοί αναλυτές, ίδιο ή διαφορετικά εργαστήρια, κα. Διακρίνεται σε ενδο-εργαστηριακή και δια-εργαστηριακή αναπαραγωγιμότητα. [18]

Αντίστοιχα δύο επιτυχώς ολοκληρωμένες μετρήσεις, που έγιναν στο ίδιο προς εξέταση δείγμα, από διαφορετικούς χειριστές και σε διαφορετικά όργανα, κάτω όμως από τις ίδιες και σταθερές λειτουργικές συνθήκες που καθορίζονται από τις πρότυπες μεθόδους μέτρησης, μπορούν να ξεπερνούν τις τιμές που καθορίζονται από τον παρακάτω πίνακα (Πιν 1.5.5.4), μόνο σε 1 από 20 περιπτώσεις.

Ο ποσοτικός τρόπος έκφρασης της επαναληψιμότητας είναι ο προσδιορισμός της τυπικής απόκλισης (Standard Deviation - SD). Ουσιαστικά η τυπική απόκλιση εκφράζει την έλλειψη αναπαραγωγικότητας (imprecision), δηλαδή την έλλειψη σύμπτωσης μεταξύ των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων. Οι όροι τυχαίο λάθος, τυπική απόκλιση και έλλειψη επαναληψιμότητας είναι ταυτόσημοι. Όσο μεγαλύτερη η τυπική απόκλιση τόσο μεγαλύτερο το τυχαίο λάθος. Όσο μικρότερη η τυπική απόκλιση τόσο καλύτερη είναι η επαναληψιμότητα της μεθόδου. [18]

Στο παρακάτω πίνακα (Πιν 1.5.5.5) παρουσιάζονται τα συγκριτικά στοιχεία των μεθόδων ως προς την επαναληψιμότητά και την αναπαραγωγισιμότητά, για κάθε μία μέθοδο ξεχωριστά αλλά και την αναπαραγωγισμότητάς τους σε σύγκριση με τη πρότυπη μέθοδο ASTM-D613.

Πίνακας 1.5.5.4 Συγκριτικός Πίνακας Επαν/τητας και Αναπ/τητας Συσκευών Προσδιορισμού DCN [9, 10, 11]

	IQT (ASTM-D6890)		
	ID (ms)	DCN	
Επαν/τα (r)	0,05(ID-2,5)	0,0132(DCN+18)	
Αναπ/τα (R)	0,0792(ID-1,1)	0,0385(DCN+18)	
	CID510 (ASTM-D7668)		
	ID (ms)	CD (ms)	DCN
Επαν/τα (r)	0,003035 $ID^{2,5}$	0,00281 CD^2	0,0198(DCN-21)
Αναπ/τα (R)	0,00986 $ID^{2,5}$	0,00644 CD^2	0,0463(DCN-21)
	FIT (ASTM-D7170)		
	ID	DCN	
Επαν/τα (r)	0,023*ID	0,072*$DCN^{0,7}$	
Αναπ/τα (R)	0,082*ID	0,262*$DCN^{0,7}$	

Πίνακας 1.5.5.5 Αναπαραγωγισιμότητα Μεταξύ Προτύπων Μεθόδων Προσδιορισμού CN και DCN [9, 10, 11]

IQT (ASTM-D6890)
$\mathrm{R_{XY}} = 0{,}1094 \left\{\frac{(\mathrm{DCN}_{D6890} + \mathrm{CN}_{\mathrm{D613}})}{2} - 11{,}02\right\}$
CID510 (ASTM-D7668)
$\mathrm{R_{XY}} = \left(0{,}82\, R_{\mathrm{x}}^2 + 0{,}82 R_y^2\right)^{0,5}$ $37{,}7 < \mathrm{CN}_{\mathrm{D613}} < 65{,}1$ $39{,}4 < \mathrm{DCN}_{\mathrm{D7668}} < 66{,}8$
FIT (ASTM-D7170)
$\mathrm{R_{XY}} = \left[(0{,}6 \times DCN_{D7170}^2) + \left(0{,}6 \times \mathrm{DCN_{D613}}^2\right)\right]^{0,5}$

Για να συγκριθούν τα όρια επαναληψιμότητας, αναπαραγωγισιμότητας των μεθόδων αλλά και την αναπαραγωγισιμότητα σε σύγκριση με την πρότυπη μέθοδο επιλέγονται αυθαίρετα η τιμή DCN = 50 και ID= 3,8 ms οι οποίες βρίσκονται μέσα στο λειτουργικό εύρος αλλά και στη περιοχή ακρίβειας των μετρήσεων, όπως και $\frac{CN_{613} + DCN_{Di}}{2} = 50$. Έτσι προκύπτουν τα αποτελέσματα τους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 1.5.5.6 Συγκριτικά Αποτελέσματα Επαν/τητας και Αναπ/τητας Πρότυπων Μεθόδων Προσδιορισμού DCN

	IQT (ASTM-D6890)	
	ID = 3,8 ms	DCN = 50
Επαν/τα (r)	0,05(3,8-2,5) = ± 0,065	0,0132(50+18) = ± 0,90
Αναπ/τα (R)	0,0792(3,8-1,1) = ± 0,232	0,0385(50+18) = ± 2,6
	CID510 (ASTM-D7668)	
	ID (ms)	DCN
Επαν/τα (r)	$0,003035 \cdot 3,8^{2,5}$ =±0,0854	0,0198(50-21) = ±0,57
Αναπ/τα (R)	$0,00986 \cdot 3,8^{2,5}$= ±0,278	0,0463(50-21) = ± 1.34
	FIT (ASTM-D7170)	
	ID	DCN
Επαν/τα (r)	0,023 · 3,8 = 0,0874	$0,072 \cdot 50^{0,7}$ = ±1,11
Αναπ/τα (R)	0,082 · 3,8 = 0,3116	$0,262 \cdot 50^{0,7}$ = ±4,08

Πίνακας 1.5.5.7 Συγκριτικά Αποτελέσματα Αναπ/τητας Πρότυπων Μεθόδων Προσδιορισμού DCN σε σχέση με το Προσδιορισμό του CN με τη Πρότυπη Μέθοδο ASTM-D613

IQT (ASTM-D6890)
$R_{XY} = \pm 4,26$ [9]
CID510 (ASTM-D7668)
$R_{XY} = \pm 3,86$ [10]
FIT (ASTM-D7170)
$R_{XY} = \pm 4,44$ [11]

Από τους παραπάνω πίνακες διακρίνεται ότι η πρότυπη μέθοδος ASTM-D7170, έχει τα ευρύτερα όρια επαναληψιμότητας και αναπαραγωγισμότητας όπως επίσης και σε σύγκριση με τη μέθοδο ASTM-D613.

➢ Σύγκριση Μεθόδων με τη Πρότυπη Μέθοδο ASTM-D613

Όσων αφορά τη σύγκριση της πρότυπης μεθόδου ASTM-D613, η οποία χρησιμοποιεί ένα μονοκύλινδρο πρότυπο κινητήρα μεταβλητού όγκου, με τις συσκευές μέτρησης, που είναι σχεδιασμένες και λειτουργούν με βάση τις καθοριζόμενες συνθήκες από τις υπόλοιπες πρότυπες μεθόδους, διακρίνεται ότι η μέθοδος ASTM-D613, αποτελεί την πιο αξιόπιστη λύση, αφού ο έλεγχος αναπαραγωγσιμότητας των αποτελεσμάτων των άλλων μεθόδων στηρίζεται και στα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτής.

Στο λειτουργικό κομμάτι των μεθόδων, παρατηρείται ότι ο τρόπος μέτρησης της μεθόδου με τον πρότυπο κινητήρα, είναι εντελώς διαφορετικός αφού χρησιμοποιεί ένα κινητήρα μεταβλητού λόγου συμπίεσης, ενώ όλες οι υπόλοιπες χρησιμοποιούν θάλαμο καύσης σταθερού όγκου, προσομοιάζοντας όμως τις συνθήκες καύσης, και όλες τις φυσικοχημικές διεργασίες που πραγματοποιούνται και στον κινητήρα. Για μία ολοκληρωμένη μέτρηση με τον πρότυπο κινητήρα απαιτείται μεγάλη ποσότητα καυσίμου, το οποίο θα ελεγχθεί περίπου 1L, όπως επίσης και σημαντική ποσότητα και από τα καύσιμα αναφοράς, με βάση τα οποία υπολογίζεται ο CN, του καυσίμου που ελέγχεται. Ο απαιτούμενος χρόνος για μία ολοκληρωμένη μέτρηση κυμαίνεται στη 1h, πολύ μεγαλύτερος σε σύγκριση με τις άλλες συσκευές. Επίσης σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι οι χειροκίνητες προσαρμογές και ρυθμίσεις που πρέπει να γίνονται τόσο κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης αλλά και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Ενώ αντίθετα στις άλλες μεθόδους η όλη διαδικασία είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και δεν απαιτούνται σημαντικές διορθώσεις κατά την πραγματοποίηση των βαθμονομήσεων και μετρήσεων. Τέλος η μέθοδος υπολογισμού του CN, με τον πρότυπο κινητήρα βασίζεται σε παρεμβολές μεταξύ των αποτελεσμάτων των καυσίμων αναφοράς, ενώ στις υπόλοιπες μεθόδους, τα αποτελέσματα εξάγονται αυτόματα και βασίζονται σε απλές μαθηματικές σχέσεις.

1.6. Πρότυπες Μέθοδοι Προσδιορισμού Λοιπών Ιδιοτήτων Καυσίμων Ντήζελ

1.6.1 Πρότυπη Μέθοδος Απόσταξης για Παράγωγα Πετρελαίου, υπό Ατμοσφαιρική Πίεση (ASTM D-86)

- **Σκοπός**

Ο σκοπός της μεθόδου είναι να ορίσει τις προδιαγραφές στην διαδικασία απόσταξης προϊόντων πετρελαίου, χρησιμοποιώντας εργαστηριακή μονάδα, καθορίζοντας ποσοτικά τα χαρακτηριστικά βρασμού αντίστοιχων προϊόντων, όπως είναι τα ελαφρά και μεσαία αποστάγματα, καύσιμα αυτοκινήτων, αεροπορικά καύσιμα, καύσιμα ντήζελ και μείγματα αυτών με Biodiesel, ναυτιλιακά καύσιμα, κλπ. [19]

- **Συνοπτική Περιγραφή Μεθόδου**

Τα χαρακτηριστικά πτητικότητας ή απόσταξης των καυσίμων Η/C, επηρεάζουν σημαντικά την λειτουργικότητα και ασφάλειά τους. Το θερμοκρασιακό εύρος βρασμού, παρέχει πληροφορίες για τη σύσταση, τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της χρήσης και αποθήκευσης των καυσίμων αυτών.

Τα προαναφερόμενα είδη καυσίμων ανάλογα με την σύστασή του, την τάση ατμών, το αναμενόμενο Αρχικό Σημείο Βρασμού (Initial Boiling Point - IBP), το Τελικό Σημείου Βρασμού (Final Boiling Point – FBP), ή άλλες ιδιότητες χωρίζονται σε 4 κατηγορίες, με βάση τις οποίες καθορίζονται η διάταξη των εξαρτημάτων, η θερμοκρασία συμπυκνωτήρα και άλλες λειτουργικές παράμετροι.

Μία ποσότητα δείγματος (100 ml), αποστάζεται κάτω από καθορισμένες με βάση την κατηγορία συνθήκες. Η απόσταξη πραγματοποιείται σε εργαστηριακή μονάδα σε περιβαλλοντικές συνθήκες, που έχουν σχεδιαστεί ώστε να παρέχουν μία κλασμάτωση των συστατικών του δείγματος. Κατά τη διάρκεια της απόσταξης απαιτούνται συστηματική καταγραφή των θερμοκρασιακών ενδείξεων και των όγκων των αποσταγμάτων που δημιουργήθηκαν. Επιπρόσθετα πρέπει να καταγράφονται τα υπολείμματα αλλά και οι απώλειες της αρχικής ποσότητας του δείγματος.

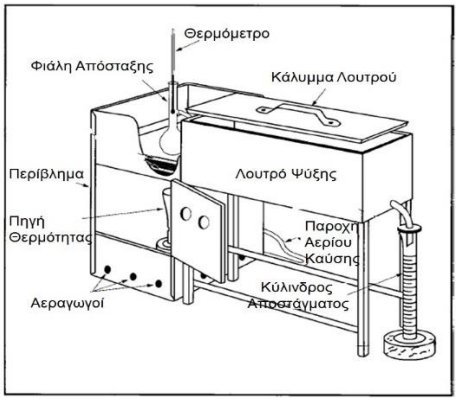
Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε εκατοστιαίο ποσοστό εξάτμισης ή ανάκτησης σε σύγκριση με την αντίστοιχη θερμοκρασία, και καταγράφονται τόσο σε πίνακες αλλά και στις αντίστοιχες καμπύλες απόσταξης. [19]

- **Κύρια Λειτουργικά Μέρη Μονάδας Απόσταξης**

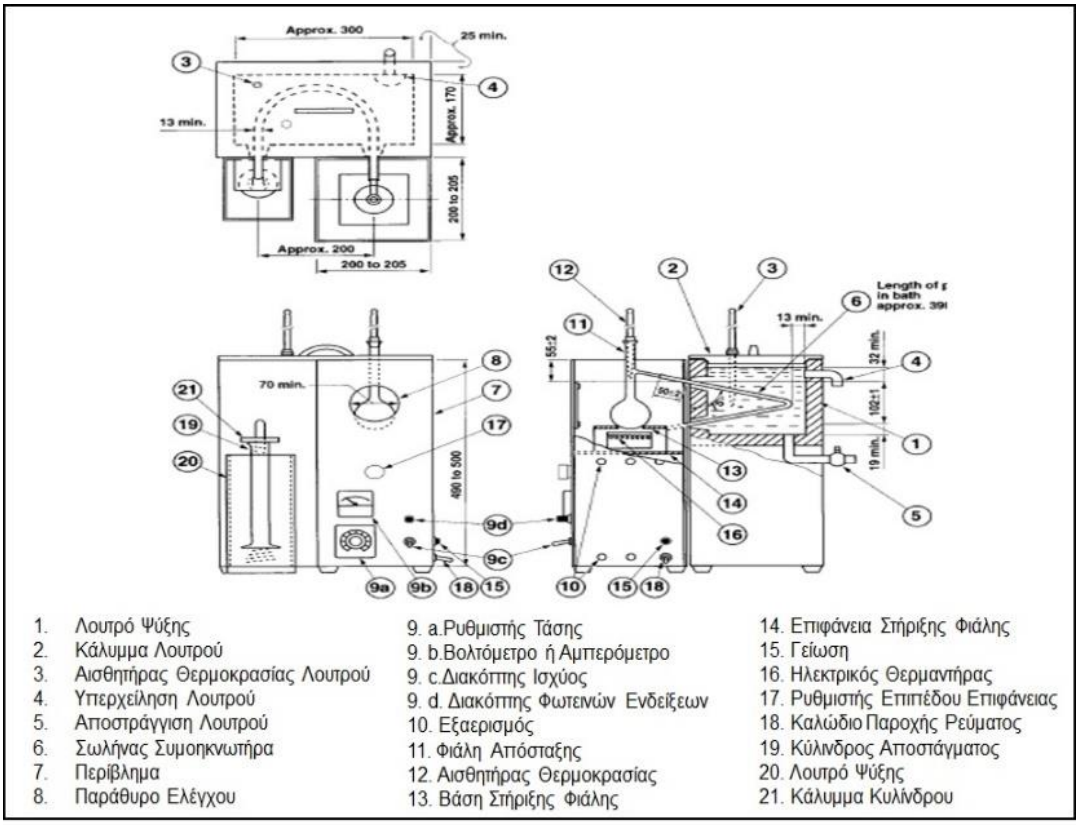
Μία μη αυτοματοποιημένη εργαστηριακή μονάδα απόσταξης αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη (Εικ 1.6.1.1,2):

- Φιάλη Απόσταξης
- Συμπυκνωτήρα με προσαρμοσμένο λουτρό ψύξης
- Μεταλλικό περίβλημα της φιάλης
- Θερμαντική Πηγή
- Συσκευές μέτρησης της θερμοκρασίας
- Ογκομετρικός Κύλινδρος περισυλλογής Αποστάγματος

Οι αυτοματοποιημένες διατάξεις διαθέτουν συστήματα μέτρησης και καταγραφής των απαραίτητων δεδομένων θερμοκρασιών και συλλεγόμενου όγκου αποστάγματος.



Εικόνα 1.6.1.1 Διάταξη Εργαστηριακή Μονάδας Απόσταξης με παροχή Αερίου [19]



Εικόνα 1.6.1.2 Εργαστηριακή Μονάδα Απόσταξης με Ηλεκτρική Θερμαντική Πηγή [19]

➢ Διαδικασία Απόσταξης

1. Όπως έχει προαναφερθεί για κάθε κατηγορία καυσίμων τα οποία θα αποσταχθούν, εφαρμόζονται διαφορετικές συνθήκες και χρησιμοποιούνται διαφορετικά όργανα, όπως πχ τα θερμόμετρα σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται υδραργύρου. Έτσι αρχικά πρέπει να ελεγχθεί η θερμοκρασία των δειγμάτων, η οποία πρέπει να είναι τουλάχιστον 9-21° C, πάνω από το σημείο ροής, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ροή αυτών μέσα στη φιάλη απόσταξης. Αρχικά τοποθετούνται ακριβώς 100 ml δείγματος καυσίμου στο κύλινδρο αποστάγματος και επιστρέφεται όλη η ποσότητα στη φιάλη απόσταξης προσπαθώντας να μην παραμείνει καθόλου ποσότητα εντός του κυλίνδρου.

2. Τοποθετείται το θερμόμετρο ή ο αισθητήρας θερμοκρασίας στο κέντρο του κυλινδρικού μέρους της φιάλης απόσταξης, στο ύψος όπου συμπυκνώνονται οι ατμοί του εξατμιζόμενου καυσίμου.

3. Τοποθετείται η φιάλη απόσταξης σε κατακόρυφη θέση και συνδέεται με το σωλήνα του συμπυκνωτήρα.

4. Τοποθετείται ο κύλινδρος αποστάγματος σε κατακόρυφη θέση, στο κέντρο του οποίου καταλήγει ο σωλήνας του συμπυκνωτήρα ο οποίος διέρχεται μέσα από θερμοστατούμενο λουτρό ψύξης.

5. Σημειώνεται ο χρόνος έναρξης της παροχής θερμότητας και έναρξης της απόσταξης και παρατηρείται και καταγράφεται η θερμοκρασία του «Αρχικού Σημείου Βρασμού» (Initial Boiling Point – IBP) στο πλησιέστερο πρώτο δεκαδικό ψηφίο (0,5^{o}C).

6. Προσαρμόζεται κάθε φορά η παρεχόμενη θερμική ενέργεια έτσι ώστε να διατηρείται σταθερός ο χρόνος που απαιτείται να εξατμιστεί το 5% (5 ml) της εναπομένουσας ποσότητας δείγματος. Δηλαδή θα πρέπει σε κάθε 4-5 λεπτά να συμπυκνώνονται και να συγκεντρώνονται στο κύλινδρο αποστάγματος 5 ml δείγματος. Ο ρυθμός απόσταξης επηρεάζει τη μετρούμενη θερμοκρασία απόσταξης και επίσης θα πρέπει να παραμένει όσο το δυνατό σταθερός.

7. Καταγράφονται όλοι οι όγκοι στον κύλινδρο αποστάγματος και οι αντίστοιχες θερμοκρασίες.

8. Στις περιπτώσεις όπου η καμπύλη απόσταξη αλλάζει κλίση και παρατηρείται ταχεία μεταβολή της θερμοκρασίας ή του ποσοστού που εξατμίζεται/συμπυκνώνεται τότε οι καταγραφές πρέπει να γίνονται για κάθε 1% ποσότητας που ανακτάται. Η μεταβολή της κλίσης στη καμπύλη απόσταξης παρατηρείται από την παρακάτω εξίσωση (Εξ 1.6.1.1):

$$Change\ of\ Slope = \frac{(C_2 - C_1)}{(V_2 - V_1)} - \frac{(C_3 - C_2)}{(V_3 - V_2)} \qquad \text{(Εξ. 1.6.1.1) [19]}$$

Όπου:

- C_i: οι αναγραφόμενες θερμοκρασίες σε κάθε ποσοστιαίο όγκο (%)
- V_i: οι καταγεγραμμένοι ποσοστιαίοι όγκοι (%) στις αντίστοιχες θερμοκρασίες

9. Όταν το υπόλειμμα της αρχικής προς απόσταξη ποσότητας είναι περίπου 5 ml τότε προσαρμόζεται η παροχή θερμότητας έτσι ώστε ο χρόνος από το προαναφερόμενο υπόλειμμα μέχρι το «Τελικό Σημείο Βρασμού» (Final Boiling Point - FBP), είναι το πολύ 5 λεπτά. Παρατηρείται και καταγράφεται το FBP, και διακόπτεται η παροχή θερμότητας, επιτρέποντας όλο το απόσταγμα να διέλθει όλο στο κύλινδρο παρά την προαναφερόμενη διακοπή.

10. Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία απόσταξης καταγράφεται ο όγκος που έχει συγκεντρωθεί στο κύλινδρο. Αφού έχει ψυχθεί και η φιάλη και δεν παρατηρούνται ατμοί του δείγματος μέσα σε αυτή, αποσυνδέουμε τη φιάλη από το συμπυκνωτήρα, μεταφέρεται το περιεχόμενο της φιάλης σε ένα ογκομετρικό κύλινδρο, με υποδιαιρέσεις των 5ml, και υπολογίζεται ποσότητα που συγκεντρώνεται και καταγράφεται ως ποσοστό υπολείμματος. Από τη ποσότητα που ανακτήθηκε και από την ποσότητα του υπολείμματος υπολογίζεται και καταγράφεται και το ποσοστό των απωλειών. [19]

➢ Αναφορά Αποτελεσμάτων

Ολοκληρώνοντας την διαδικασία απόσταξης ενός δείγματος καυσίμου, βασιζόμενοι στα ποσοστά ανάκτησης, υπολείμματος και απωλειών και στις καταγεγραμμένες θερμοκρασίες, πραγματοποιώντας και μία σειρά από διορθώσεις, συντάσσεται ένας πίνακας αναφοράς των αποτελεσμάτων (Εικ 1.6.1.3.), από τον οποίο μπορεί να σχηματιστεί και η καμπύλη απόσταξης.

Sample ID:
Date analyzed:
Equipment No:
Remarks:

Barometric pressure: 98.6 kPa
Analyst:

% recovered	Barometric pressure observed 98.6 kPa 740 mm Hg °C	°F	corrected 101.3 kPa 760 mm Hg °C	°F	% evaporated	procedure arithmetical/~~graphical~~ T_{evap} °C	°F
IBP	25.5	78	26.2	79.2	5	26.7	80.0
5	33.0	91	33.7	92.7	10	34.1	93.4
10	39.5	103	40.3	104.5	15	40.7	105.2
15	46.0	115	46.8	116.2	20	47.3	117.1
20	54.5	130	55.3	131.5	30	65.7	150.2
30	74.0	165	74.8	166.7	40	84.9	184.9
40	93.0	199	93.9	201.0	50	101.9	215.3
50	108.0	226	108.9	228.0	60	116.9	242.4
60	123.0	253	124.0	255.1	70	134.1	273.3
70	142.0	288	143.0	289.4	80	156.0	312.8
80	166.5	332	167.6	333.6	85	168.4	335.1
85	180.5	357	181.6	358.9	90	182.8	361.0
90	200.4	393	201.6	394.8	95	202.4	396.3
EP	215.0	419	216.2	421.1			
recovery, %	94.2		95.3				
residue, %	1.1		1.1				
loss, %	4.7		3.6				

Εικόνα 1.6.1.3 Παράδειγμα Πίνακα Αναφοράς Δεδομένων Απόσταξης Δείγματος Καυσίμου [19]

1.6.2. Πρότυπη Μέθοδος Απόσταξης Προϊόντων Πετρελαίου και Υγρών Καυσίμων υπό Ατμοσφαιρική Πίεση (Mini Method) (ASTM-D7344)

- **Σκοπός**

Ο σκοπός της μεθόδου είναι να ορίσει τις προδιαγραφές στην διαδικασία απόσταξης προϊόντων πετρελαίου και υγρών καυσίμων σε θερμοκρασιακό, εύρος από 20 έως 400°C, χρησιμοποιώντας μία αυτοματοποιημένη εργαστηριακή συσκευή μειωμένου μεγέθους. [20]

- **Συνοπτική Περιγραφή Μεθόδου**

Βασιζόμενοι σε βασικά χαρακτηριστικά των προϊόντων πετρελαίου, όπως η σύσταση, το Αρχικό Σημείο Βρασμό (Initial Boiling Point – IBP) και το Τελικό Σημείο Βρασμού (Final Boiling Point-FBP), αυτά χωρίζονται σε 4 κατηγορίες, για τις οποίες ορίζονται διαφορετικές λειτουργικοί παράμετροι, όπως η θερμοκρασία συμπύκνωσης.

Μία ποσότητα δείγματος από 3 έως 6 ml, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει, αποστάζεται κάτω από καθορισμένες συνθήκες. Η απόσταξη πραγματοποιείται κάτω από περιβαλλοντικές συνθήκες σε μία αυτοματοποιημένη διάταξη απόσταξης, μειωμένου μεγέθους.

Ολοκληρώνοντας τη διεργασία απόσταξης οι θερμοκρασίες διορθώνονται αυτόματα για συνθήκες βαρομετρικής πίεσης, και τα δεδομένα ελέγχονται ως προς τη συμβατότητά τους, σε σύγκριση με τον ρυθμό απόσταξης.

Τα αποτελέσματα συνήθως εκφράζονται ως ποσοστό όγκου που εξατμίζεται ή όγκου που ανακτάται, σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες και μπορούν να παρουσιαστούν είτε σε πίνακες είτε γραφικά.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί πολύ μικρή ποσότητα δειγμάτων και αποτελεί μια πλήρως αυτοματοποιημένη μέθοδο, μειωμένου μεγέθους, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και εκτός εργαστηριακού χώρου. [20]

➢ Βαθμονόμηση Μονάδας

Η βαθμονόμηση της μονάδας απόσταξης, περιλαμβάνει διαδικασίες βαθμονόμησης των εξής οργάνων μέτρησης:

1. Όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας των ατμών: Ο έλεγχος και βαθμονόμηση αυτών των οργάνων γίνεται με την απόσταξη καθαρού τολουολίου, για το οποίο στο ποσοστό απόσταξης 50%, η ένδειξη της θερμοκρασίας πρέπει να είναι στους 110,6 ± 0,8^{o} C, όπως επίσης και με δεκαεξάνιο (κετάνιο) για τον έλεγχο της θερμοκρασίας των εξατμιζόμενων ατμών, για το οποίο στο ποσοστό απόσταξης 50%, η αντίστοιχη ένδειξη πρέπει να είναι στους 281,3 ± 1,5^{o} C, σε συνθήκες απόσταξης καυσίμων που ανήκουν στις κατηγορίες 3 και 4.
2. Αισθητήρας Πίεσης: Ο έλεγχος λειτουργίας και βαθμονόμηση του αισθητήρα αυτού γίνεται με την δυνατότητα που έχει το όργανο να μετράει τη βαρομετρική πίεση με ακρίβεια 01, kPa και η ένδειξη της οποίας πρέπει να είναι ίση με αυτή των περιβαλλοντικών συνθηκών, σε αντίθετη περίπτωση γίνονται οι απαιτούμενες προσαρμογές ώστε να επιτευχθεί η σωστή τιμή πίεσης.
3. Σύστημα ανάκτησης ατμών: Ο έλεγχος του οποίου γίνεται με βάση την ανακτώμενη ποσότητα ατμών και η μέγιστη επιτρεπτή διαφορά είναι 18 μl, για όγκο δείγματος από 0,3 έως 6 ml. Σε αντίθετη περίπτωση ακολουθείται η διαδικασία αποκατάστασης που ορίζεται από τον κατασκευαστή. [20]

Οι αποστάξεις των δειγμάτων καυσίμων ντήζελ πραγματοποιήθηκαν με την αυτοματοποιημένη διάταξη απόσταξης μειωμένου μεγέθους (MiniDis Adxpert), τα μηχανικά μέρη και η λειτουργία της οποίας, θα αναφερθούν στις αντίστοιχες παραγράφους του πειραματικού μέρους.

1.6.3. Πρότυπη Μέθοδος Προσδιορισμού Δυναμικού Ιξώδους και Πυκνότητας Υγρών με Ιξωδόμετρο Stanbinger (και υπολογισμός Κινηματικού Ιξώδους) (ASTM-D7042)

- **Σκοπός**

Η μέθοδος αυτή προσδιορίζει τη διαδικασία μέτρησης του Δυναμικού Ιξώδους ‘’η’’, και της πυκνότητα ‘’ρ’’, για διαφανή και αδιαφανή υγρά παράγωγα πετρελαίου και έλαια. Ο υπολογισμός του κινηματικού ιξώδους ‘’ν’’, γίνεται με τη διαίρεση του δυναμικού ιξώδους προς την αντίστοιχη πυκνότητα στην ίδια θερμοκρασία. Τα αποτελέσματα μετρήσεων εξαρτώνται από τη συμπεριφορά των υγρών στην εφαρμογή διατμητικής τάσης, σε σύγκριση με τον ρυθμό διάτμησης, τα οποία πρέπει να είναι ανάλογα, δηλαδή τα υγρά να εμφανίζουν “Νευτωνική Συμπεριφορά”. [21]

- **Συνοπτική Περιγραφή Μεθόδου**

Μία ποσότητα δείγματος εισάγεται μέσα στο κελί μέτρησης, του οποίου η επιθυμητή θερμοκρασία μέτρησης είναι ελεγχόμενη και καθορίζεται από τον εκάστοτε χειριστή. Το κελί μέτρησης αποτελείται από ένα ζεύγος περιστρεφόμενων ομόκεντρων κυλίνδρων, συνδεδεμένους με ένα σωλήνα σχήματος «U». Το δυναμικό ιξώδες υπολογίζεται από την εξισορρόπηση της περιστροφικής κίνησης του εσωτερικού κυλίνδρου, κάτω από την επίδραση των αναπτυσσόμενων διατμητικών τάσεων στο δείγμα. Η πυκνότητα προσδιορίζεται από την εξισορρόπηση της συχνότητας περιστροφής του σωλήνα τύπου «U», με τα προσαρμοσμένα δεδομένα.

Ο προσδιορισμός των προαναφερόμενων ιδιοτήτων των δειγμάτων καυσίμων ντήζελ πραγματοποιήθηκαν με το αυτόματο ιξωδόμετρο SV-3000 , τα μηχανικά μέρη και η λειτουργία του οποίου, θα αναφερθούν στις αντίστοιχες παραγράφους του πειραματικού μέρους.

1.6.4. Πρότυπη Μέθοδος Προσδιορισμού Σημείου Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου Καυσίμων Ντήζελ και Καυσίμων Θέρμανσης (ASTM D-6371)

- **Σκοπός**

Η μέθοδος αυτή καθορίζει τη διαδικασία προσδιορισμού τη θερμοκρασία του Σημείου Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου (Cold Filter Plugging Point – CFPP), των καυσίμων ντήζελ και των αντίστοιχων θέρμανσης, με αυτοματοποιημένο αλλά και με χειροκίνητο μηχανισμό. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ανάλυση καυσίμων με βελτιωτικά ροής και λοιπά βελτιωτικά, που χρησιμοποιούνται σε μηχανές Diesel και θερμικές εγκαταστάσεις. [22]

- **Συνοπτική Περιγραφή Μεθόδου**

Μία συγκεκριμένη ποσότητα καυσίμου ψύχεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, με διαστήματα του 1°C, και διέρχεται μέσα από ένα σωλήνα, σε ελεγχόμενες συνθήκες κενού, διαμέσου ενός τυποποιημένου φίλτρου πλέγματος. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μειώνοντας την αρχική θερμοκρασία κατά 1° C κάθε φορά, και ολοκληρώνεται όταν εμφανιστούν οι πρώτοι κέρινοι κρύσταλλοι, οι οποίοι έχουν διαχωριστεί από το καύσιμο, με αποτέλεσμα να μειώνουν ή να σταματούν τη ροή, με αποτέλεσμα να απαιτείται χρόνος μεγαλύτερος των εξήντα (60) δευτερολέπτων, για να διέλθει το εν λόγω καύσιμο μέσα από το σωλήνα ή αδυνατεί να επιστρέφει ολόκληρη η ποσότητα στο αρχικό δοχείο, πριν αυτό ψυχθεί για ακόμη 1°C. Η τελευταία θερμοκρασία στην οποία παρατηρείται η τελευταία διέλευση ονομάζεται CFPP. [22]

Οι μετρήσεις των CFPP των δειγμάτων καυσίμων ντήζελ, πραγματοποιήθηκαν με το συσκευή μέτρησης FPP5G, τα μηχανικά μέρη και η λειτουργία του οποίου, θα αναφερθούν στις αντίστοιχες παραγράφους του πειραματικού μέρους.

Κεφάλαιο 2
Πειραματικό Μέρος

2.1. Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο της εργασίας θα γίνει περιγραφή των εργαστηριακών εξοπλισμών, του τρόπου λειτουργίας τους και των εξαγόμενων πειραματικά δεδομένα που αφορούν στις παρακάτω ιδιότητες:

- Ποιότητα Ανάφλεξης
- Εύρος Απόσταξης
- Ιξώδες και Πυκνότητα
- Ιδιότητες Ροής

Αρχικά θα γίνει έλεγχος της σταθερότητας και της επαναληψιμότητας των μετρήσεων DCN-ID, τόσο με τη χρήση εξισώσεων που καθορίζονται από τη πρότυπη μέθοδο, τη σύγκριση αυτών με τον υπολογιζόμενο δείκτη κετανίου, αλλά και με την στατιστική ανάλυση των τυπικών αποκλίσεων των μετρήσεων.

Στη συνέχεια θα γίνει στατιστική ανάλυση των δεδομένων απόσταξης της αυτοματοποιημένης μονάδας του εργαστηρίου καυσίμων της Σχολής και των αντίστοιχων της μονάδας απόσταξης του Εργαστηρίου του Ασπρόπυργου και της Ελευσίνας των ΕΛ.ΠΕ.

Ολοκληρώνοντας την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων θα πραγματοποιηθεί μία συσχέτιση των εξεταζόμενων ιδιοτήτων για την εξαγωγή μιας μαθηματικής σχέσης, με την οποία θα παρέχεται η δυνατότητα υπολογισμού του αριθμού κετανίου, χρησιμοποιώντας δεδομένα μετρήσεων ιδιοτήτων δειγμάτων καυσίμων, με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια.

2.2. Δείγματα Καυσίμων

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα δείγματα των καυσίμων, των οποίων οι ιδιότητες εξετάστηκαν, καθώς και η προέλευσή τους.

Πίνακας 2.2.1 Δείγματα Καυσίμων Ντήζελ

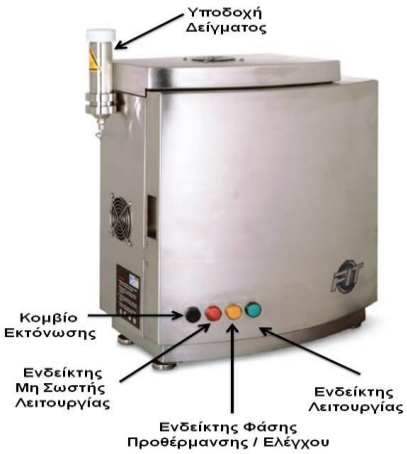
Α/Α	Ονομασία Δείγματος	Α/Α	Ονομασία Δείγματος	Α/Α	Ονομασία Δείγματος
1.	Check High (CKH)	10.	T-775 (10-05-2015)	19.	DwBD (22-07-2009)
2.	Check Low (CKL)	11.	T-787 (10-05-2015)	20.	U-100 (22-07-2009)
3.	S-100 M/T BEE	12.	779 (11-05-2015)	21.	S-101 (U-34) (22-07-2015)
4.	S-100/U-100	13.	S-100 (U-34)	22.	S-102 (U-34) (22-07-2015)
5.	779 (20-08-2014)	14.	S-101 (U-34)		
6.	FV-327 (03/2015)	15.	S-102 (U-34)		
7.	S-100 (29-04-2015)	16.	HDS R/D		
8.	S-101 (29-04-2015)	17.	3400		
9.	S-102 (29-04-2015)	18.	HDS (04-2009)		

2.3. Μέτρηση Παραγόμενου Αριθμού Κετανίου Δειγμάτων Καυσίμων Ντήζελ

Ο προσδιορισμός του DCN, για κάθε δείγμα καυσίμου ντήζελ, πραγματοποιήθηκε με την εργαστηριακή διάταξη Ελέγχου Ανάφλεξης Καυσίμων (Fuel Ignition Tester - FIT), η οποία είναι σχεδιασμένη και λειτουργεί με τα καθορισμένα πρότυπα της μεθόδου ASTM-D7170.

➢ Περιγραφή Συσκευής

Η εργαστηριακή διάταξη ελέγχου ανάφλεξης καυσίμων, είναι μία συσκευή μέτρησης του DCN, του πετρελαίου και των καυσίμων απόσταξης (Εικ 2.3.1,2).



Εικόνα 2.3.1 Συσκευή Ελέγχου Ανάφλεξης Καυσίμων (FIT) [23]

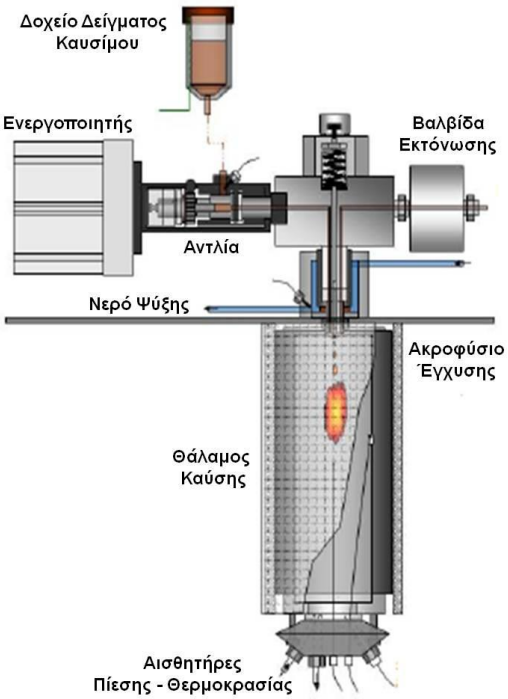
Εικόνα 2.3.2 Εσωτερική Άποψη του Οργάνου Ελέγχου Ανάφλεξης Καυσίμων [23]

Η αρχή λειτουργίας της συσκευής αυτής είναι ο λεγόμενος θάλαμος καύσης σταθερού όγκου (Constant Volume Combustion Chamber - CVCC). Ο θάλαμος καύσης πληρώνεται με πεπιεσμένο αέρα και θερμαίνεται σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία πριν από την έγχυση του καυσίμου. Το καύσιμο αυταναφλέγεται και ο χρόνος από την έγχυση μέχρι την έναρξη της ανάφλεξης ορίζει την υστέρηση ανάφλεξης (Ignition Delay – ID) του υπό εξέταση καυσίμου.

Ο CN υπολογίζεται από το μετρούμενο ID χρησιμοποιώντας μια συνάρτηση συσχέτισης που είχε καθοριστεί για τη σχέση μεταξύ του ID και του CN.

Τα βασικά μέρη του οργάνου FIT, που παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (Εικ 2.3.3), είναι τα κάτωθι:

- Δοχείο Δείγματος Καυσίμου
- Μονάδα Έγχυσης με την αντλία καυσίμου και πνευματικό ενεργοποιητή
- Θάλαμος Καύσης
- Αισθητήρες και Ενεργοποιητές
- Ηλεκτρονική Κάρτα για τον έλεγχο της διαδικασίας, την απόκτηση δεδομένων και την επεξεργασία των δεδομένων



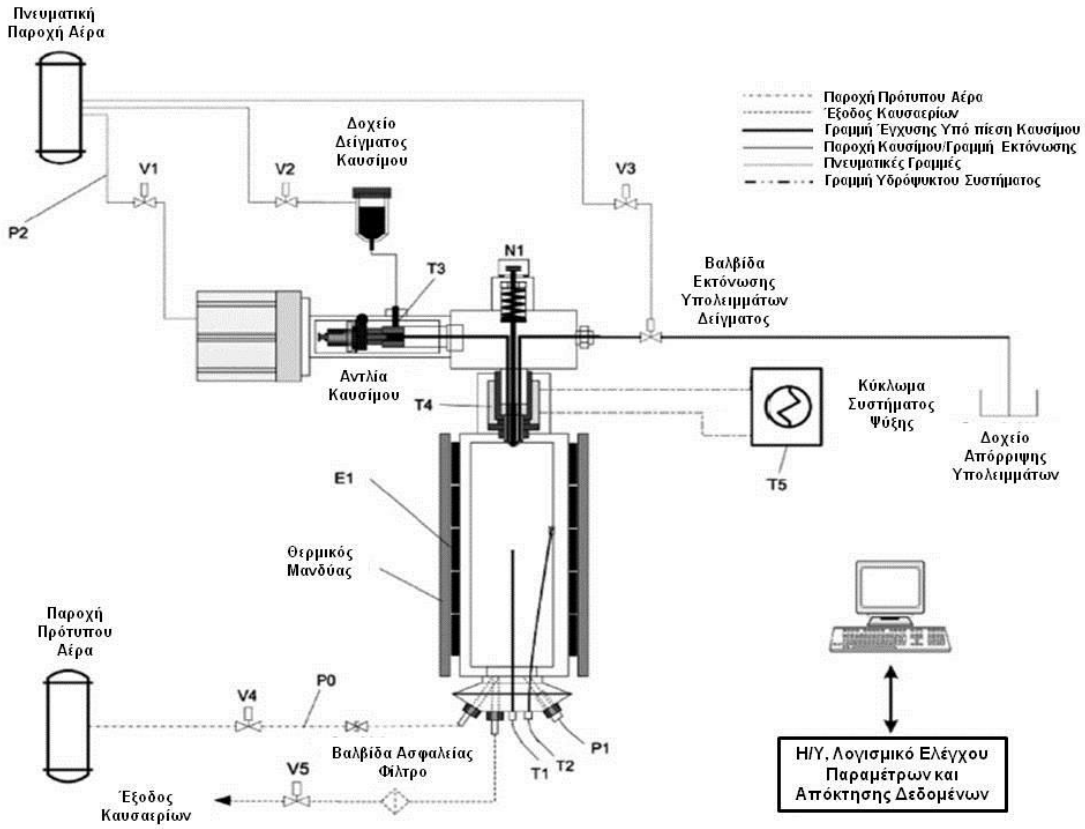
Εικόνα 2.3.3 Κύρια Λειτουργικά Μέρη Οργάνου Ελέγχου Ανάφλεξης Καυσίμων

Τα εξωτερικά μέρη είναι τα παρακάτω:

- Η/Υ με κατάλληλο λογισμικό και εκτυπωτή
- Παροχή Ρεύματος

- Πρότυπος Συμπιεσμένος Αέρας για τον θάλαμο καύσης υψηλής πίεσης, 30 bar (450 psi), και περιεκτικότητας 20,9 ± 1,0 v% O_2, <0,003% H/C, <0,25% Νερό
- Συμπιεσμένος Ατμοσφαιρικός Αέρας για τη λειτουργία των πνευματικών μερών
- Νερό Ψύξης
- Συλλέκτης Αποβλήτων

Στο γράφημα 2.3.1 παρουσιάζεται η σχηματική αναπαράσταση μίας συσκευής FIT, στο οποίο διακρίνονται τα βασικά μέρη, οι λειτουργικές γραμμές - κυκλώματα, οι απαιτούμενοι αισθητήρες και βαλβίδες.

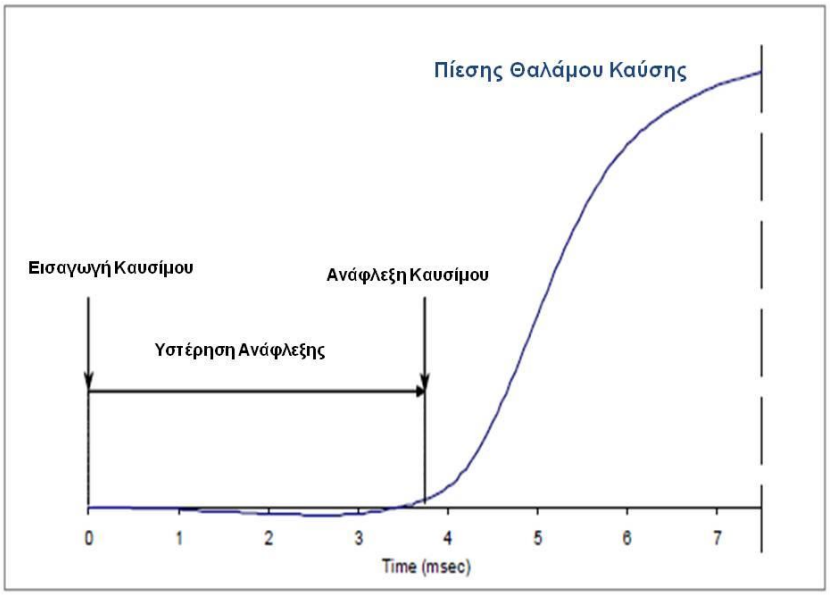


Γράφημα 2.3.1 Σχηματική Αναπαράσταση Συσκευής FIT [11]

➢ Βασικές Αρχές για τη Μέτρηση του CN με τη Συσκευή FIT

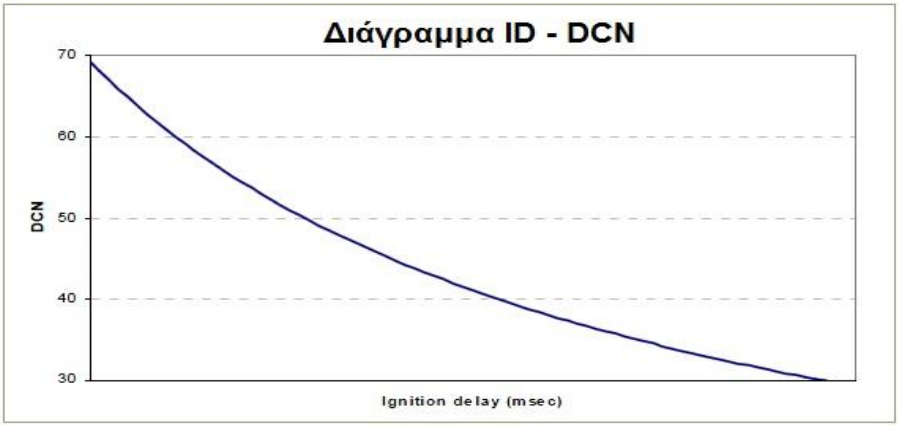
Όπως έχει προαναφερθεί ο CN είναι μια καθιερωμένη "ιδιότητα" ενός καυσίμου, που περιγράφει την ικανότητα του καυσίμου να αυταναφλέγεται και να εκκινεί τη διαδικασία της καύσης. Ως εκ τούτου, υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ στο ID και στο CN. Το παρατηρούμενο ID για ένα συγκεκριμένο καύσιμο θα διαφέρει από μηχανή σε μηχανή, αλλά και στον ίδιο κινητήρα ο οποίος λειτουργεί υπό διαφορετικές συνθήκες (φορτίο, θερμοκρασία, πίεση υπερπλήρωσης κλπ).

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η σχέση του ID με την επικρατούσα πίεση εντός του θαλάμου καύσης (Γραφ. 2.3.2).



Γράφημα 2.3.2 Διάγραμμα Πίεσης - Χρόνου εντός του Θαλάμου Καύσης [23]

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η συσχέτιση του ID με το DCN.



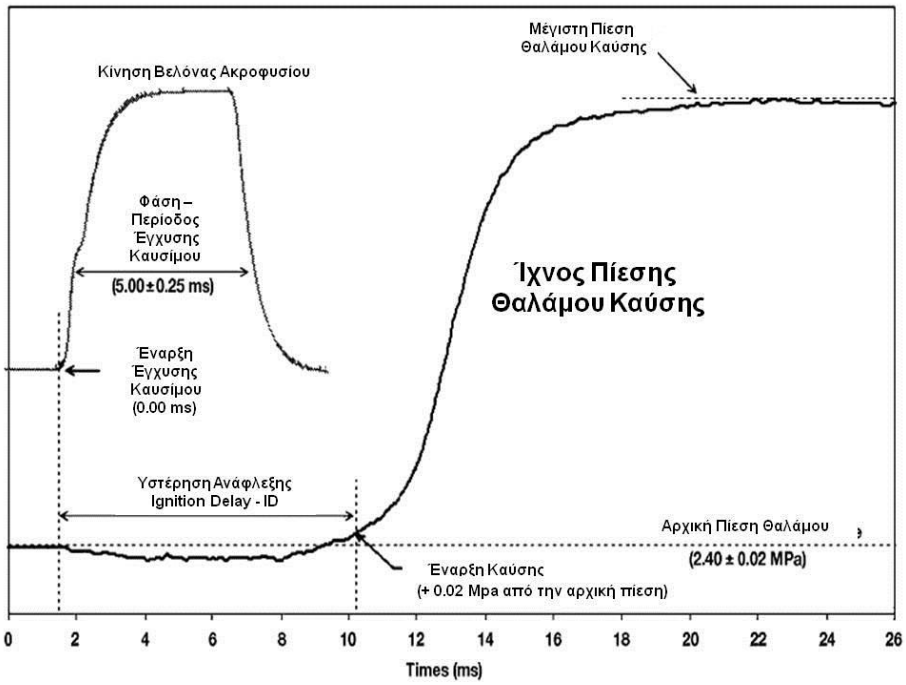
Γράφημα 2.3.3 Διάγραμμα Συσχέτισης ID – DCN [23]

Με σκοπό να υπάρχει επαναληψιμότητα και αναπαραγωσιμότητα των μετρήσεων του ID, το συγκεκριμένο όργανο FIT πρέπει να λειτουργεί κάτω από ένα συγκεκριμένο σύνολο συνθηκών λειτουργίας, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η μεταβλητότητα ανάμεσα σε κάθε έγχυση. Αυτοί οι όροι αφορούν τις φυσικές συνθήκες εντός του θαλάμου καύσης, για να επιτευχθεί μια σειρά επιτυχημένων γεγονότων καύσης. Στο FIT υπάρχει η δυνατότητα διατήρησης προκαθορισμένων σημείων, σε αρκετές παραμέτρους με σκοπό να ελαχιστοποιηθεί η μεταβλητότητα αυτών των προϋποθέσεων. Οι ρυθμίσεις αυτών των παραμέτρων πραγματοποιείται μέσω ελέγχου του υπολογιστή όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία του τοιχώματος του θαλάμου καύσης, για την οποία ισχύουν τα παρακάτω:

- Αυξημένη θερμοκρασία του τοιχώματος του θαλάμου καύσης οδηγεί σε μικρότερο ID.
- Μειωμένη θερμοκρασία του τοιχώματος του θαλάμου καύσης οδηγεί σε μεγαλύτερο ID.

Με σκοπό να επαληθεύονται οι σωστές συνθήκες λειτουργίας για το FIT, μετρούνται τα ID, για το n-επτάνιο και Μεθυλοκυκλοεξανίου (MCH). Τα μετρούμενα ID για αυτά τα καύσιμα πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις της Αποδεκτής Τιμής Αναφοράς (Accepted Reference Value - ARV), όπως περιγράφεται στην αντίστοιχη μέθοδο ASTM-D7170.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Γραφ 2.3.4) παρουσιάζονται οι συνθήκες πίεσης, οι οποίες επικρατούν εντός του θαλάμου καύσης από τη στιγμή της έγχυσης του καυσίμου μέσω του ακροφυσίου, κατά την έναρξη της καύσης καθώς και η μέγιστη τιμής της πίεσης λόγω καύσης του καυσίμου.



Γράφημα 2.3.4 Διάγραμμα Μεταβολής Πίεσης εντός του Θαλάμου Καύσης [23]

➢ Λειτουργία Συσκευής FIT, Βαθμονόμηση, Πειραματική Διαδικασία

• Εκκίνηση Συσκευής FIT

1. Ενεργοποίηση οργάνου από τον βασικό διακόπτη παροχής ρεύματος, ο οποίος βρίσκεται στο πίσω μέρος του οργάνου (Εικ 2.3.4).

Εικόνα 2.3.4 Πίσω Όψη Συσκευής [23]

2. Ενεργοποίηση του κλειστού κυκλώματος συστήματος ψύξης.

3. Άνοιγμα του πρότυπου αέρα υψηλής πίεσης και έλεγχος ότι η πίεση αυτού κυμαίνεται από 28-30 bar (406-435 psi).

4. Ενεργοποίηση του Η/Υ και του αντίστοιχου λογισμικού του FIT.

5. Εκκινείται το όργανο μετρήσεων μέσω του λογισμικού κάνοντας «κλικ» στο κουμπί “Start Instrument”. Στη συνέχεια συμπιέζεται ο θάλαμος καύσης και αρχίζει να θερμαίνεται. Κατά τη διάρκεια της θέρμανσης του θαλάμου το κίτρινο λαμπάκι, το οποίο βρίσκεται στο μπροστινό μέρος του οργάνου αναβοσβήνει. Η περίοδος θέρμανσης – συμπίεσης διαρκεί περίπου 30 λεπτά, χρονική περίοδος στην οποία, δεν πραγματοποιούνται μετρήσεις.

6. Αφού έρθει το όργανο στις απαιτούμενες συνθήκες το όργανο είναι πλέον έτοιμο για βαθμονόμηση ή για πραγματοποίηση σειράς μετρήσεων.

➢ Λειτουργία Οργάνου FIT

Σε κάθε κύκλο μετρήσεων πραγματοποιούνται στον αριθμό 2 “προεγχύσεις - καύσεις” και ακολουθούνται 25 ξεχωριστοί κύκλοι καύσεων.

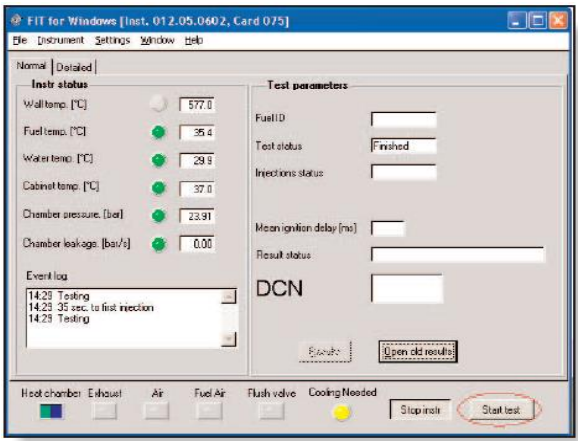
Οι αρχικές 2 “προεγχύσεις - καύσεις”, αποτελούν μέρος αυτοελέγχου του οργάνου, ότι δηλαδή λειτουργεί σωστά και αυτές οι μετρήσεις δεν συνυπολογίζονται στις λοιπές 25 για τον υπολογισμό του DCN.

1. Ετοιμάζονται περίπου 220 ml δείγματος προς εξέταση και εισάγονται στην ειδική υποδοχή δείγματος του οργάνου, το οποίο γεμίζει με περίπου 100 ml (Εικ 2.3.5) και στη συνέχεια κλείνουμε την υποδοχή με το αντίστοιχο καπάκι.

Εικόνα 2.3.5 Εισαγωγή του Προς Εξέταση Δείγματος Καυσίμου [23]

2. Πιέζοντας το μαύρο κομβίο “Εκτόνωσης”, που βρίσκεται στο μπροστινό μέρος του οργάνου, απορρίπτονται τυχόν υπολείμματα ή ακαθαρσίες, από προηγούμενα δείγματα εντός των στοιχείων του οργάνου και εισάγεται το καινούργιο δείγμα καυσίμου και επίσης εξασφαλίζεται ότι γεμίζει, με αυτό η αντλία.

3. Εκκινείται ο “Οδηγός Ελέγχου Καυσίμου” (Fuel test Wizzard), κάνοντας “κλικ” στην επιλογή του λογισμικού “Start Test” (Εικ 2.3.6)



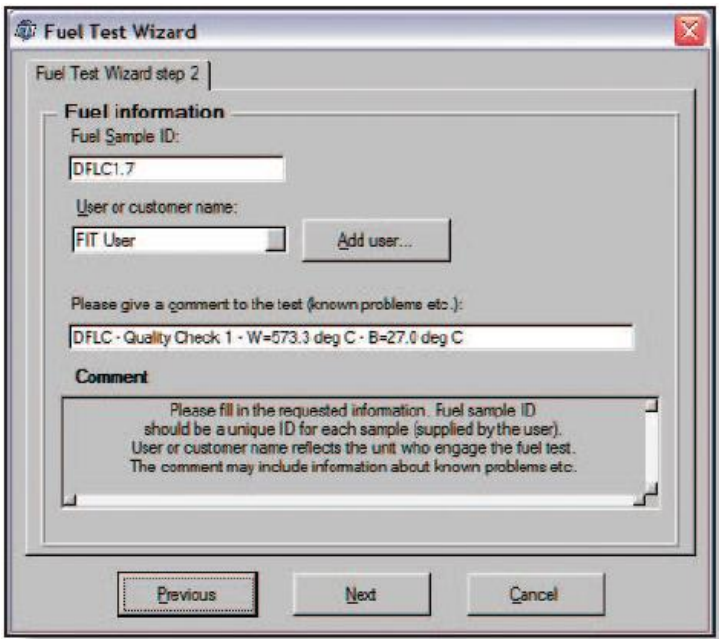
Εικόνα 2.3.6 Εκκίνηση Μέτρησης μέσω του Λογισμικού της Συσκευής [23]

4. Επιλέγεται ο τύπος μέτρησης που θα πραγματοποιηθεί μέσα από τις παρακάτω επιλογές και πιέζεται το “Next” (Εικ 2.3.7.):

- Κανονική Μέτρηση (Normal Test)
- Έλεγχος Ποιότητας (Quality Control Test)
- Μέτρηση Βαθμονόμησης (Calibration Test)

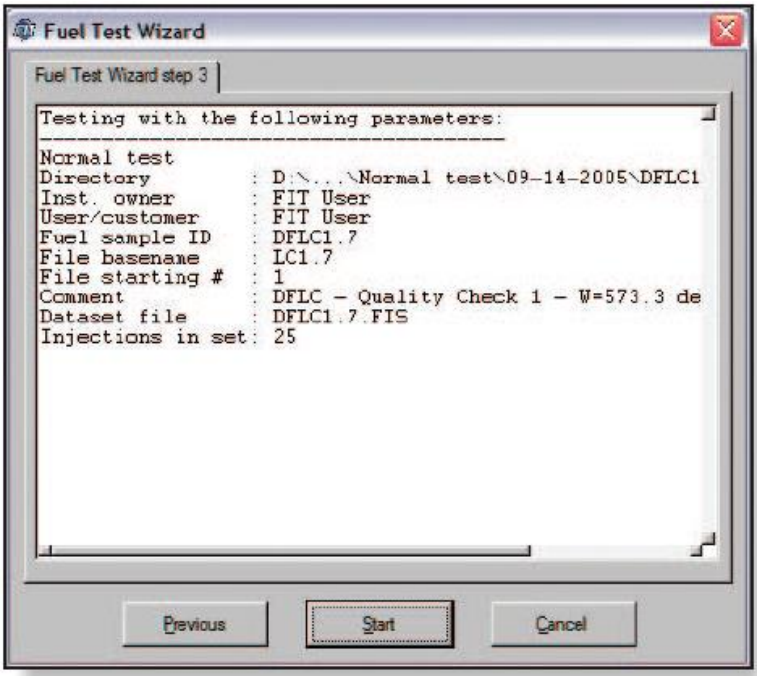
Εικόνα 2.3.7 Επιλογή Τύπου Μέτρησης [23]

5. Εισάγεται το όνομα-ταυτότητα του καυσίμου, το όνομα του χειριστή και οποιοδήποτε σχόλιο για το προς εξέταση δείγματος πληκτρολογώντας στα αντίστοιχα κελιά και πιέζεται το “Next” (Εικ 2.3.8)



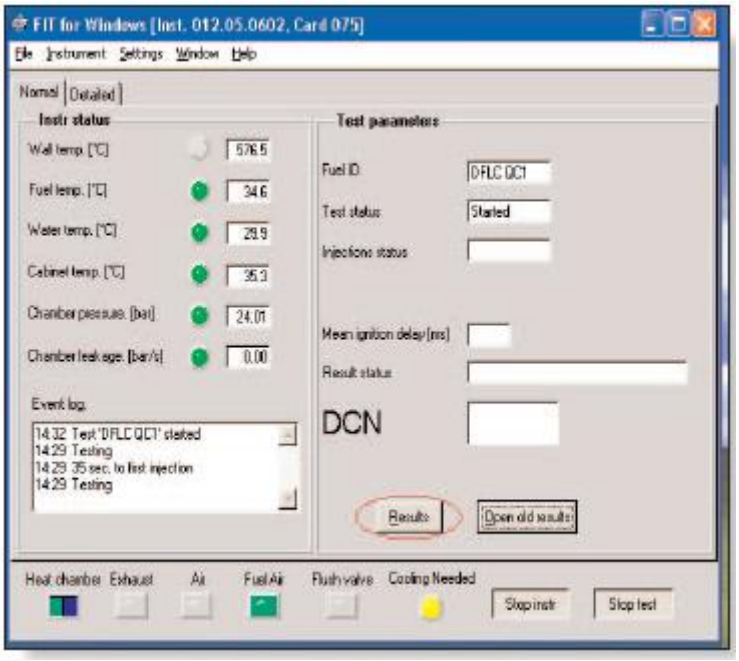
Εικόνα 2.3.8 Εισαγωγή Στοιχείων του προς Εξέταση Δείγματος Καυσίμου [23]

6. Μετά την εμφάνιση των παραμέτρων και των έλεγχο αυτών, πιέζεται η επιλογή “Start”, για την εκκίνηση της μέτρησης. Σε περίπτωση που απαιτείται κάποια αλλαγή, υπάρχει η δυνατότητα επιστροφής πιέζοντας το “Previous”. Επίσης πιέζοντας το “Cancel”, ακυρώνεται η μέτρηση και μπορεί να ακολουθηθεί η όλη διαδικασία από την αρχή (Εικ 2.3.9).



Εικόνα 2.3.9 Εκκίνηση ή Ακύρωση Μέτρησης Δείγματος Καυσίμου [23]

7. Ο κύκλος μετρήσεων εκκινείται μόλις σταθεροποιηθούν όλες οι παράμετροι στις ορισμένες από τον χειριστή τιμές και εμφανιστεί η πράσινη ένδειξη αυτών στην αντίστοιχη οθόνη (Εικ 2.3.10).



Εικόνα 2.3.10 Οθόνη Παραμέτρων και Αποτελεσμάτων Μέτρησης [23]

8. Επιλέγοντας την εντολή “Results”, στην προαναφερόμενη οθόνη (Εικ 2.3.10), υπάρχει η δυνατότητα παρατήρησης των αποτελεσμάτων της κάθε επανάληψης, σε κάθε κύκλο μετρήσεων (Εικ 2.3.11). Μετά από 6 περίπου επαναλήψεις η παρατηρούμενη Περίοδος Έγχυσης (Injection Period), πρέπει να σταθεροποιηθεί στα 5,0 ± 0,25 msec, ώστε να είναι εντός αποδεκτών ορίων ανοχής, τα οποία ορίζονται από την μέθοδο.

Date: 03-26-2015 Time: 14:16:27
Instr ID: 141.05.0210 Fuel ID: ckh-26-03-15-2

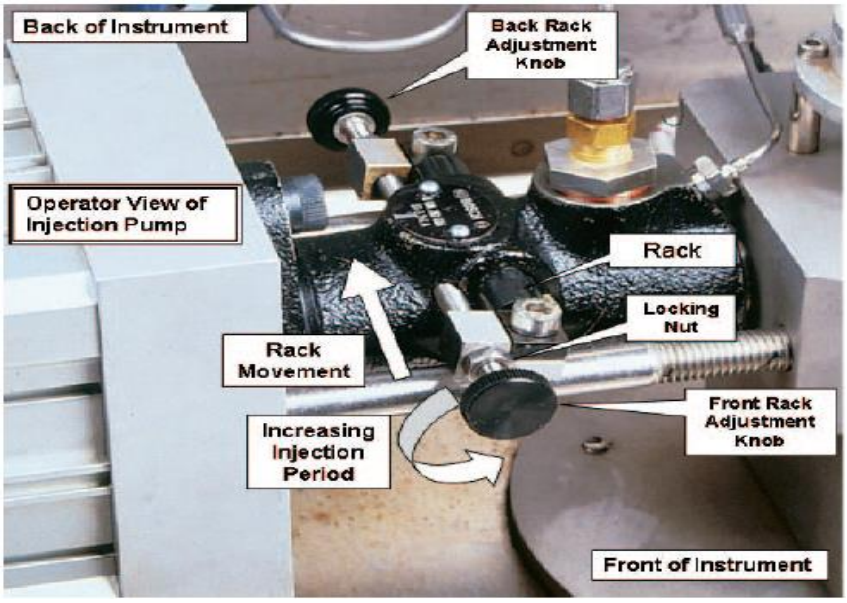
Temp. ref: 582.0
Test comment:

Inj no.	Ign. Delay	Charge press	Max press	Air temp	Wall temp	Water temp	Fuel temp	Inj. Period
1	3.22	24.08	8.69	551.5	582.4	30.1	34.0	4.40
2	3.45	24.06	7.50	551.5	582.0	29.7	33.8	3.90
3	3.28	24.00	9.42	549.9	581.1	30.1	34.0	4.70
4	3.42	23.97	9.32	549.9	581.3	29.7	34.0	4.60
5	3.31	24.01	11.12	550.7	581.5	29.9	33.8	5.50
6	3.31	24.01	10.09	552.6	581.5	29.9	33.8	4.90
7	3.34	24.01	10.25	550.1	580.5	29.9	33.6	5.00
8	3.38	24.01	10.64	549.7	580.3	29.9	33.8	5.20
9	3.32	24.01	9.76	549.7	580.3	29.9	34.0	4.80
10	3.46	23.96	10.16	550.3	580.7	30.1	34.2	5.00
11	3.22	24.01	10.68	550.3	580.9	29.7	34.2	5.20
12	3.43	24.01	10.91	551.1	581.1	29.9	34.4	5.30
13	3.39	24.01	10.95	550.3	581.3	30.1	34.6	5.35
14	3.17	24.01	11.03	549.3	581.3	29.9	34.8	5.40

Εικόνα 2.3.11 Αποτελέσματα Μετρήσεων Δείγματος Καυσίμου

9. Η ρύθμιση και στη συνέχεια η σταθεροποίηση της Περιόδου Έγχυσης, γίνεται μέσα από την αντλία ψεκασμού του καυσίμου (Pump Stroke Rack) (Εικ 2.3.12).

Προκειμένου να αντισταθμιστεί η αύξηση ή μείωση στο ιξώδες του καυσίμου, όπως μετράται με την περίοδο έγχυσης, απαιτείται η ρύθμιση της αντλίας ψεκασμού καυσίμου μέσω του “Rack”. Για όλα τα είδη καυσίμων, πρέπει η περίοδος έγχυσης να είναι 5,00 ± 0,25 msec. Για να επιτευχθεί μεγαλύτερος χρόνος στη περίοδο έγχυσης, δηλαδή για τα λεπτόρευστα καύσιμα όπως το n-επτάνιο, απαιτείται η ρύθμιση της αντλία προς το πίσω μέρος της συσκευής (Εικ 2.3.12). Για μικρότερη περίοδο έγχυσης, δηλαδή για παχύρευστα καύσιμα, όπως το μεθυλοκυκλοεξάνιο, η αντλία ρυθμίζεται προς το μπροστινό μέρος της μονάδας.



Εικόνα 2.3.12 Ρύθμιση Αντλίας Έγχυσης Καυσίμου μέσω του "Rack" [23]

10. Με την ολοκλήρωση των 25 (+2) επαναλήψεων, ολοκληρώνεται ο κάθε κύκλος μέτρησης και εμφανίζεται το υπολογιζόμενος DCN, και τα συνολικά αποτελέσματα κάθε κύκλου έχουν την μορφή, με την οποία εμφανίζονται στην Εικ 2.3.13. Αξίζει να σημειωθεί ότι όλες οι παράμετροι μετρήσεων είναι εντός αποδεκτών ορίων, εμφανίζεται το μήνυμα ”Test finished Succesfully”, ενώ σε περίπτωση που κάποια παράμετρος είναι εκτός ορίων μεθόδου τότε εμφανίζεται το μήνυμα “Test Finished, Parameters Out of Range” (Εικ 2.3.14).

Date: 05-17-2004 Time: 15:30:35
Instr ID: 001.05.0203 Fuel ID: xxxx

Temp. ref: 572.7
Test comment: d960

Inj no.	Ign. Delay (ID)	Charge press (P0)	Max press (P1 (MAX))	Air temp (T1)	Wall temp (T2)	Water temp (T4)	Fuel temp (T3)	Inj. Period (IP)
1	4.13	24.06	7.24	536.8	572.2	29.9	35.0	5.00
2	3.85	24.00	7.42	535.6	571.8	29.9	34.8	5.05
3	4.02	24.01	7.34	535.6	571.8	29.9	34.8	5.05
4	3.82	23.98	7.39	536.2	571.8	29.9	35.0	5.05
5	3.62	24.01	7.39	536.2	571.8	29.9	35.2	5.00
6	4.09	23.93	7.30	535.4	571.6	29.9	35.0	5.00
7	4.00	23.95	7.25	535.6	571.4	29.9	34.8	5.05
8	4.17	23.96	7.21	536.4	571.4	29.9	34.8	5.00
9	4.02	24.06	7.34	535.6	571.4	29.9	35.0	5.05
10	3.90	23.97	7.66	535.6	571.6	29.9	35.2	5.15
11	4.08	24.01	7.61	537.0	571.8	29.9	35.0	5.10
12	4.33	23.95	7.61	537.0	571.8	29.9	34.8	5.15
13	3.93	24.01	7.87	536.6	572.0	29.9	34.8	5.20
14	3.88	24.01	7.80	536.4	572.0	29.9	35.0	5.15
15	3.90	24.01	7.98	536.6	572.2	29.9	35.2	5.20
16	3.67	23.95	7.84	537.4	572.2	29.9	35.0	5.20
17	3.87	24.10	7.84	536.4	572.4	29.9	35.0	5.15
18	3.74	23.96	7.91	537.7	572.6	29.9	35.2	5.20
19	3.96	23.98	7.99	538.3	572.9	29.9	35.0	5.20
20	4.08	23.95	8.15	537.4	573.3	29.9	35.0	5.25
21	3.87	24.00	8.14	538.3	573.1	29.9	35.0	5.25
22	3.94	24.00	8.13	537.4	573.3	29.9	35.2	5.25
23	3.86	24.01	7.89	538.3	573.3	29.9	35.0	5.25
24	3.76	23.95	8.14	538.3	573.3	29.9	35.0	5.25
25	3.80	24.00	8.01	538.1	573.1	29.9	35.2	5.25
Mean	3.93	23.99	7.70	536.8	572.2	29.9	35.0	5.14
Std Dev	0.16	0.04	0.33	1.0	0.7	0.0	0.1	0.09
Min	3.62	23.93	7.21	535.4	571.4	29.9	34.8	5.00
Max	4.33	24.10	8.15	538.3	573.3	29.9	35.2	5.25
Range	0.71	0.17	0.94	2.9	1.9	0.0	0.4	0.25

Charge Press: Min/Max Ok (>23.0/<25.0). Avg Ok (>23.8/<24.2).
Max Press: Range Ok (<2.0).
Air Temp: Range Ok (<5.0).
Wall Temp: Min/Max Ok (>570.7/<574.7). Avg Ok (>572.0/<573.4).
Water Temp: Min/Max Ok (>29.2/<30.8). Avg Ok (>29.5/<30.5) .
Fuel Temp: Min/Max Ok (>32.0/<38.0). Avg Ok (>33.0/<37.0).
Inj Period: Min/Max Ok (>4.0/<6.0). Avg Ok (>4.75/<5.25).

Result Status: Test finished successfully.

DCN: 44.3

Εικόνα 2.3.13 Αναφορά Αποτελεσμάτων Ολοκληρωμένου Κύκλου Μετρήσεων [23]

```
Charge Press:      Min/Max Ok (>23.0/<25.0). Avg Ok (>23.8/<24.2).
Max Press:         Range Ok (<2.0).
Air Temp:          Range Ok (<5.0).
Wall Temp:         Min/Max Ok (>570.7/<574.7). Avg Ok (>572.0/<573.4).
Water Temp:        Min/Max Ok (>29.2/<30.8). Avg Ok (>29.5/<30.5) .
Fuel Temp:         Min/Max Ok (>32.0/<38.0). Avg Ok (>33.0/<37.0).
Inj Period:        Min/Max Ok (>4.0/<6.0). Avg Ok (>4.75/<5.25).

Result Status:     Test finished successfully.
```

Εικόνα 2.3.14 Αναφορά Αποτελεσμάτων Ολοκληρωμένου Κύκλου Μετρήσεων με Παραμέτρους Εκτός Ορίων

➢ Βαθμονόμηση Οργάνου FIT

Η διαδικασία βαθμονόμησης του οργάνου FIT, χρησιμοποιείται για την επαλήθευση των μετρήσεων, όπως εξηγείται στις αντίστοιχες μεθόδους ASTM και IP. Η βαθμονόμηση θα πρέπει να πραγματοποιείται μετά την τοποθέτηση της μονάδας, μετά από μια μεγάλη επισκευή, για παράδειγμα «άνοιγμα – λύσιμο» της αντλίας ή εάν ο έλεγχος QC είναι εκτός ορίων για επαναλαμβανόμενο αριθμό μετρήσεων.

Τα απαιτούμενα βήματα βαθμονόμησης είναι τα παρακάτω:

1. Πραγματοποίηση κύκλων μετρήσεων με δείγμα αναφοράς το κανονικό επτάνιο (n-heptane). Απαιτείται η ρύθμιση της αντλίας ψεκασμού ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή με βάση την αποδεκτή τιμή αναφοράς της περιόδου έγχυσης και είναι αναγκαία η παρακολούθηση της σταθερότητας των αποτελεσμάτων για τουλάχιστον 3 εγχύσεις πριν από τη λήψη πρόσθετων προσαρμογών. Αν η αναπροσαρμογή της αντλίας ψεκασμού είναι απαραίτητη σε οποιαδήποτε στιγμή, πραγματοποιούνται οι αναγκαίες προσαρμογές και να επανεκκινείται ο κύκλος δοκιμών.

2. Μια πλήρης – επιτυχής σειρά δοκιμών σε n-επτάνιο πρέπει να πραγματοποιείται πριν από την ρύθμιση της νέας θερμοκρασίας τοιχώματος του κυλίνδρου - θαλάμου καύσης. Για μία νέα θερμοκρασία τοιχώματος (T_2), πρώτα ρυθμίζεται αυτή και στη συνέχεια εκκινείται μία καινούρια ακολουθία μετρήσεων ελέγχου με το n-επτάνιο. Όταν η πρώτη σειρά ελέγχου μετριέται εντός των προδιαγραφών για την ARV υστέρησης ανάφλεξης για το n-επτάνιο, στη συνέχεια, ακολουθείται μια άλλη σειρά δοκιμών για το n-επτάνιο. Εάν η ακολουθία δεν ήταν μέσα στις προδιαγραφές για την ARV υστέρησης ανάφλεξης για το n-επτάνιο πραγματοποιείται άλλη μία προσαρμογή στη ρύθμιση της θερμοκρασίας (T_2) και εκτελείται μια άλλη ακολουθία της δοκιμής. Η παραπάνω διαδικασία ακολουθείται μέχρι ARV της υστέρησης ανάφλεξης του n-επτανίου να είναι εντός ορίων, όπως ορίζεται από την αντίστοιχη μέθοδο.

3. Με την ολοκλήρωση της ακολουθίας μετρήσεων με το n-επτάνιο, εκτελείται μια σειρά δοκιμών με μεθυλοκυκλοεξάνιο (MCH), σύμφωνα με την αντίστοιχη μέθοδο. Στην περίπτωση δύο επιτυχών κύκλων μετρήσεων και εντός ορίων στο MCH, μπορεί να επιβεβαιωθεί η βαθμονόμηση του οργάνου.

➢ Πειραματική Διαδικασία

Η πειραματική διαδικασία, με βάση την οποία λήφθηκαν και τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε αριθμό δειγμάτων διάφορων καυσίμων, αποτελείται από τα προαναφερόμενα βήματα λειτουργίας του οργάνου FIT.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε κάθε εργαστηριακή ημέρα και πριν την έναρξη του έλεγχου των δειγμάτων καυσίμων, πάντα προηγούνταν μέτρηση του DCN του n-επτανίου, για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας του οργάνου και συγκεκριμένα η τιμή ελέγχου είναι η υστέρηση ανάφλεξης, ID= 3,15 ± 0,04 msec.

Η ορισμένη θερμοκρασία τοιχώματος θαλάμου καύσης (T_2), για τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν στους 582,0ºC.

Για κάθε ένα προς εξέταση δείγμα πραγματοποιήθηκαν 4 επαναλήψεις, με την προϋπόθεση ότι ολοκληρώνεται επιτυχώς κάθε κύκλος μετρήσεων, και όλες οι παράμετροι να είναι εντός ορίων. Βασική παράμετρος ελέγχου ορθότητας υπολογισμού του DCN κάθε δείγματος, αποτελεί η Υστέρηση Ανάφλεξης (ID), η οποία πρέπει να μετριέται από το όργανο σε 5,00 ± 0,25 msec, για κάθε επανάληψη – καύση. Όπως έχει προαναφερθεί το ID, αποτελεί μία ρυθμιζόμενη παράμετρος μέσω του “Rack” της αντλίας έγχυσης και όσο πιο λεπτόρευστο είναι ένα καύσιμο τόσο προς το πίσω μέρος πρέπει να τοποθετείται η αντλία. Λόγω λανθασμένης “θέσης” της αντλίας, υπάρχει περίπτωση έγχυσης μη ικανοποιητικής ποσότητας καυσίμου, με αποτέλεσμα την αδυναμία αυτανάφλεξης και σε αυτή την περίπτωση εμφανίζεται το αντίστοιχο μήνυμα “Ignition Failure”, στην οθόνη αποτελεσμάτων, με αποτέλεσμα τερματισμού του κύκλου μετρήσεων, ρύθμιση της αντλίας ψεκασμού και επανεκκίνηση του κύκλου.

➢ Πειραματικά Δεδομένα

Για τις μετρήσεις με τη συσκευή προσδιορισμού DCN χρησιμοποιήθηκαν διάφορα δείγματα καυσίμων ντήζελ από τις εγκαταστάσεις των ΕΛ.ΠΕ. και της Motor Oil. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα δείγματα αυτά με την ονομασία και την προέλευσή τους (Πιν 2.3.1).

Πίνακας 2.3.1 Δείγματα Καυσίμων που Χρησιμοποιήθηκαν για Προσδιορισμό του DCN 1/2

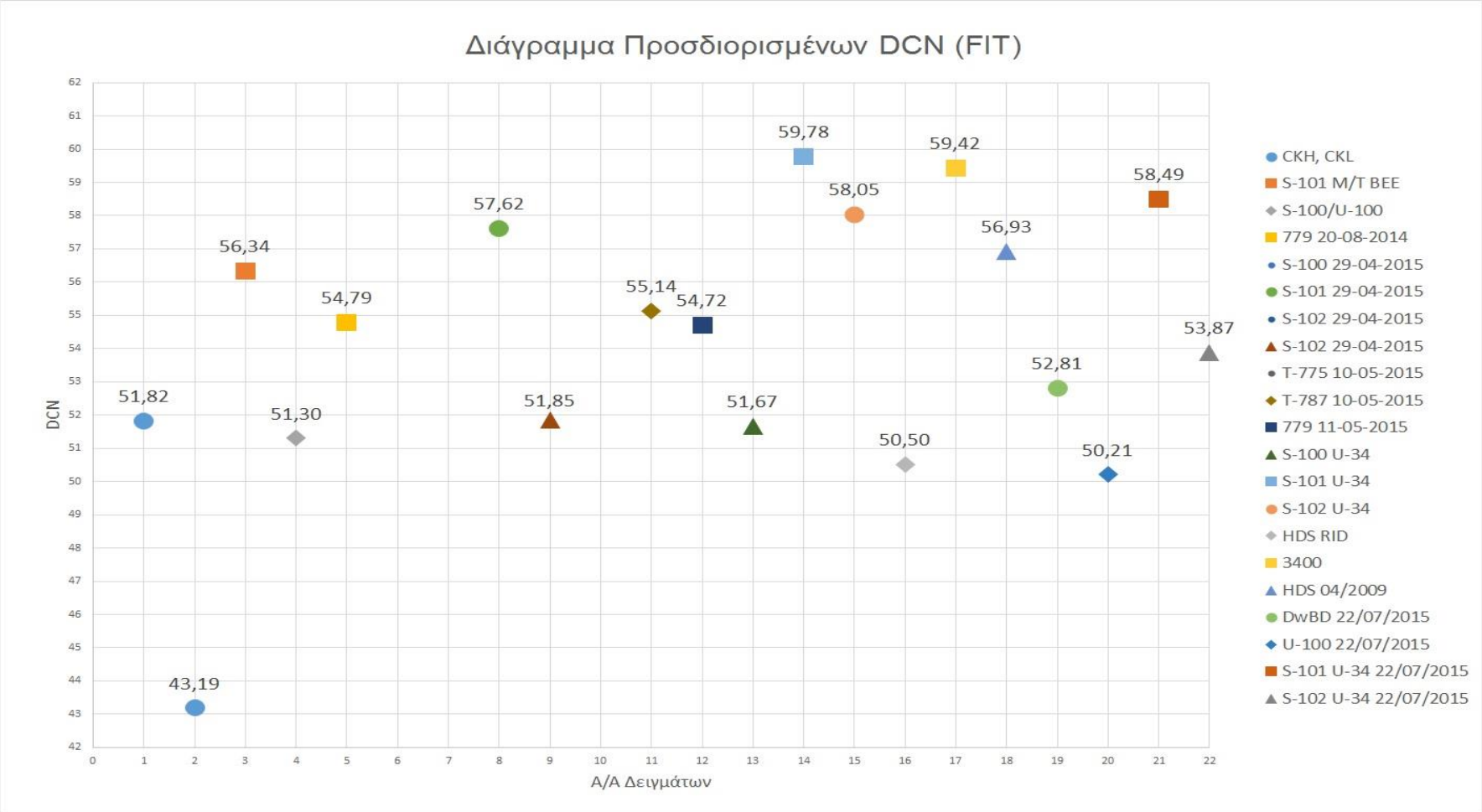
Α/Α	Ονομασία Δείγματος	Χαρακτηριστικά - Προέλευση
1.	Check High (CKH)	Check Fuel υψηλού αριθμού κετανίου (Chevron Phillips Petroleum Company)
2.	Check Low (CKL)	Check Fuel χαμηλού αριθμού κετανίου (Chevron Phillips Petroleum Company)
3.	S-100 M/T BEE	Hydrotreater ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Μίγμα Gasoil Ατμοσφαιρικής Απόσταξης και Light Coker Gasoil
4.	S-100/U-100	Παλιά Μονάδα Αποθείωσης ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Gasoil Ατμοσφαιρικής Απόσταξης
5.	779 (20-08-2014)	Δεξαμενή Ντήζελ Κίνησης Motor Oil
6.	FV-327 (03/2015)	Νέος Hydrotreater (Polishing Unit) Motor Oil
7.	S-100 (29-04-2015)	Hydrotreater ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Μίγμα Gasoil Ατμοσφαιρικής Απόσταξης και Light Coker Gasoil
8.	S-101 (29-04-2015)	Hydrocracker ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Μίγμα Vacuum Gasoil (VGO) και Heavy Coker Gasoil
9.	S-102 (29-04-2015)	ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Μίγμα S-100, S-101 και κηροζίνης από το Hydrocracker
10.	T-775 (10-05-2015)	Δεξαμενή Ντήζελ Κίνησης Motor Oil
11.	T-787 (10-05-2015)	Δεξαμενή Ντήζελ Κίνησης Motor Oil
12.	779 (11-05-2015)	Δεξαμενή Ντήζελ Κίνησης Motor Oil
13.	S-100 (U-34)	Hydrotreater ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Μίγμα Gasoil Ατμοσφαιρικής Απόσταξης και Light Coker Gasoil
14.	S-101 (U-34)	Hydrocracker ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Μίγμα Vacuum Gasoil (VGO) και Heavy Coker Gasoil
15.	S-102 (U-34)	ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Μίγμα S-100, S-101 και κηροζίνης από το Hydrocracker
16.	HDS R/D	Παλιά Μονάδα Αποθείωσης ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Gasoil Ατμοσφαιρικής Απόσταξης
17.	3400	Μονάδα Αποθείωσης ΕΛΠΕ Ασπρόπυργος. Τροφοδοσία: Gasoil Ατμοσφαιρικής Απόσταξης
18.	HDS (04-2009)	Παλιά Μονάδα Αποθείωσης ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Gasoil Ατμοσφαιρικής Απόσταξης
19.	DwBD (22-07-2009)	Μονάδα Αποθείωσης ΕΛΠΕ Ασπρόπυργος. Τροφοδοσία: Gasoil Ατμοσφαιρικής Απόσταξης
20.	U-100 (22-07-2009)	Παλιά Μονάδα Αποθείωσης ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Gasoil Ατμοσφαιρικής Απόσταξης
21.	S-101 (U-34) (22-07-2015)	Hydrocracker ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Μίγμα Vacuum Gasoil (VGO) και Heavy Coker Gasoil
22.	S-102 (U-34) (22-07-2015)	ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Μίγμα S-101 και κηροζίνης από το Hydrocracker

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των DCN των εξεταζόμενων δειγμάτων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πιν 2.3.2), και τα οποία αποτελούν τον μέσο όρο των 4 “επιτυχημένων” μετρήσεων κάθε δείγματος, ενώ τα συνολικά αποτελέσματα μετρήσεων, παρουσιάζονται στους Πίνακες του Παραρτήματος «Β».

Πίνακας 2.3.2 Αποτελέσματα Μετρήσεων DCN και ID των Δειγμάτων Καυσίμων

Α/Α Δείγματος	DCN	ID	Α/Α Δείγματος	DCN	ID
No 1	51,82	3,30	No 12	54,72	3,13
No 2	43,19	3,96	No 13	51,67	3,31
No 3	56,34	3,03	No 14	59,78	2,86
No 4	51,30	3,34	No 15	58,05	2,95
No 5	54,79	3,13	No 16	50,50	3,39
No 6	56,74	3,01	No 17	59,42	2,88
No 7	51,45	3,33	No 18	56,93	3,00
No 8	57,62	2,97	No 19	52,81	3,24
No 9	51,85	3,30	No 20	50,21	3,40
No 10	54,88	3,12	No 21	58,49	2,93
No 11	55,14	3,10	No 22	53,87	3,17

Στο γράφημα της επόμενης σελίδας παρουσιάζεται το διάγραμμα, στο οποίο διακρίνεται η διακύμανση των προσδιοριζόμενων DCN, των διαθέσιμων δειγμάτων (Γραφ 2.3.5). Αυτό που παρατηρείται με βάση τα πειραματικά δεδομένα των DCN, τα διαθέσιμα δείγματα καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος τιμών της συγκεκριμένης κλίμακας, με τη μικρότερη τιμή του δείγματος No 2 (Check Low), DCN_{No2}=43,19 και η μεγαλύτερη του δείγματος No 14 (S-101/U-100), DCN_{No14}=59,78. Το εύρος αυτό προσφέρει τη δυνατότητα ελέγχου της ακρίβειας και σταθερότητας των μετρήσεων, η οποία θα αναφέρεται σε ένα ικανοποιητικό αριθμό μετρήσεων – επαναλήψεων αλλά και σε μεγάλο εύρος αποτελεσμάτων.



Γράφημα 2.3.5 Διάγραμμα Προσδιορισμένων DCN Δειγμάτων Καυσίμων με τη Συσκευής Ελέγχου Ανάφλεξης Ποιότητας

➢ Προέλευση Δειγμάτων Καυσίμων Ντήζελ

Με βάση τη προέλευση των δειγμάτων και τον προσδιορισμένο DCN, οι τιμές των οποίων παρουσιάζονται στο Παράτημα «Γ», με τη συσκευή FIT, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- **Δεξαμενή Ντήζελ Κίνησης Motor Oil**

Τα δείγματα που έχουν αυτή την προέλευση, χαρακτηρίζονται από σταθερότητα ως προς το προσδιορισμένο DCN, παρά το γεγονός ότι το δείγμα “779” έχει ημερομηνία δειγματοληψίας 20-08-2014. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός, ότι το εν λόγω καύσιμο, πληροί όλες τις προδιαγραφές για άμεση διάθεση στο εμπόριο και να χαρακτηρίζεται από υψηλή σταθερότητα ως προς τη σύσταση και τις ιδιότητές του.

- **Μονάδες Αποθείωσης ΕΛΠΕ, τροφοδοσία Gasoil Ατμοσφαιρικής Απόσταξης**

Τα δείγματα που έχουν αυτή τη προέλευση, αποτελούν τα προϊόντα της διεργασίας της αποθείωσης των συστατικών των διάφορων κλασμάτων του ντήζελ, και κατά τη διεργασία αυτή παρατηρείται μόνο η απομάκρυνση του θείου από τις ανθρακικές αλυσίδες, χωρίς να μεταβάλλεται η δομή αυτών. Συνεπώς η οποιαδήποτε διακύμανση του προσδιορισμένου DCN, σε αυτά τα δείγματα οφείλεται στη σύσταση της αρχικής τροφοδοσίας της μονάδας αποθείωσης.

- **Hydrocracker ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Μίγμα Vacuum Gasoil (VGO) και Heavy Coker Gasoil**

Σε μία τέτοια μονάδα υδρογονοπυρόλυσης τα βαριά αρωματικά προϊόντα μετατρέπονται σε ελαφρύτερα κορεσμένα, αφού ευνοούνται οι αντιδράσεις, διάσπασης και υδρογόνωσης πολυπυρηνικών ενώσεων προς μονοπυρηνικές και παραφινικές (κανονικές και ισοπαραφινκές). [3]

Τα δείγματα της εν λόγω προέλευσης παρουσιάζουν μικρές διακυμάνσεις στα αποτελέσματα των DCN, το οποίο μπορεί οφείλεται στα προϊόντα της μονάδας αυτής τα οποία διακρίνονται από σταθερότητα, λόγω των παραφινικών κλασμάτων τους. Οι παρατηρούμενες διακυμάνσεις οφείλονται στο ότι τα εξαγόμενα προϊόντα, που δεν έχουν πάντα σταθερή σύσταση στην τροφοδοσία, αφού αυτή αποτελείται από βαριά κλάσματα του αργού πετρελαίου.

- **ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Μίγμα S-101 και κηροζίνης από το Hydrocracker**

Τα δείγματα της εν λόγω προέλευσης αποτελούν προϊόντα υδρογονοπυρόλυσης, όμως στη συγκεκριμένη περίπτωση, το καύσιμο αποτελεί μείγμα καυσίμου ντήζελ και κηροζίνης, η οποία αυξάνει τον αριθμό κετανίου, συνεπώς οι

διακυμάνσεις του DCN, μπορεί να εξαρτώνται από τη σύσταση του καυσίμου, δηλαδή την περιεκτικότητα στο κάθε κύριο συστατικό του.

- **Hydrotreater ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Μίγμα Gasoil Ατμοσφαιρικής Απόσταξης και Light Coker Gasoil**

Τα δείγματα της εν λόγω προέλευσης παρουσιάζουν μικρές διακυμάνσεις στα αποτελέσματα των DCN, το οποίο μπορεί οφείλεται στα προϊόντα της μονάδας υδρογονοεπεξεργασίας, στην οποία οι ακόρεστες αλυσίδες γίνονται κορεσμένες χωρίς όμως να αλλάζει η δομή τους, συνεπώς η διακύμανση του DCN, μπορεί να οφείλεται στα συστατικά της αρχικής τροφοδοσίας, τα οποία ανάλογα με τη χημική τους σύσταση και δομή να επηρεάζουν ανάλογα το DCN.

➢ Ακρίβεια Μεθόδου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η ακρίβεια (precision) μιας μεθόδου εκφράζεται με την επαναληψιμότητα και την αναπαραγωγισιμότητα της κάθε μεθόδου μέτρησης. Η επαναληψιμότητα μαζί με την ακρίβεια, η οποία θα εξεταστεί παρακάτω, αποτελούν τους σημαντικότερους παραμέτρους που καθορίζουν την αξιοπιστία μιας μεθόδου.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μαθηματικές σχέσεις που εκφράζουν την επαναληψιμότητα και την αναπαραγωγισιμότητα της μεθόδου αυτής.

Πίνακας 2.3.3 Επαναληψιμότητας και Αναπαραγωγισιμότητας Μεθόδου για τον Προσδιορισμό των ID και DCN [11]

	ID (ms)	DCN
Επαναληψιμότητα (r)	0,023·ID	$0,072 \cdot DCN^{0,7}$
Αναπαραγωγισιμότητα (R)	0,082·ID	$0,262 \cdot DCN^{0,7}$

➢ Έλεγχος Ακρίβειας και Σταθερότητας Μετρήσεων

Αφού έχει εξασφαλιστεί με βάση τη πρότυπη μέθοδο (ASTM-D7170) η σωστή λειτουργία της συσκευής «Ελέγχου Ποιότητας Ανάφλεξης» με τις καθοριζόμενες συνθήκες και διαδικασίες μετρήσεων, ο έλεγχος της ακρίβειας και σταθερότητας της συσκευής θα βασιστεί στα αποτελέσματα των μετρήσεων των «Καυσίμων Ελέγχου Ποιότητας», στην επαναληψιμότητα των μετρήσεων, αφού αυτές πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα καυσίμου, μόνο από μία συσκευή, τη σύγκριση των αποτελεσμάτων μετρήσεων με τον υπολογιζόμενο δείκτη κετανίου, όπως επίσης και από τη στατιστική ανάλυση τυπικής απόκλισης κάθε μέτρησης, που αφορά στα αποτελέσματα μετρήσεων από την ίδια συσκευή.

➢ Καύσιμα Ελέγχου Ποιότητας

Για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας και την ακρίβεια στις μετρήσεις είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν τα «Καύσιμα Ελέγχου Ποιότητας» (Quality Check Fuels – QCF). Αυτά τα καύσιμα είναι πρότυπα καύσιμα γνωστού CN και χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν το αρχικό εύρος μέτρησης του αναλυτή ελέγχου ανάφλεξης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουν χρησιμοποιηθεί τα καύσιμα ντήζελ Cetane Check Fuel High, Low, (No 1,2) με αντίστοιχους CN_{CKH}=52,45 και CN_{CKL}=43,37 (ASTM-D613) [24] [25].

Οι προσδιορισμένες τιμές των εν λόγω καυσίμων με τη συσκευή «Ελέγχου Ποιότητας Ανάφλεξης» είναι DCN_{CKH} = 51,82 και DCN_{CKL}= 43,19. Με βάση τον έλεγχο αναπαραγωγισιμότητας μεταξύ των μεθόδων τα όρια αυτά είναι για το καύσιμο CKH ± 4,64, και CKL ± 3,74 σύμφωνα με τον πίνακα αναπαραγωγισιμότητας μεταξύ των μεθόδων ASTM-D613/D7170. Συνεπώς οι μετρήσεις της συσκευής «Ελέγχου Ποιότητας Ανάφλεξης», εξάγει αποτελέσματα εντός ορίων αναπαραγωγισιμότητας, για το εν λόγω καύσιμα που αφορούν στον έλεγχο ποιότητας.

➢ Επαναληψιμότητα Μεθόδου

Για να ελεγχθεί η ακρίβεια της επαναληψιμότητας υπολογίζονται τα όρια αυτής για κάθε μέτρηση, χρησιμοποιώντας τις μαθηματικές σχέσεις του Πίνακα 2.3.3, τόσο για το ID, αλλά και για το DCN. Ολοκληρώνοντας αυτούς τους υπολογισμούς, προκύπτουν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους Πίνακες του Παραρτήματος «Δ», για την επαναληψιμότητα ως προς το ID και τους αντίστοιχους στο Παράρτημα «Ε» για την επαναληψιμότητα ως προς το DCN, στους οποίους διακρίνονται και οι περιπτώσεις των επαναλήψεων οι οποίες είναι εκτός ορίων επαναληψιμότητας.

Ο έλεγχος της επαναληψιμότητας γίνεται υπολογίζοντας για κάθε επανάληψη τα όρια τους τόσο ως προς το ID, όσο και για το DCN. Στη συνέχεια ελέγχεται αν κάποια από τις υπόλοιπες μετρήσεις βρίσκεται εκτός των ορίων που ορίζονται από τους προαναφερόμενους υπολογισμούς.

Συνολικά έχουν πραγματοποιηθεί 88 επαναλήψεις μετρήσεων. Από τον έλεγχο που έγινε σύμφωνα με την παραπάνω αξιολόγηση παρατηρείται ότι οι μετρήσεις ως προς το ID, οι οποίες είναι εκτός ορίων επαναληψιμότητας είναι οι εξής:

1. Δείγμα No11: ID_4=3,03 ms και $r(ID_1)$= 0,07 ms, άρα για να υπάρχει επαναληψιμότητα στα αποτελέσματα των μετρήσεων οι υπόλοιπες πρέπει να βρίσκονται εντός των ορίων 3,03 ± 0,07 ms, ενώ υπάρχει μέτρηση ID_1=3,14 ms και ID_2=3,13 ms. Το αντίστοιχο θα ισχύει και για τις μετρήσεις ID_1=3,14 ms και $r(ID_1)$=0,07 ms και ID_2=3,13 ms και $r(ID_2)$=0,07 ms, δηλαδή αυτές ορίζουν όρια επαναληψιμότητας 3,14 ± 0,07 ms, 31,13 ± 0,07 ms, ενώ υπάρχει η μέτρηση ID_4=3,03 ms, η οποία είναι εκτός των προαναφερόμενων ορίων.

2. Δείγμα No20: ID_2=3,36 ms και r(ID_2)=0,08 ms. Όρια επαναληψιμότητας 3,36±0,08 ms και ID_4=3,45 ms. Αντίστοιχα: ID_4=3,45 ms και r(ID_4)=0,08 ms. Όρια επαναληψιμότητας 3,45±0,08 ms και ID_2=3,36ms.

Συνεπώς στο σύνολο των 88 επαναλήψεων 1 τριάδα και 1 ζεύγος αυτών βρίσκονται εκτός ορίων της επαναληψιμότητας της μεθόδου.

Από τον έλεγχο που έγινε σύμφωνα με την παραπάνω αξιολόγηση παρατηρείται ότι οι μετρήσεις ως προς το DCN, οι οποίες είναι εκτός ορίων επαναληψιμότητας είναι οι εξής:

1. Δείγμα No4: DCN_1=52,00 και r(DCN_1)=1,14. Όρια επαναληψιμότητας 52,00±1,14 και DCN_3=50,34. Αντίστοιχα DCN_3=50,34 και r(DCN_3)=1,12. Όρια επαναληψιμότητας 50,34±1,12 και DCN_1=52,00 , DCN_4=51,51. Αντίστοιχα DCN_4=51,51 και r(DCN_4)=1,12. Όρια επαναληψιμότητας 51,51±1,12 και DCN_3=50,34.

2. Δείγμα No11: DCN_1=54,34 και r(DCN_1)=1,18. Όρια επαναληψιμότητας 54,34±1,18 και DCN_4=56,39. Αντίστοιχα DCN_4=56,39 και r(DCN_4)=1,21. Όρια επαναληψιμότητας 56,39 ± 1,21 και DCN_1=54,34 , DCN_2=54,59. Αντίστοιχα DCN_2=54,49 και r(DCN_2)=1,18. Όρια επαναληψιμότητας 54,49±1,18 και DCN_4=56,39.

3. Δείγμα No16: DCN_2=51,12 και r(DCN_2)=1,13. Όρια επαναληψιμότητας 51,12±1,13 και DCN_4=49,89. Αντίστοιχα DCN_4=49,89 και r(DCN_4)=1,11. Όρια επαναληψιμότητας 49,89±1,11 και DCN_2=51,12

4. Δείγμα No20: DCN_2=50,82 και r(DCN_2)=1,13. Όρια επαναληψιμότητας 50,82±1,13 και DCN_4=49,59. Αντίστοιχα DCN_4=49,59 και r(DCN_4)=1,1. Όρια επαναληψιμότητας 49,59±1,11 και DCN_2=50,82

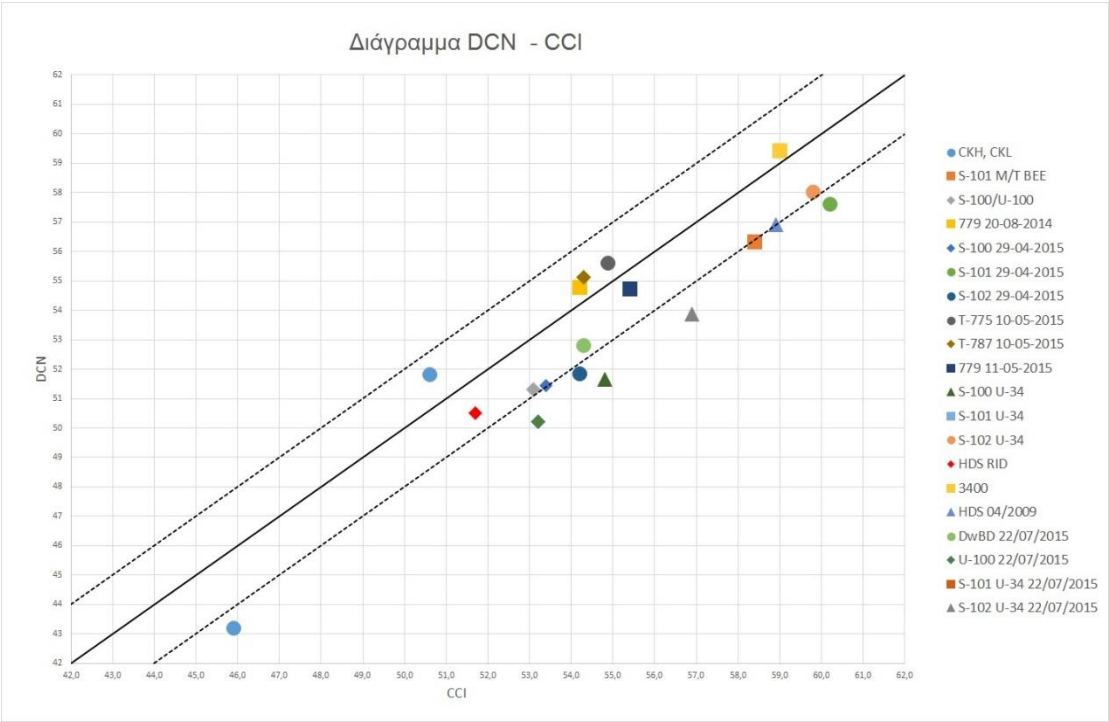
Συνεπώς στο σύνολο των 88 επαναλήψεων 2 τριάδες και 2 ζεύγη αυτών βρίσκονται εκτός ορίων επαναληψιμότητας.

➢ Σύγκριση DCN και CCI

Στον παρακάτω πίνακα (Πιν 2.3.4) παρουσιάζονται τα πειραματικά δεδομένα των προσδιοριζόμενων DCN με τη συσκευή FIT και των αντίστοιχων CCI, που υπολογίστηκαν με τα πειραματικά δεδομένα των μετρήσεων των ΕΛΠΕ, όπως επίσης παρουσιάζονται και οι διαφορές των πειραματικών αυτών δεδομένων. Η διαφορά των δεδομένων αυτών παρουσιάζεται και στο παρακάτω διάγραμμα στο οποίο στον άξονα «x», έχουν τοποθετηθεί οι τιμές του DCN, και στον αντίστοιχο «y», οι τιμές του CCI (Γραφ 2.3.6). Στο γράφημα αυτό διακρίνονται οι σχετικές θέσεις των τιμών DCN και CCI, όλων των ελεγχόμενων δειγμάτων καυσίμων ντήζελ, ενώ έχει προστεθεί και το όριο των ± 2 μονάδων της κλίμακας του CN, ώστε να είναι πιο ευδιάκριτες οι μετρήσεις των δειγμάτων που βρίσκονται εντός αποδεκτών ορίων.

Πίνακας 2.3.4 Πειραματικά Δεδομένα DCN (FIT) και CCI

Α/Α Δειγμάτων	Μ.Ο. DCN (FIT)	CCI	DCN-CCI	α%
No1	51,82	50,6	1,22	2%
No2	43,19	45,9	-2,72	6%
No3	56,34	58,4	-2,07	4%
No4	51,30	53,1	-1,80	4%
No5	54,79	54,2	0,59	1%
No6	56,83	56,9	-0,07	0%
No7	51,45	53,4	-1,95	4%
No8	57,62	60,2	-2,58	4%
No9	51,85	54,2	-2,35	5%
No10	54,88	55,6	-0,72	1%
No11	55,14	54,3	0,84	2%
No12	54,72	55,4	-0,68	1%
No13	51,67	54,8	-3,13	6%
No14	59,78	63,2	-3,42	6%
No15	58,05	59,8	-1,76	3%
No16	50,50	51,7	-1,20	2%
No17	59,42	59	0,42	1%
No18	56,93	58,9	-1,98	3%
No19	52,81	54,3	-1,5	3%
No20	50,21	53,2	-3,00	6%
No21	58,49	62,5	-4,02	7%
No22	53,87	56,9	-3,03	6%



Γράφημα 2.3.6 Συγκριτικό Διάγραμμα Πειραματικών Δεδομένων DCN (FIT) και CCI

Η ακρίβεια του υπολογισμού του εκάστοτε CCI, εξαρτάται από το πλήθος των διαθέσιμων δεδομένων, τις ιδιότητες των καυσίμων που λήφθηκαν υπόψη και από την ακρίβεια των μετρήσεων των ιδιοτήτων, που χρησιμοποιούνται στην μαθηματική σχέση που εκφράζει το δείκτη αυτό.

Συγκεκριμένα ο CCI , εξαρτάται από την ακρίβεια των μετρήσεων των πυκνοτήτων η οποία γίνεται με τη πρότυπη μέθοδο ASTM-D1298 και από την ακρίβεια την μετρήσεων των θερμοκρασιών ποσοστών απόσταξης 10, 50 και 90%, με βάση τη πρότυπη μέθοδο ASTM-D86, η οποία μέθοδος έχει συγκεκριμένα όρια επαναληψιμότητας και αναπαραγωγισιμότητας, τα οποία διαφέρουν ανάλογα με το ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας για τα αντίστοιχα ποσοστά εξάτμισης. [15]

Εντός του εύρους από 30 έως 60 CN, η αναμενόμενη συσχέτιση των υπολογιζόμενων CCI με τον μετρούμενο βάση της πρότυπης μεθόδου ASTM θα είναι λίγο μικρότερη από ±2 CN, για το 75% των δεδομένων απόσταξης καυσίμων. Οι διαφορές στη συσχέτιση μπορεί να είναι μεγαλύτερη για τα καύσιμα των οποίων οι CN, είναι εκτός αυτού του εύρους. Η συσχέτιση δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε καύσιμα απευθείας απόσταξης, καταλυτικά πυρολυμένα αποστάγματα και μίγματα των δύο, και λιγότερο ικανοποιητικά για μίγματα που περιέχουν σημαντικές αναλογίες αποθεμάτων θερμικής διάσπασης. [26]

Από τα παραπάνω δεδομένα σύγκρισης, αλλά και από τη μορφή του αντίστοιχου διαγράμματος, διαπιστώνεται ότι η μέγιστη παρατηρούμενη διαφορά είναι 4 μονάδες της κλίμακας CN, το οποίο αντιστοιχεί σε ποσοστιαία διαφορά 7%. Πρέπει να ληφθεί όμως υπόψη ότι η σύγκριση του προσδιορισμένου DCN, από τη συσκευή «Ελέγχου Ποιότητας Ανάφλεξης» (FIT), δεν έγινε με το μετρούμενο CN, από το πρότυπο κινητήρα, αλλά με τον υπολογιζόμενο CCI, του οποίου η ακρίβεια εξαρτάται από τις προαναφερόμενες παραμέτρους. Έτσι μπορεί να θεωρηθούν ότι βρίσκονται

εντός των ορίων αναπαραγωγισιμότητας σε σύγκριση μεταξύ των δύο πρότυπων μεθόδων μετρήσεων CN και DCN. Παραδείγματα των ορίων μεταξύ των μεθόδων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πιν 2.3.5).

Πίνακας 2.3.5 Παραδείγματα Ορίων Αναπαραγωγισιμότητας μεταξύ των μεθόδων ASTM-D7170 και D613 [11]

$\frac{DCN_{D7170} + CN_{D613}}{2}$	Όρια Αναπαραγωγισιμότητας
40	3,45
44	3,84
48	4,24
52	4,64
56	5,04

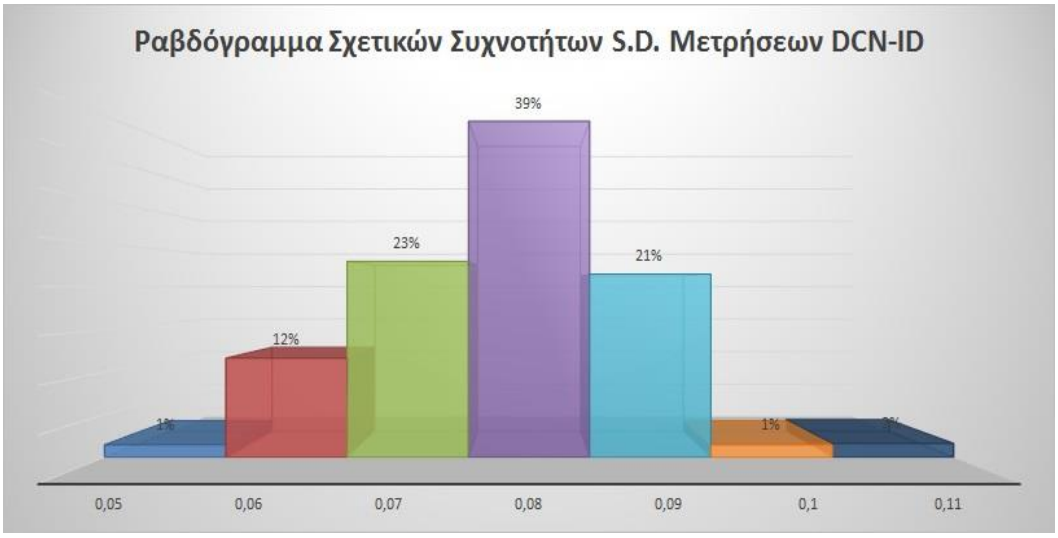
➢ Στατιστική Ανάλυση των μετρούμενων Τυπικών Αποκλίσεων (SD)

Όπως έχει προαναφερθεί, στα αποτελέσματα μετρήσεων εμφανίζεται και η τυπική απόκλιση κάθε μέτρησης, οι οποίες παρουσιάζονται στους πίνακες του Παραρτήματος «Β». Οργανώνοντας το πλήθος των “88” μετρούμενων τυπικών αποκλίσεων (SD), στον παρακάτω πίνακα (Πιν 2.3.6), προκύπτουν από αυτόν τα διαγράμματα συχνοτήτων και σχετικών συχνοτήτων (Γραφ 2.3.7,8).

Πίνακας 2.3.6 Συχνότητες Δεδομένων S.D. μετρήσεων DCN

S.D.	Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα
0,05	2	1%
0,06	13	12%
0,07	22	23%
0,08	33	39%
0,09	16	21%
0,1	1	1%
0,11	1	2%
Γενικό Άθροισμα	**88**	**100%**

Γράφημα 2.3.7 Διάγραμμα Συχνοτήτων S.D. Μετρήσεων DCN



Γράφημα 2.3.8 Διάγραμμα Σχετικών Συχνοτήτων S.D. Μετρήσεων DCN

Από τον παραπάνω πίνακα και τα αντίστοιχα διαγράμματα παρατηρείται ότι το 83% των S.D., των 22 διαφορετικών διαθέσιμων δειγμάτων καυσίμων κυμαίνονται από 0,07 έως 0,09, το οποίο δεν επηρεάζει σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα των μετρήσεων και μπορούν οι μετρήσεις να χαρακτηριστούν ακριβείς και με σταθερότητα.

➢ Συμπεράσματα

Έχοντας εξασφαλίσει, όπως έχει ήδη αναφερθεί η σωστή και σταθερή λειτουργία της συσκευής «Ελέγχου Ποιότητας Ανάφλεξης», εφαρμόζοντας τις καθορισμένες διαδικασίες από την αντίστοιχη πρότυπη μέθοδο προσδιορισμού CN, ολοκληρώθηκε η ανάλυση της ακρίβειας και σταθερότητας των αποτελεσμάτων των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν με την εν λόγω συσκευή.

Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης παρουσιάζουν την επιθυμητή σταθερότητα και ακρίβεια στις μετρήσεις για τους παρακάτω λόγους:

1. Ολοκληρώθηκε επιτυχώς ο έλεγχος ποιότητας με τη χρήση καυσίμων ελέγχου ποιότητας, τόσο για το μέγιστο αλλά και για το ελάχιστο όριο μετρήσεων. Τα εν λόγω δείγματα μετρήθηκαν και είναι εντός των ορίων αναπαραγωγισιμότητας μεταξύ των πρότυπων μεθόδων ASTM-D613 και D7170.

2. Ολοκληρώθηκαν συνολικά 88 επιτυχείς μετρήσεις, διότι για κάθε δείγμα (22 στο σύνολο), πραγματοποιήθηκαν 4 επαναλήψεις. Μετά από τον έλεγχο που έγινε, σε κάθε τετράδα επαναλήψεων που αφορούσε το κάθε μεμονωμένο δείγμα, με βάση το κριτήριο της επαναληψιμότητας της μεθόδου, για τις μετρούμενες υστερήσεις ανάφλεξης διαπιστώθηκε ότι 1 τριάδα και 1 ζεύγος τιμών βρέθηκαν εκτός ορίων επαναληψιμότητας και αντιστοιχα για τους αριθμούς κετανίου εκτός ορίων βρέθηκαν 2 τριάδες και 2 ζεύγη.

3. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του προσδιορισμένου DCN με τη συσκευή «Ελέγχου Ποιότητας Ανάφλεξης», με τους υπολογιζόμενους CCI από τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα, τα πρώτα μπορούν να κριθούν ακριβή, διότι δε παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις αν και σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνούν το όριο των ±2 μονάδων, αλλά αυτό αντιστοιχεί στην ακρίβεια των υπολογισμών του CCI σε σύγκριση με το μετρούμενο CN, με τον πρότυπο κινητήρα.

4. Με βάση τη στατιστική ανάλυση των διακυμάνσεων, των αποτελεσμάτων στο σύνολο των 88 επαναλήψεων, παρατηρήθηκε ότι η διακύμανση στο μεγαλύτερο ποσοστό των επαναλήψεων είναι σταθερή χωρίς να μεταβάλλει τα αποτελέσματα των μετρήσεων, το οποίο αντικατοπτρίζει και τη σταθερότητα των μετρήσεων της συσκευής «Ελέγχου Ποιότητας Ανάφλεξης» (FIT).

2.4. Απόσταξη Δειγμάτων Καυσίμων Ντήζελ

Η απόσταξη των δειγμάτων καυσίμων ντήζελ, για την εξαγωγή του θερμοκρασιακού εύρους και της καμπύλης απόσταξής τους, πραγματοποιήθηκε με την φορητή αυτοματοποιημένη εργαστηριακή μονάδα μειωμένου μεγέθους (Mini Distillation - MiniDis ADXpert) (Εικ 2.4.1), η οποία είναι σχεδιασμένη και λειτουργεί με τα καθορισμένα πρότυπα τις μεθόδου ASTM-D7344.

Εικόνα 2.4.1 Αυτοματοποιημένη Μονάδα Απόσταξης Μειωμένου Μεγέθους (MiniDis ADXpert) [27]

Η προαναφερόμενη μονάδα έχει τη δυνατότητα να αποστάζει υγρά καύσιμα και των τεσσάρων κατηγοριών στα οποία χωρίζονται με βάση τις ιδιότητές τους, όπως είναι η βενζίνη, νάφθα, κηροζίνη, αεροπορικά καύσιμα, καύσιμα ντήζελ, βιοκαύσιμα, μείγματα αυτών, ναυτιλιακά καύσιμα, διαλύτες κλπ. [27]

➢ Κύρια Μέρη Οργάνου

Τα κύρια μέρη του οργάνου είναι αυτά που διακρίνονται στην παρακάτω εικόνα (Εικ 2.4.2)

Εικόνα 2.4.2 Κύρια Μέρη Μονάδας Απόσταξης Μειωμένου Μεγέθους (ADXpert) [27]

➢ Πειραματική Διαδικασία

1. Αρχικά τοποθετείται ένα σφαιρίδιο βρασμού στο δοχείο δείγματος
2. Στο κεντρικό μενού της οθόνης του οργάνου επιλέγεται η εντολή “Measure” και στη συνέχεια εισάγεται το όνομα του δείγματος καυσίμου
3. Επιλέγεται η κατηγορία (από 1 έως 4) του καύσιμου.
4. Επιλέγεται η εντολή “Start” και ακολουθούνται η αλληλουχία των βημάτων, με βάση τις αναγραφόμενες ενδείξεις.
5. Εισάγεται το σωληνάκι αναρρόφησης καυσίμου σε επαρκή ποσότητα δείγματος.
6. Τοποθετείται το δοχείο με το σφαιρίδιο βρασμού πάνω στην ειδική βάση ώστε να μετρηθεί το βάρος τους.
7. Όταν ολοκληρωθεί η μέτρηση τοποθετείται το δοχείο στην ειδική υποδοχή εντός της συσκευής και σφραγίζεται αυτόματα (Εικ 2.4.3).

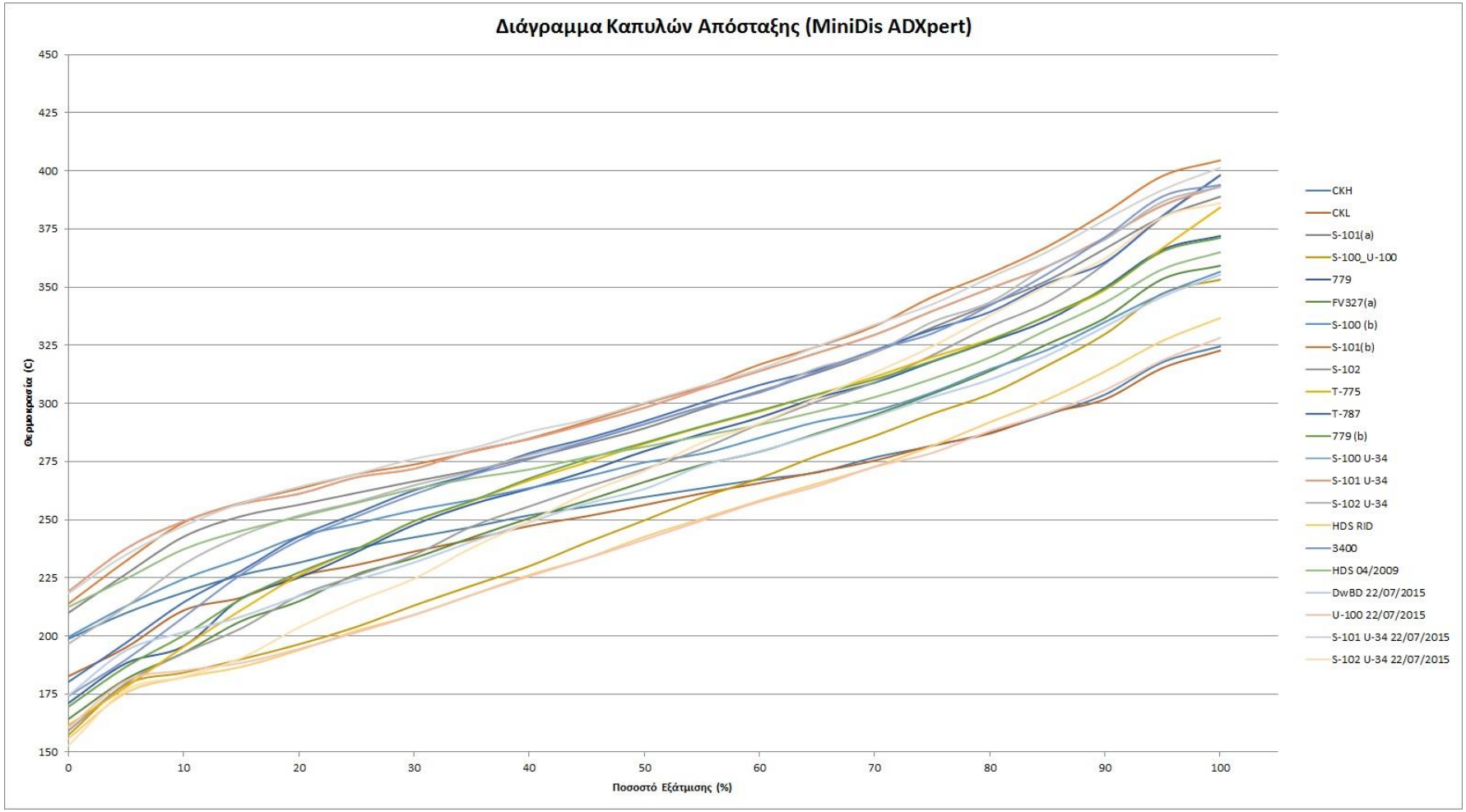
Εικόνα 2.4.3 Εισαγωγή Δοχείο Δείγματος στη Μονάδα Απόσταξης

8. Με την ολοκλήρωση της απόσταξης, επαναζυγίζεται το δοχείο δείγματος, για το προσδιορισμό του υπολείμματος.
9. Αφού ολοκληρωθεί και ο υπολογισμός του υπολείμματος τα δεδομένα της απόσταξης είναι διαθέσιμα σε ποσοστιαία μορφή εξατμιζόμενου όγκου συναρτήσει με την αντίστοιχη θερμοκρασία. [27]

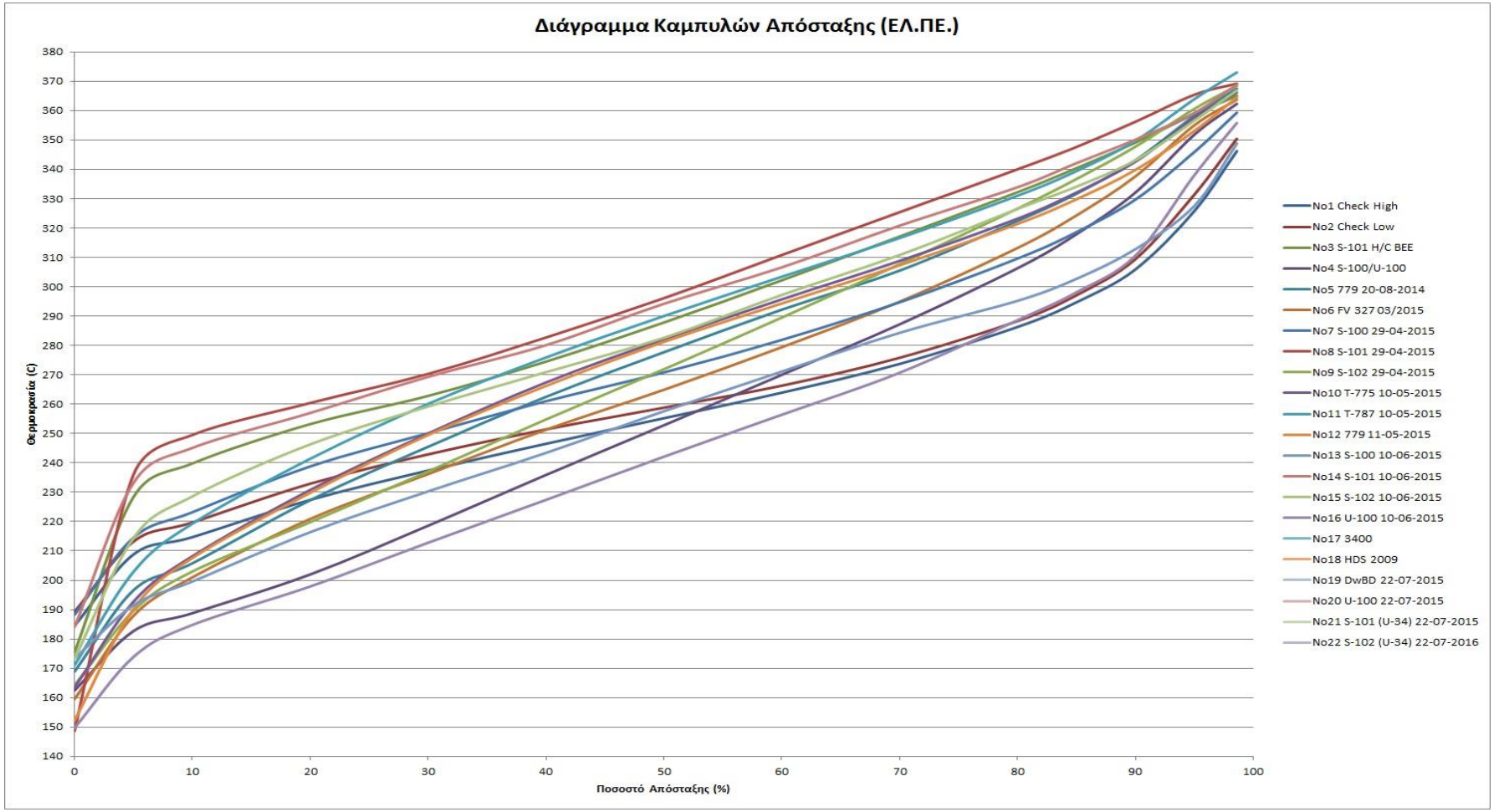
➢ Πειραματικά Δεδομένα

Τα πειραματικά δεδομένα θερμοκρασιών τα οποία υπολογίστηκαν με την προαναφερόμενη συσκευή απόσταξης, αλλά και τα αντίστοιχα από τις μετρήσεις του εργαστηρίου των ΕΛ.ΠΕ. παρουσιάζονται στους πίνακες του Παραρτήματος «ΣΤ».

Στα παρακάτω γραφήματα (Γραφ 2.4.1,2) παρουσιάζονται οι καμπύλες απόσταξης όλων των δειγμάτων .



Γράφημα 2.4.1 Διάγραμμα Καμπυλών Απόσταξης με την Συσκευή Απόσταξης Μειωμένου Μεγέθους (MiniDis ADXpert)



Γράφημα 2.4.2 Διάγραμμα Καμπυλών Απόσταξης (ΕΛ.ΠΕ.)

➢ Επεξεργασία Πειραματικών Δεδομένων

Από τη μορφή των καμπυλών απόσταξης των δειγμάτων καυσίμων παρατηρείται ότι τα ποσοστά εξάτμισης και τα αντίστοιχα θερμοκρασιακά εύρη δεν ταυτίζονται, αντιθέτως έχουν σημαντικές διαφορές σε συγκεκριμένες περιοχές. Συνεπώς απαιτείται η στατιστική μελέτη των διαφορών αυτών.

• Στατιστική Ανάλυση

Η στατιστική αυτή ανάλυση θα βασιστεί σε 3 διαφορετικές παραμέτρους από τις οποίες θα παραχθούν καινούργια πειραματικά δεδομένα. Οι παράμετροι αυτοί είναι οι εξής:

1. Διαφορά θερμοκρασιών σε αντίστοιχα ποσοστά εξάτμισης:$(\boldsymbol{T_{MiniDis}} - \boldsymbol{T_{ΕΛ.ΠΕ}})$

2. Απόλυτη διαφορά θερμοκρασιών σε αντίστοιχα ποσοστά εξάτμισης:$|(\boldsymbol{T_{MiniDis}} - \boldsymbol{T_{ΕΛ.ΠΕ}})|$

3. Ποσοστιαία απόλυτη διαφορά θερμοκρασιών σε περιοχές ποσοστών απόσταξης (IBP-20%, 20-70%, 70%-FBP) εξάτμισης:

$$\frac{|(\boldsymbol{T_{MiniDis}} - \boldsymbol{T_{ΕΛ.ΠΕ}})|}{\boldsymbol{T_{MiniDis}}}$$

Σε αυτή την στατιστική ανάλυση ο δειγματοχώρος θα είναι τα αποτελέσματα των προαναφερόμενων παραμέτρων και θα αποτελείται από ένα πεπερασμένο σύνολο διακεκριμένων αριθμών, το πλήθος των οποίων κάθε φορά θα είναι για τις δύο πρώτες περιπτώσεις “308”, ενώ για τις περιοχές των αναφερόμενων ποσοστών θα είναι “88”, “132” και “132 αντίστοιχα” . Η επεξεργασία των δεδομένων και η ανάλυση τους θα βασιστεί στη περιγραφική στατιστική, χρησιμοποιώντας Περιγραφικούς Στατιστικούς Δείκτες. Στον παρακάτω πίνακα (Πιν 2.4.1) παρουσιάζονται οι κυριότεροι Περιγραφικοί Στατιστικοί Δείκτες και ο τρόπος υπολογισμός τους.

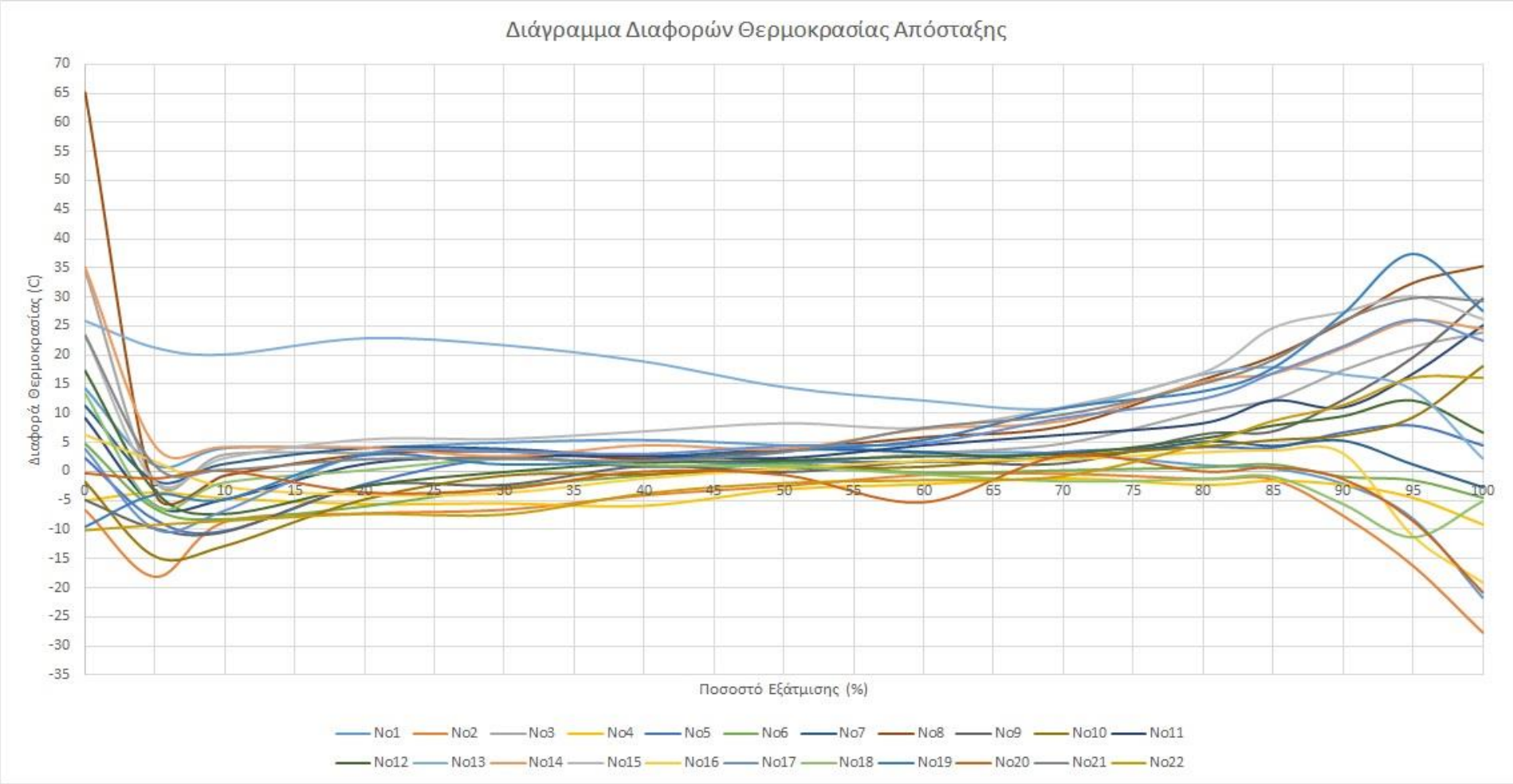
Πίνακας 2.4.1 Περιγραφικοί Στατιστικοί Δείκτες και Τύποι Υπολογισμών

Περιγραφικός Στατιστικός Δείκτης	Τύποι Υπολογισμού	
Μέση Τιμή	$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N}$	x_i: τιμή δεδομένων N: Μέγεθος Πληθυσμού
Εύρος	Η διαφορά της μεγαλύτερης από τη μικρότερη τιμή	
Ημι-ενδοτεταρτομοριακό Εύρος	Ισούται με το μισό του εύρους που καλύπτει το κεντρικό 50% της κατανομής παρατηρήσεων	
Διασπορά	$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \mu)^2}{N}$	
Τυπική Απόκλιση	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$	

Τα μέτρα διασποράς δίνουν μία εικόνα σχετικά με το πόσο συγκεντρωμένες είναι οι παρατηρήσεις σε ένα σύνολο δεδομένων. [28]

➢ Διαφορά Θερμοκρασιών σε Αντίστοιχα Ποσοστά Εξάτμισης

Όπως έχει προαναφερθεί το πρώτο μέρος της στατιστικής ανάλυσης, αφορά στη διαφορά θερμοκρασιών απόσταξης στα αντίστοιχα ποσοστά εξάτμισης, αφαιρώντας την μετρούμενη, με το όργανο MiniDis ADXpert, θερμοκρασία σε κάθε ποσοστό, την αντίστοιχη από το εργαστήριο των ΕΛ.ΠΕ. Υπολογίζοντας τις διαφορές αυτές για όλα τα ποσοστά σε όλα τα δείγματα προκύπτουν τα πειραματικά δεδομένα του Πίνακα Ζ.1 του Παραρτήματος «Ζ». Από αυτά τα δεδομένα προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα (Γραφ 2.4.3), στο οποίο είναι δυνατό να εντοπιστούν οι περιοχές μεγάλων/μικρών διαφορών και σε ποια δείγματα εντοπίζονται οι μεγαλύτερες/μικρότερες διαφορές.



Γράφημα 2.4.3 Διάγραμμα Διαφορών Θερμοκρασίας Απόσταξης σε Αντίστοιχα Ποσοστά Εξάτμισης

- ## Παρατηρήσεις

1. Το παραπάνω διάγραμμα έχει σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας τη διαφορά των αντίστοιχων θερμοκρασιών συνεπώς, όταν οι καμπύλες των διαφορών βρίσκονται πάνω από τον άξονα «x» (ΔΤ>0), τότε η μετρούμενη θερμοκρασία με την διάταξη απόσταξης μειωμένου μεγέθους (MiniDis ADXpert), είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη του εργαστηρίου των ΕΛ.ΠΕ.

2. Σε όλα τα δείγματα (πλην του No13: S-100 (U-34), παρατηρείται η ίδια τάση στις διαφορές των θερμοκρασιών, όπου οι μεγαλύτερες διάφορες κυμαίνονται στα αρχικά και τελικά ποσοστά εξάτμισης, δηλαδή από το IBP έως ~ 10% και από ~ 60% έως το FBP. Στα μεσαία ποσοστά 10 έως 60% οι διαφορές μικραίνουν σημαντικά.

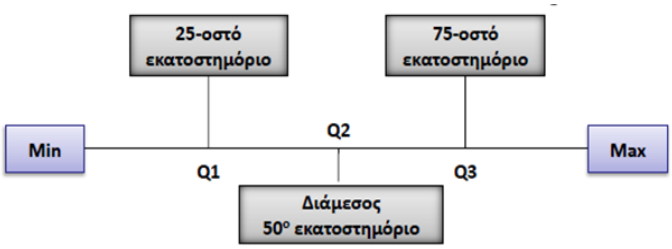
- ## Περιγραφικοί Στατιστικοί Δείκτες

1. **Μέση τιμή:** 4,6° C

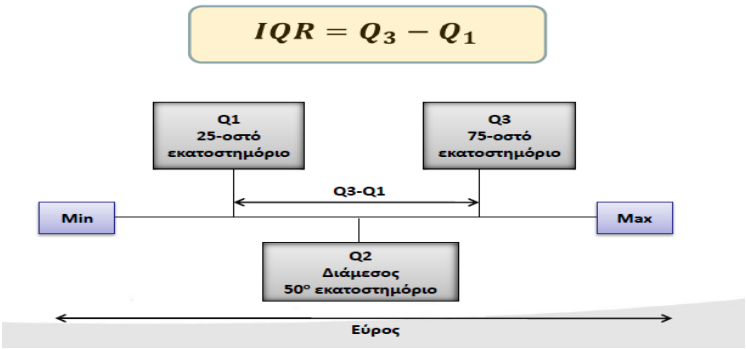
2. **Εύρος:** 92,9 ° C (ΔT_{max} =65,2 ° C δείγμα No 8, S-101 (29-04-2015) IBP, και ΔT_{min}=-27,7 δείγμα No 2, CKL FBP)

3. **Υπολογισμός Εκατοστημορίων:** $L_P = (N+1)\left(\frac{P}{100}\right)$

Στα παρακάτω γραφήματα αναπαρίσταται η έννοια και η σημασία των εκατοστημορίων.



Γράφημα 2.4.4 Γραφική Απεικόνιση Εκατοστημοριών



Γράφημα 2.4.5 Γραφική Απεικόνιση Ενδοτερτημοριακού Εύρους

3.1. $L_{25} = 309 \cdot \frac{25}{100} = 77,25$

Το 25-οστο εκατοστημόριο Q_1 βρίσκεται στα 3/4 της απόστασης μεταξύ 77ης και 78ης τιμής (77,25) κατά αύξουσα σειρά τιμών.

$$Q_1 = x_{77} + \frac{3}{4}(x_{78} - x_{77}) = -1,7$$

Συνεπώς το 25% των παρατηρήσεων είναι μικρότερες από -1,7° C και το 75% των παρατηρήσεων είναι μεγαλύτερες από -1,7 ° C.

3.2. $L_{50} = 309 \cdot \frac{50}{100} = 154,5$

Το 50-οστο εκατοστημόριο Q_2 βρίσκεται στο 1/2 της απόστασης μεταξύ 154ης και 155ης τιμής (154,5) κατά αύξουσα σειρά τιμών.

$$Q_2 = x_{154} + \frac{1}{2}(x_{155} - x_{154}) = 2,55$$

Συνεπώς το 50% των παρατηρήσεων είναι μικρότερες από 2,55 °C και το 50% των παρατηρήσεων είναι μεγαλύτερες από 2,55 ° C.

3.3. $L_{75} = 309 \cdot \frac{75}{100} = 231,75$

Το 75-οστο εκατοστημόριο Q_3 βρίσκεται στο 1/4 της απόστασης μεταξύ 231ης και 232ης τιμής (231,75) κατά αύξουσα σειρά τιμών.

$$Q_3 = x_{231} + \frac{1}{4}(x_{231} - x_{232}) = 8,7$$

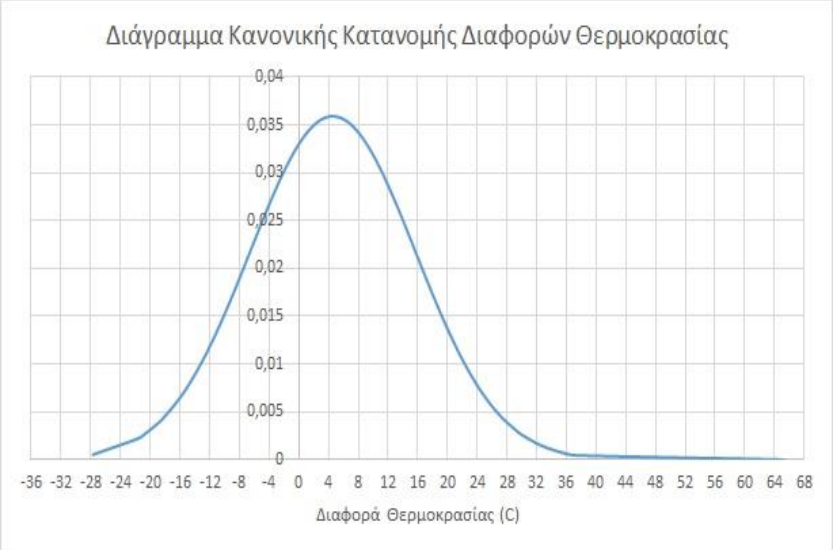
Συνεπώς το 75% των παρατηρήσεων είναι μικρότερες από 8,7 °C και το 25% των παρατηρήσεων είναι μεγαλύτερες από 8,7 ° C.

3.4. Ενδοτεταρτημοριακό Εύρος: **IQR = Q_3 – Q_1 = 10,4° C**

4. **Διασπορά:** 123,384

5. **Τυπικά Απόκλιση:** 11,12

Υπολογίζοντας τη Διασπορά και την Τυπική Απόκλιση των τιμών προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα (Γραφ 2.4.6), στο οποίο η κατανομή των τιμών χαρακτηρίζεται ως Κανονική και παρατηρείται κατά πόσο απέχουν οι τιμές από τον μέσο όρο τους.



Γράφημα 2.4.6 Διάγραμμα Κατανομών Διαφορών Θερμοκρασίας

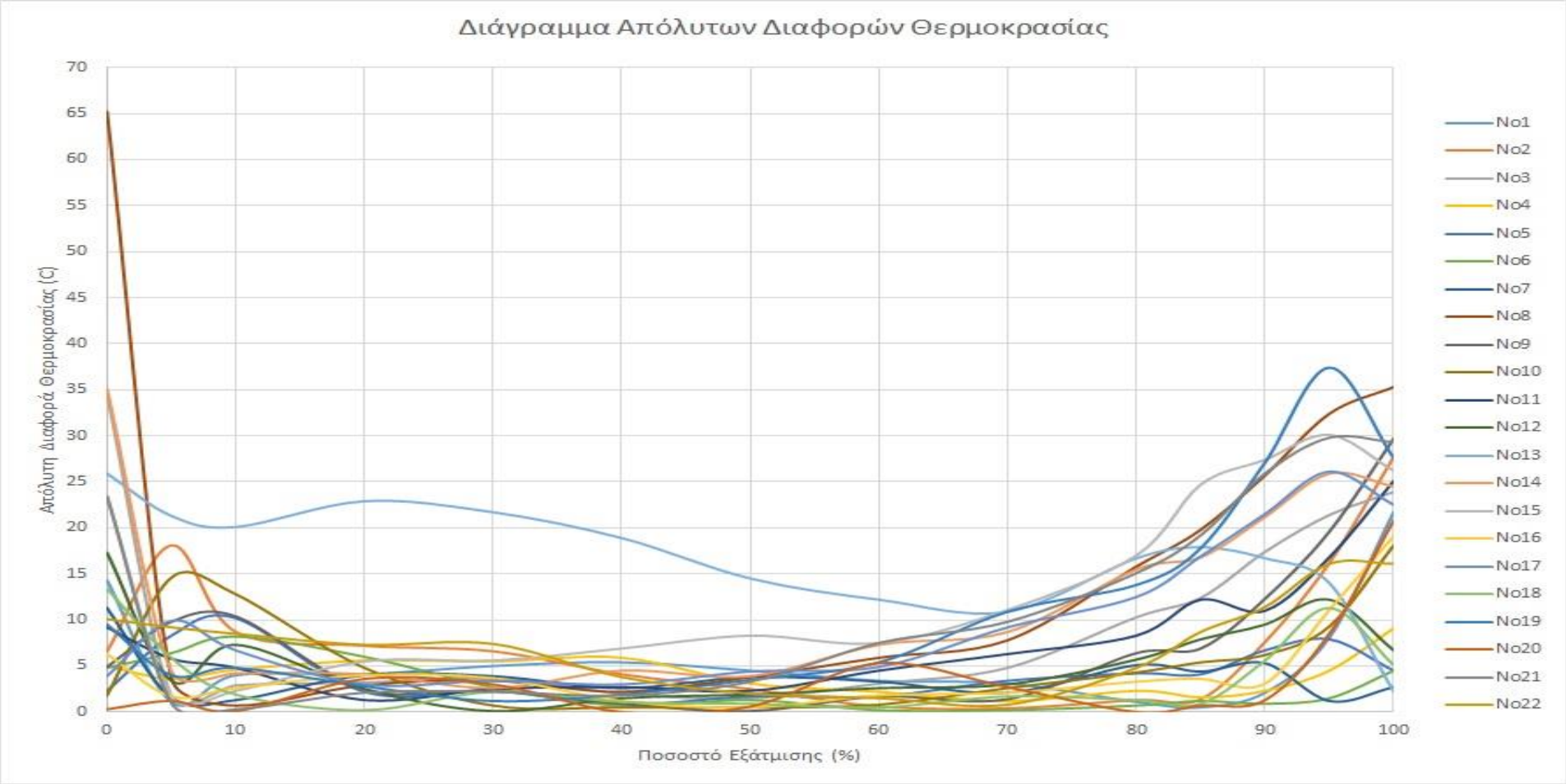
➢ Απόλυτη Διαφορά Θερμοκρασιών σε Αντίστοιχα Ποσοστά Εξάτμισης

Το δεύτερο μέρος της στατιστικής ανάλυσης αφορά την απόλυτη τιμή των διαφορών των θερμοκρασιών. Υπολογίζοντας τις διαφορές αυτές για όλα τα ποσοστά σε όλα τα δείγματα προκύπτουν τα πειραματικά δεδομένα του Πίνακα Ζ.2 του Παραρτήματος «Ζ». Από αυτά τα δεδομένα προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα (Γραφ 2.4.7).

• Παρατηρήσεις

1. Το παρακάτω διάγραμμα έχει σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας την απόλυτη διαφορά των αντίστοιχων θερμοκρασιών συνεπώς, δεν εντοπίζονται αρνητικές τιμές σε αυτές τις διαφορές. Με αυτό τον τρόπο παρατηρούνται τα εύρη των τιμών διαφορών στην συγκεκριμένη σύγκριση διατάξεων απόσταξης.

2. Η συμπεριφορά, που αφορά στις περιοχές διαφορών δεν μεταβάλλεται σε σχέση με την προηγούμενη σύγκριση.



Γράφημα 2.4.7 Διάγραμμα Απόλυτων Διαφορών Θερμοκρασίας σε Αντίστοιχα Ποσοστά Απόσταξης

- ## Περιγραφικοί Στατιστικοί Δείκτες

1. Μέση τιμή: 8,2 ° C

2. Εύρος: 65,2 ° C (IΔT_{max}I =65,2 ° C δείγμα No 8, S-101 (29-04-2015) IBP, και IΔT_{min}I = 0 δείγμα No 20, U-100 (22-07-2009) 40%, 80%.

3. Υπολογισμός Εκατοστημορίων: $L_P = (N+1)\left(\frac{P}{100}\right)$

3.1 $\boldsymbol{L_{25} = 309 \cdot \frac{25}{100} = 77,25}$

Το 25-οστο εκατοστημόριο Q_1 βρίσκεται στα 3/4 της απόστασης μεταξύ 77ης και 78ης τιμής (77,25) κατά αύξουσα σειρά τιμών.

$$\boldsymbol{Q_1 = x_{77} + \frac{3}{4}(x_{78} - x_{77}) = 2,2}$$

Συνεπώς το 25% των παρατηρήσεων είναι μικρότερες από 2,2° C και το 75% των παρατηρήσεων είναι μεγαλύτερες από 2,2 ° C.

3.2 $\boldsymbol{L_{50} = 309 \cdot \frac{50}{100} = 154,5}$

Το 50-οστο εκατοστημόριο Q_2 βρίσκεται στο 1/2 της απόστασης μεταξύ 154ης και 155ης τιμής (154,5) κατά αύξουσα σειρά τιμών.

$$\boldsymbol{Q_2 = x_{154} + \frac{1}{2}(x_{155} - x_{154}) = 4,8}$$

Συνεπώς το 50% των παρατηρήσεων είναι μικρότερες από 4,8 °C και το 50% των παρατηρήσεων είναι μεγαλύτερες από 4,8 ° C.

3.3 $\boldsymbol{L_{75} = 309 \cdot \frac{75}{100} = 231,75}$

Το 75-οστο εκατοστημόριο Q_3 βρίσκεται στο 1/4 της απόστασης μεταξύ 231ης και 232ης τιμής (231,75) κατά αύξουσα σειρά τιμών.

$$\boldsymbol{Q_3 = x_{231} + \frac{1}{4}(x_{231} - x_{232}) = 11,025}$$

Συνεπώς το 75% των παρατηρήσεων είναι μικρότερες από 11,025°C και το 25% των παρατηρήσεων είναι μεγαλύτερες από 11,025° C.

3.4 Ενδοτεταρτημοριακό Εύρος: **IQR = Q_3 – Q_1 = 8,8° C**

4. Διαγράμματα Συχνοτήτων

Η απεικόνιση των τιμών απόλυτων διαφορών σε διαγράμματα συχνοτήτων απαιτείται το διαχωρισμό του συνόλου των τιμών σε έναν αριθμό κλάσεων, οι οποίες θα έχουν συγκεκριμένο πλάτος. Για να υπολογιστεί το πλάτος τον κλάσεων χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση (Εξ 2.4.1), η οποία ονομάζεται «Κανόνας Sturges»

$$k = 1 + 3,322 \cdot log_{10}(n) \qquad \text{(Εξ 2.4.1)}$$
$$n = 308 \rightarrow k = 9,267$$

Όπου n το πλήθος των τιμών και k ο αριθμός των τάξεων.

Το πλάτος των τάξεων υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\delta = \frac{M - m}{k} \qquad \text{(Εξ.2.4.2)}$$

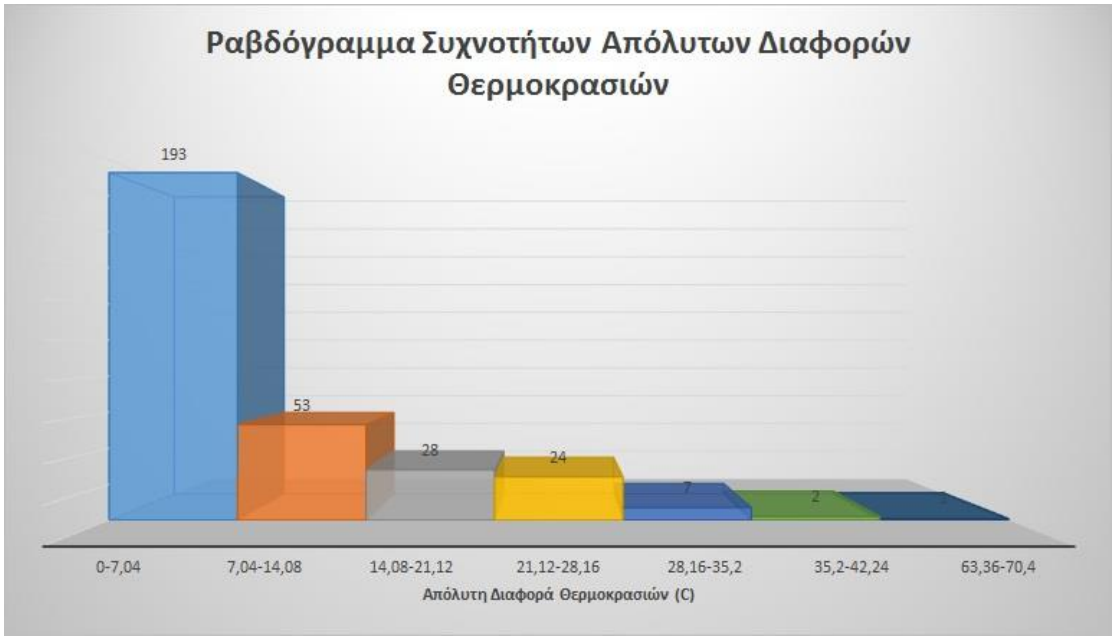
$$M = 65{,}2\ m = 0\ \rightarrow \delta = 7{,}04$$

Όπου M και m η μέγιστη και ελάχιστη τιμή των διαθέσιμων τιμών.

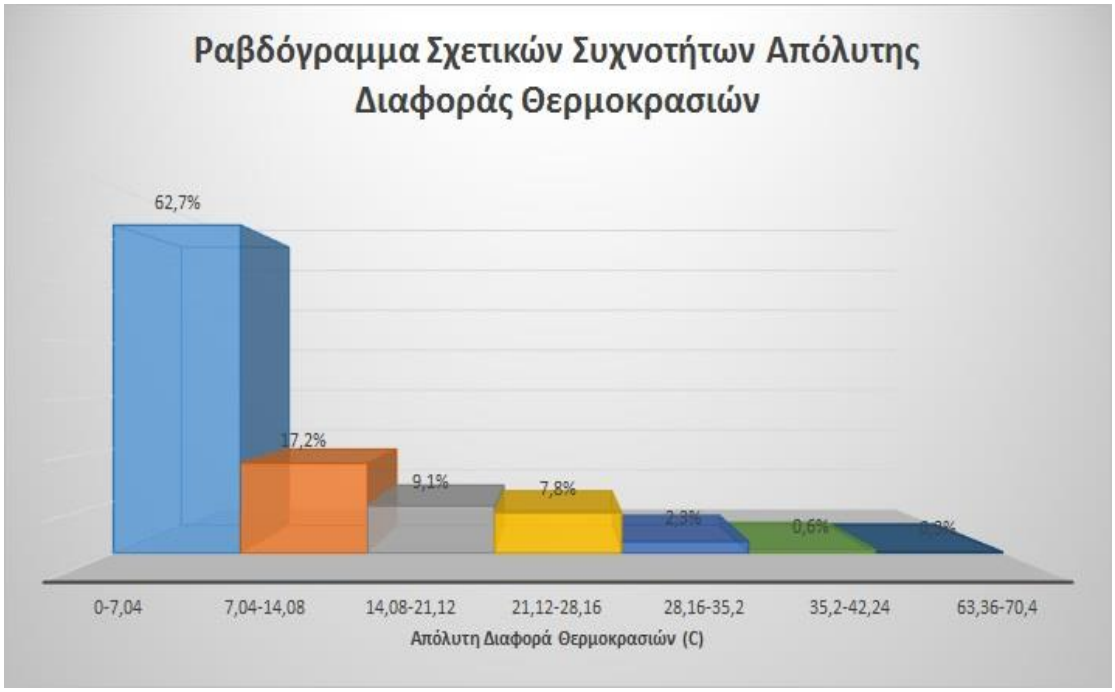
Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία σχηματισμού κλάσεων ο πίνακας των πειραματικών δεδομένων παίρνει την παρακάτω μορφή (Πιν 2.4.2), από τα οποία εξαγάγονται και τα παρακάτω διαγράμματα Συχνοτήτων και Σχετικών Συχνοτήτων (Γραφ 2.4.8,9).

Πίνακας 2.4.2 Κλάσεις Δεδομένων Απόλυτων Διαφορών Θερμοκρασιών και Συχνότητες Αυτών

Κλάσεις	Συχνότητα	Σχετική Συχνότητα
0-7,04	193	62,7%
7,04-14,08	53	17,2%
14,08-21,12	28	9,1%
21,12-28,16	24	7,8%
28,16-35,2	7	2,3%
35,2-42,24	2	0,6%
63,36-70,4	1	0,3%
Άθροισμα	308	100%



Γράφημα 2.4.8 Ραβδόγραμμα Συχνοτήτων Απόλυτων Διαφορών Θερμοκρασίας



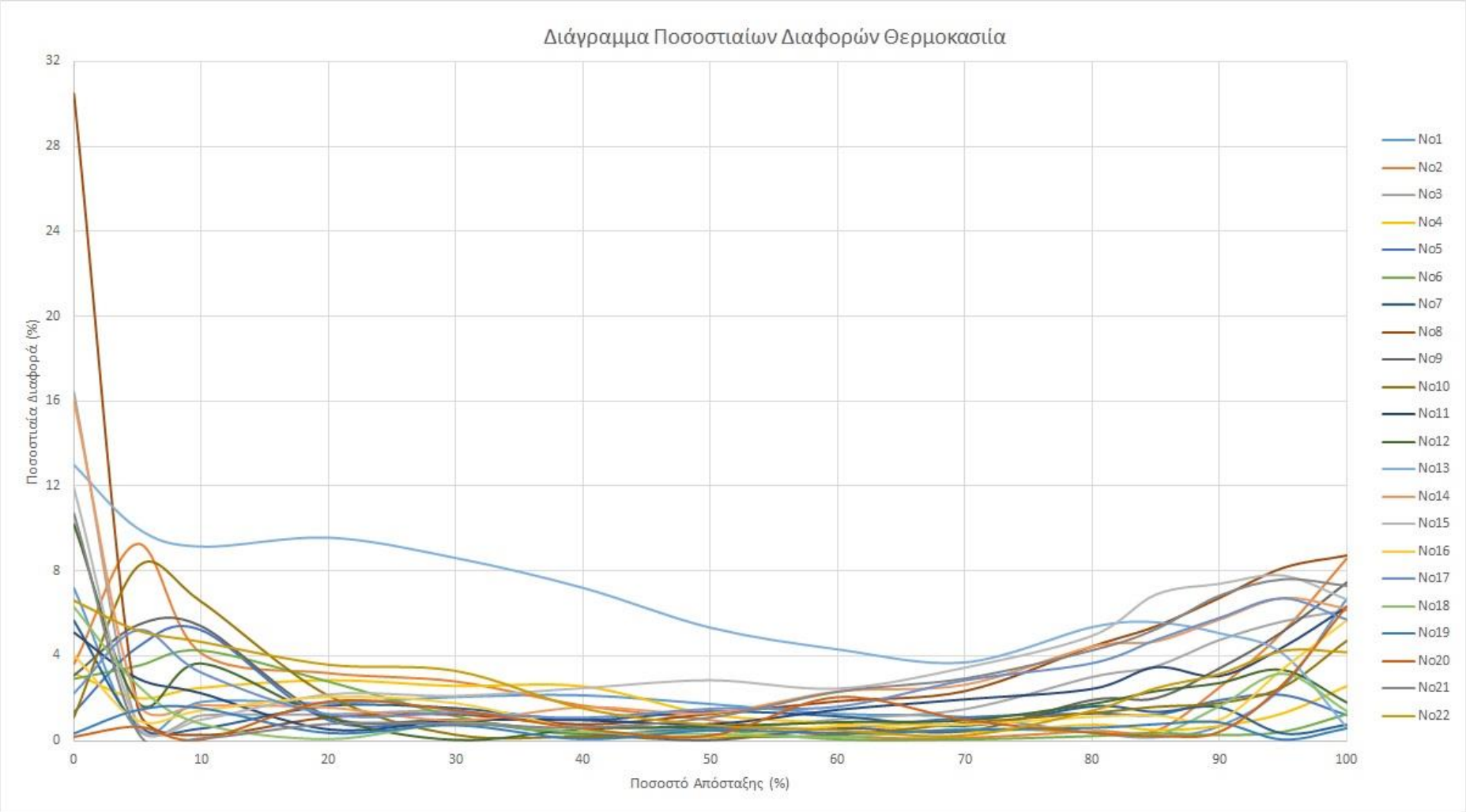
Γράφημα 2.4.9 Ραβδόγραμμα Σχετικών Συχνοτήτων Απόλυτων Διαφορών Θερμοκρασίας

➢ Ποσοστιαία Διαφορά Θερμοκρασιών σε Αντίστοιχα Ποσοστά Εξάτμισης

Το τρίτο μέρος της στατιστικής ανάλυσης αφορά της ποσοστιαίας διαφοράς των θερμοκρασιών, ως προς τις υπολογιζόμενες θερμοκρασίες από την διάταξη MiniDis. Υπολογίζοντας τα ποσοστά αυτά για όλα τα δείγματα, προκύπτουν τα πειραματικά δεδομένα του Πίνακα Ζ.3 του Παραρτήματος «Ζ». Από αυτά τα δεδομένα προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα (Γραφ 2.4.10).

• Παρατηρήσεις

Το παρακάτω διάγραμμα έχει σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας την ποσοστιαία διαφορά των αντίστοιχων θερμοκρασιών με αυτό τον τρόπο παρατηρούνται οι διαφορές των θερμοκρασιών σε ποσοστιαίες μονάδες. Επιπρόσθετα η συμπεριφορά, που αφορά στις περιοχές διαφορών δεν μεταβάλλεται σε σχέση με την προηγούμενη σύγκριση. Για την καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων όπως έχει ήδη αναφερθεί η μελέτη θα γίνει σε περιοχές ποσοστών απόσταξης, δηλαδή από IBP έως 20%, από 20-70% και από 70% έως FBP. Η κατηγοριοποίηση αυτών των περιοχών έγινε με βάση την παρατηρούμενη συμπεριφορά, που αφορά στις διαφορές θερμοκρασιών.



Γράφημα 2.4.10 Διάγραμμα Ποσοστιαίων Διαφορών Θερμοκρασίας σε Αντίστοιχα Ποσοστά Απόσταξης

Διαγράμματα Συχνοτήτων

Ακολουθώντας την προαναφερόμενη διαδικασία για το χωρισμό των τιμών σε κλάσεις χρησιμοποιώντας των «Κανόνα του Sturges», προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα και σχηματίζονται οι παρακάτω πίνακες (Πιν 2.4.3,4), από τους οποίους προκύπτουν τα αντίστοιχα διαγράμματα συχνοτήτων (Γραφ 2.4.11-13).

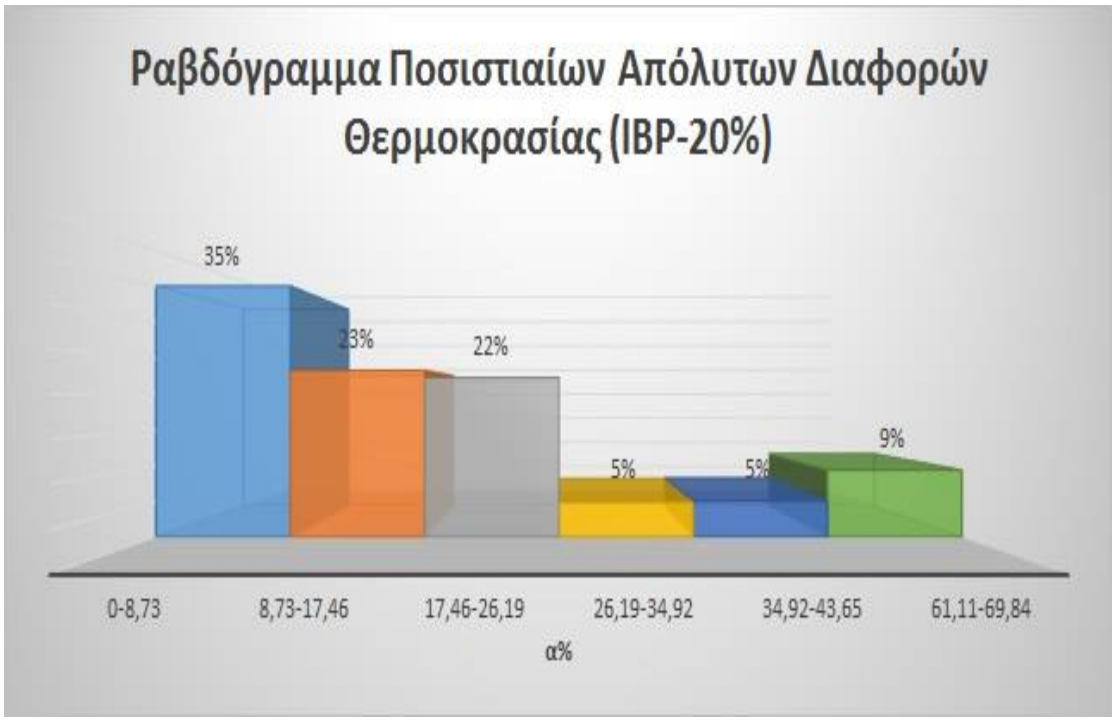
Πίνακας 2.4.3 Διαχωρισμός Κλάσεων για τις Ποσοστά Εξάτμισης IBP-20%, 20-70% και 70%-FBP

IBP – 20%		20 -70%		70% - FBP	
$n = 88$	$\rightarrow \delta = 8{,}73$	$n = 132$	$\rightarrow \delta = 8{,}73$	$n = 132$	$\rightarrow \delta = 4{,}65$
$k = 7{,}46$		$k = 8{,}045$		$k = 8.045$	
$M = 30{,}48$		$M = 22{,}90$		$M = 37{,}40$	
$m = 0{,}04$		$m = 0$		$m = 0$	

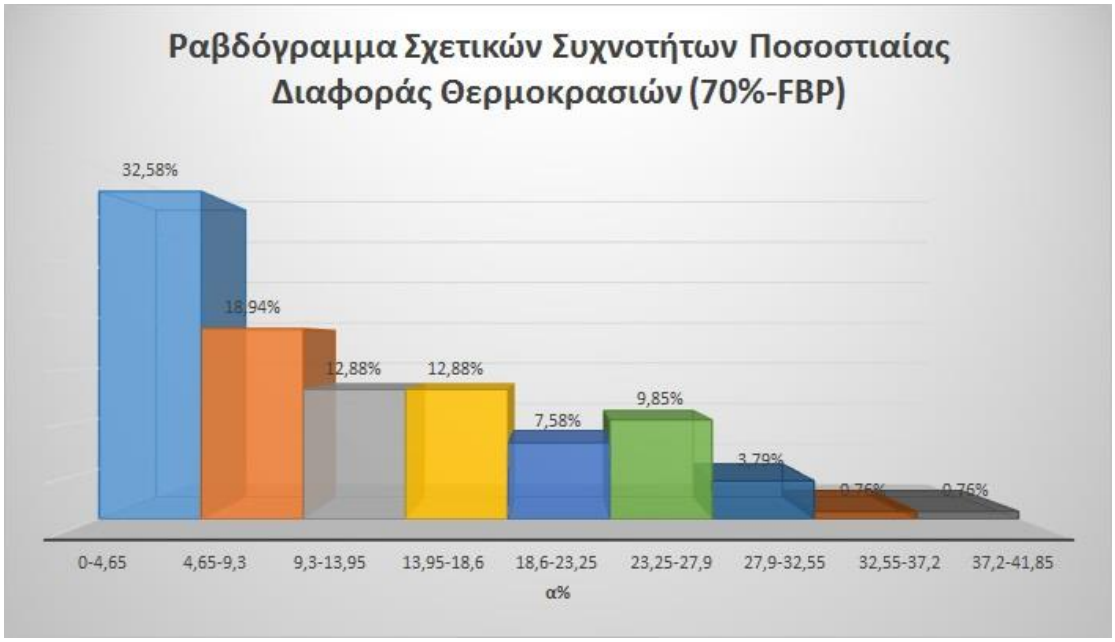
Πίνακας 2.4.4 Κλάσεις Δεδομένων Ποσοστιαίων Διαφορών Θερμοκρασιών και Σχετική Συχνότητα Αυτών

IBP-20%		**20-70%**		**70%-FBP**	
α%	**Σχετ. Συχ**	**α%**	**Σχετ. Συχ**	**α%**	**Σχετ. Συχ**
0-8,73	35%	0-2,85	48%	0-4,65	32,58%
8,73-17,46	23%	2,85-5,7	33%	4,65-9,3	18,94%
17,46-26,19	22%	5,7-8,55	11%	9,3-13,95	12,88%
26,19-34,92	5%	8,55-11,4	5%	13,95-18,6	12,88%
34,92-43,65	5%	11,4-14,25	1%	18,6-23,25	7,58%
61,11-69,84	9%	14,25-17,1	1%	23,25-27,9	9,85%
Γενικό Άθροισμα	**100%**	17,1-19,95	1%	27,9-32,55	3,79%
		19,95-22,8	1%	32,55-37,2	0,76%
		22,8-25,65	1%	37,2-41,85	0,76%
		Γενικό Άθροισμα	**100%**	0-4,65	32,58%
				4,65-9,3	18,94%
				9,3-13,95	12,88%
				Γενικό Άθροισμα	**100%**

Από τα παρακάτω γραφήματα παρατηρούνται οι μεγάλες ποσοστιαίες απόλυτες διαφορές των θερμοκρασιών για την περιοχή απόσταξης IBP έως 20%, και 70& έως FBP, το οποίο υποδηλώνει ότι η διάταξη MiniDis, δε μπορεί να παράγει αξιοποιήσιμα αποτελέσματα σε αυτή τη περιοχή.

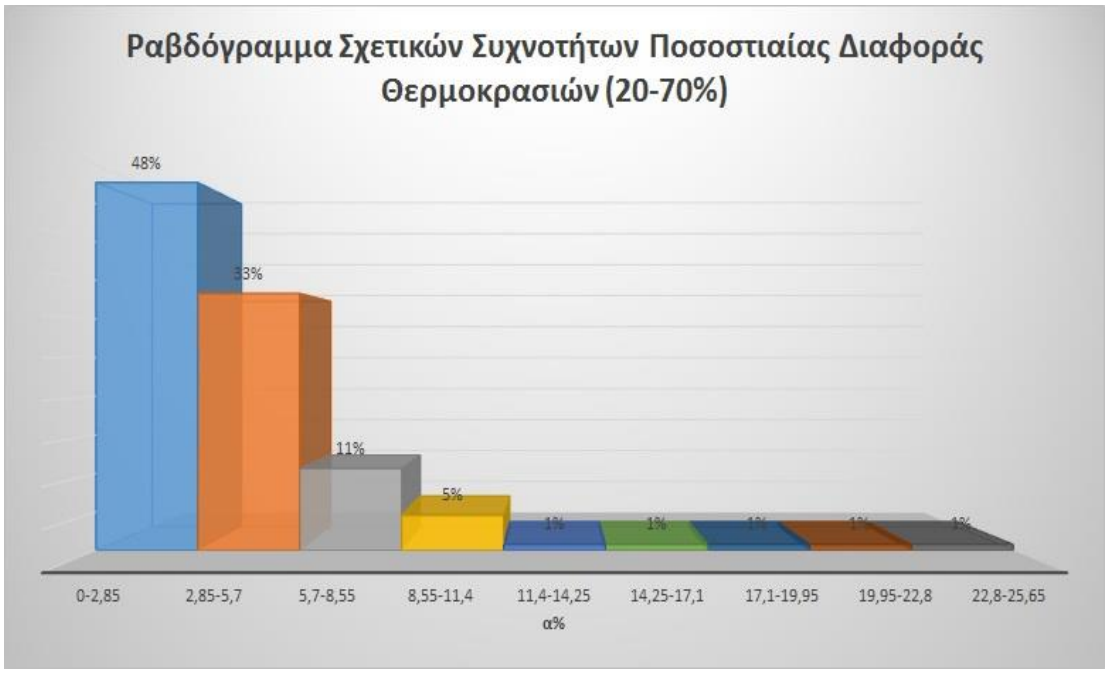


Γράφημα 2.4.11 Ραβδόγραμμα Συχνοτήτων Ποσοστιαίας Διαφοράς Θερμοκρασιών (IBP-20%)



Γράφημα 2.4.12 Ραβδόγραμμα Συχνοτήτων Ποσοστιαίας Διαφοράς Θερμοκρασιών (70%-FBP)

Από το παρακάτω γράφημα, παρατηρείται το ~80% των ποσοστιαίων απόλυτων διαφορών θερμοκρασίας είναι μικρότερο του 5,7%, το οποίο καθιστά αυτή την περιοχή αξιοποιήσιμη και η θερμοκρασία T(50%), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χαρακτηριστική τιμή της εν λόγω ιδιότητας.



Γράφημα 2.4.13 Ραβδόγραμμα Συχνοτήτων Ποσοστιαίας Διαφοράς Θερμοκρασιών (20-70%)

➢ Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας τη στατιστική ανάλυση της σύγκρισης των δύο διαφορετικών μεθόδων απόσταξης, εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

1. Το 80% των διαφορών θερμοκρασίας έχουν εύρος 0 – 14° C.
2. Το 90% των διαφορών θερμοκρασίας έχουν μέγιστη ποσοστιαία διαφορά 6,6%, λαμβάνοντας υπόψη όλη τη περιοχή απόσταξης, δηλαδή από το IBP έως FBP, του κάθε δείγματος.

Οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρούνται στα αρχικά και τελικά στάδια (IBP και FBP) απόσταξης, με τις θερμοκρασίες που αντιστοιχούν στο 50% της εξατμιζόμενης ποσότητας να διαφέρουν το πολύ κατά 14° C, το οποίο καθιστά αυτή τη παράμετρο ($T_{50\%}$), αξιοποιήσιμη.

Τόσο οι διαφορές αλλά και οι συγκλίσεις αποτελεσμάτων οφείλονται στη χημική και ποσοτική σύσταση των διαθέσιμων δειγμάτων καυσίμων ντήζελ, αλλά και στην ακρίβεια και ευαισθησία των συσκευών μέτρησης. Συνεπώς αυτά τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα των θερμοκρασιών απόσταξης, αποτελούν μία αρχική βάση δεδομένων, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω μελέτη, διερεύνησης αυτής της συμπεριφοράς.

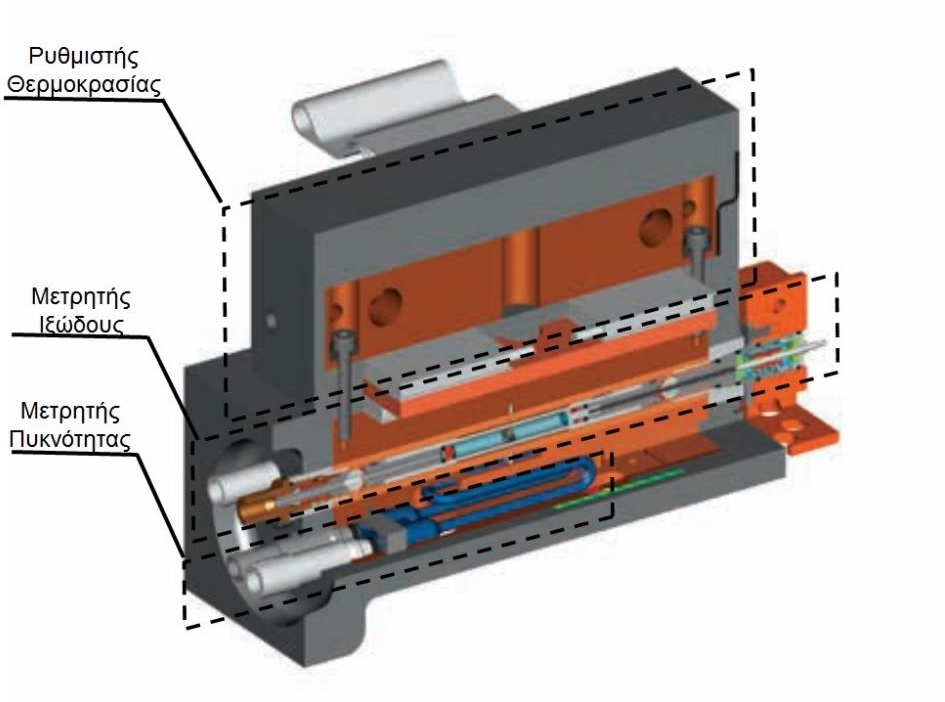
2.5. Μέτρηση Ιξώδους και Πυκνότητας Δειγμάτων Καυσίμων Ντήζελ

Το όργανο μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του κινηματικού και δυναμικού ιξώδους αλλά και της πυκνότητας των δειγμάτων καυσίμων είναι το ιξωδόμετρο SV3000, το οποίο είναι ένα περιστρεφόμενο ιξωδόμετρο, με κυκλική γεωμετρία (Εικ 2.5.1). Η λειτουργία του στηρίζεται σε ένα τυχαία περιστρεφόμενο εξωτερικό σωλήνα και ένα εσωτερικό περιστρεφόμενο βαρίδι. Η ακρίβεια των μετρήσεων στηρίζεται στις προδιαγραφές των μεθόδων ASTM-D7042 και της ισοδύναμης D445, για τον υπολογισμό του ιξώδους αλλά και της μεθόδου D2270, για τον υπολογισμό του δείκτη ιξώδους. Το εύρος των μετρούμενων Ιξώδους και πυκνότητας είναι από 0,2 έως 200.000 mPas και από 0,65 έως 3 g/cm^3. Το θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας του αναλυτή είναι από -56 έως 105° C. [29]

Εικόνα 2.5.1 Ιξωδόμετρο Stabinger SV3000 [29]

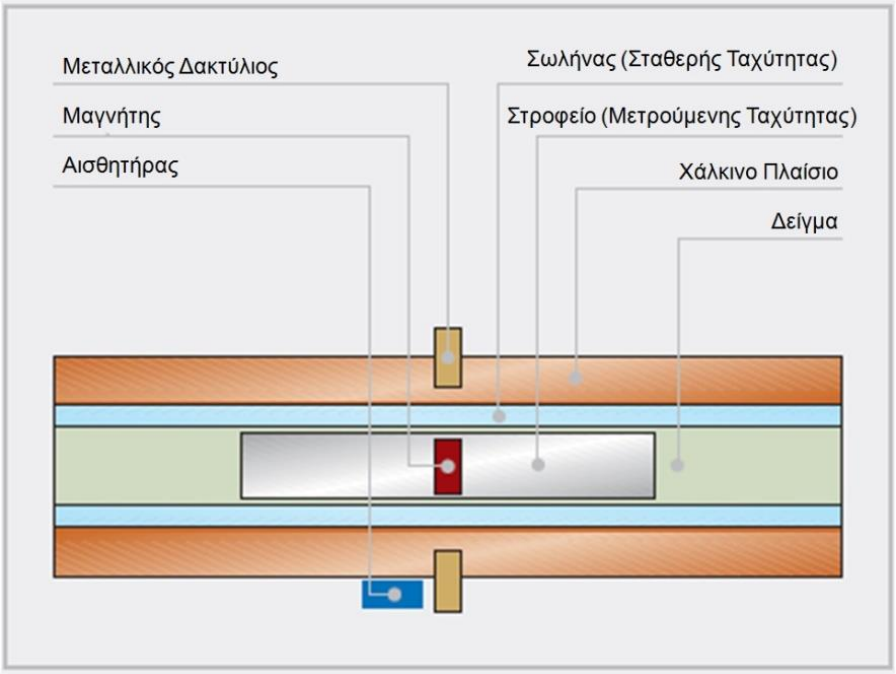
➢ Συνοπτική Περιγραφή Λειτουργίας Οργάνου

Η περιστροφική μέτρηση ιξώδους, βασίζεται σε μετρήσεις ταχύτητας και ροπής. Ένας περιστρεφόμενος μαγνήτης παράγει μία δίνη, με συγκεκριμένη ταχύτητα και ροπή, τα οποία μετρούνται με πολύ υψηλή ακρίβεια. Σε συνδυασμό με τα εγκατεστημένα ολοκληρωμένα θερμοηλεκτρικά θερμοστοιχεία, εξασφαλίζεται η υψηλότατη ακρίβεια στις οριζόμενες από το χειριστή θερμοκρασίες. (Εικ 2.5.2).



Εικόνα 2.5.2 Τομή ενός Ιξωδόμετρου SV3000 [29]

Μόλις ο σωλήνας στον οποίο εισάγεται το δείγμα γεμίσει, ένα στροφείο, το οποίο έχει ενσωματωμένο μαγνήτη, επιπλέει στο δείγμα, του οποίου η ταχύτητα περιστροφής μπορεί να μετρηθεί. Η μικρή πυκνότητα του στροφείου, επιτρέπει σε αυτό να είναι κεντραρισμένο, λόγω στροφορμής. Το στροφείο αφού επιπλέει, δεν χρειάζεται ρουλεμάν για την περιστροφή, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν τριβές, εξασφαλίζοντας μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις. (Εικ 2.5.3).



Εικόνα 2.5.3 Κελί Μέτρησης Ιξώδους Αναλυτή SV3000 [29]

Σε μικρό χρονικό διάστημα από την έναρξη της μέτρησης, το στροφείο φθάνει σε μία σταθερή ταχύτητα, η οποία χαρακτηρίζεται από την εξισορρόπηση των αντιστάσεων των δινορρευμάτων και των διατμητικών τάσεων, που επιδρούν στο δείγμα. Το δυναμικό ιξώδες υπολογίζεται από τη σταθερή ταχύτητα περιστροφής του στροφείου.

Ο αναλυτής SV3000, μετράει το Δυναμικό Ιξώδες (μ.μ. mPas) και την Πυκνότητα (μ.μ. g/cm^3) ενός ρευστού και συνεπώς έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει και το Κινηματικό Ιξώδες (μ.μ. mm^2/s). [29]

➢ Πειραματική Διαδικασία

Σε μία καινούρια και καθαρή σύριγγα εισάγεται ποσότητα περίπου 5 mL, του προς εξέταση ρευστού. Εισάγεται κατάλληλη ποσότητα δείγματος περίπου 2,5-3 mL, στην ειδική υποδοχή του οργάνου και μέσω της χρήσης του “Menu” του οργάνου, ρυθμίζεται η θερμοκρασία στην οποία θα πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις και πιέζεται το κομβίο με την ένδειξη “Start”, για την εκκίνηση της μέτρησης. Με την ολοκλήρωση της μέτρησης εμφανίζονται τα αποτελέσματα στην οθόνη του οργάνου (Εικ 2.5.4).

Εικόνα 2.5.4 Παράδειγμα Οθόνης Αποτελεσμάτων Μέτρησης Ιξώδους και Πυκνότητας Δείγματος Ρευστού

Σε περίπτωση που απαιτείται επανάληψη της μέτρησης στην ίδια θερμοκρασία ή σε διαφορετική, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ίδιο δείγμα, από τη σύριγγα, ενώ σε αντίθετη περίπτωση πρέπει να ακολουθηθεί η διαδικασία καθαρισμού του οργάνου με διαλύτη. Η αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και με την ολοκλήρωση των μετρήσεων.

➢ Πειραματικά Δεδομένα

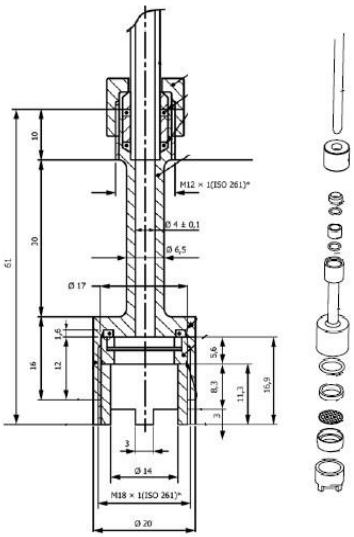
Τα πειραματικά δεδομένα των πυκνοτήτων και του ιξώδους με το εργαστηριακό ιξωδόμετρο SV-3000, παρουσιάζονται στους πίνακες του Παραρτήματος «Α».

2.6. Μέτρηση Σημείου Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου Δειγμάτων Καυσίμων Ντήζελ

Οι μετρήσεις του «Σημείου Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου» (Cold Filter Plugging Point – CFPP), των δειγμάτων καυσίμων ντήζελ, πραγματοποιήθηκαν με την εργαστηριακή διάταξη PFF5G (Εικ 2.6.1), η οποία είναι σχεδιασμένη και λειτουργεί με βάση τα πρότυπα που περιγράφονται στη μέθοδο ASTM-D6371.

Εικόνα 2.6.1 Εργαστηριακή Διάταξη Μέτρησης Σημείου Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου [30]

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η χρήση της διάταξης αυτής, επιτρέπει τον υπολογισμό του χρόνου που απαιτείται να διέλθει συγκεκριμένη ποσότητα δείγματος μέσα από το φίλτρο αυτής, το οποίο αποτελείται από συρματόπλεγμα ανοξείδωτου χάλυβα, με ονομαστική διάμετρο 45μm [22]. Με τη συνεχή και σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας παρατηρείται η αύξηση του εν λόγω χρόνου. Συνεπώς γίνεται κατανοητό ότι ένα από τα βασικότερα λειτουργικά μέρη του οργάνου αυτού είναι η διάταξη του φίλτρου (Εικ2.6.2).



Εικόνα 2.6.2 Διάταξη Φίλτρου Οργάνου Μέτρησης CFPP [22, 30]

➢ Πειραματική Διαδικασία

1. Αρχικά γίνεται έλεγχος θερμοκρασίας του λουτρού ψύξης, με βάση την ένδειξη στην οθόνη του οργάνου, η οποία πρέπει να είναι σύμφωνα με την αναφερόμενη από τον κατασκευαστή.
2. Εισάγεται το δείγμα προς εξέταση εντός του κατάλληλου δοχείου και σε αυτό τοποθετείται το καπάκι πάνω στο οποίο είναι προσαρμοσμένο το συγκρότημα του φίλτρου και ο μετρητής της θερμοκρασίας.
3. Εισάγονται τα στοιχεία της ταυτότητας του δείγματος
4. Εκκινείται η διαδικασία μέτρησης.
5. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας και υπολογισμού του CFPP, υπάρχει αυτόματη ειδοποίηση με ηχητικό σήματος και στην οθόνη του οργάνου υπάρχει η ένδειξη της θερμοκρασίας του CFPP, του εξεταζόμενου δείγματος.
6. Μετά την ολοκλήρωση της μέτρησης, το όργανο πρέπει να επανέλθει στην αρχική του θερμοκρασία και απαιτείται ο καθαρισμός του δοχείου του δείγματος και του συγκροτήματος του φίλτρου, ο οποίος γίνεται με τη χρήση επτανίου, και ενεργοποιώντας την αυτόματη διαδικασία πλυσίματος (Cleaning).
7. Μόλις ολοκληρωθεί και αυτή η διαδικασία το όργανο είναι έτοιμο για την επόμενη μέτρηση.

➢ Πειραματικά Δεδομένα

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των CFPP των εξεταζόμενων δειγμάτων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πιν 2.6.1)

Πίνακας 2.6.1 Αποτελέσματα Μετρήσεων Σημείου Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου (CFPP)

Α/Α Δείγματος	CFPP (C)	Α/Α Δείγματος	CFPP (C)
No 1	-28	**No 12**	-6
No 2	-25	**No 13**	-7
No 3	-10	**No 14**	-8
No 4	-7	**No 15**	-9
No 5	-6	**No 16**	-8
No 6	-6	**No 17**	+7
No 7	-8	**No 18**	-2
No 8	-6	**No 19**	-3
No 9	-10	**No 20**	-17
No 10	-6	**No 21**	-7
No 11	-4	**No 22**	-11

2.7. Συσχετισμός Ιδιοτήτων Δειγμάτων Καυσίμων ντήζελ

➢ Εισαγωγή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι ιδιότητες των καυσίμων ντήζελ, είναι αλληλοσυσχετιζόμενες, και στο σύνολο τους καθορίζουν τη συμπεριφορά του καυσίμου. Έτσι με αυτό τον τρόπο εισάγεται μία καινούργια παράμετρος, που περιγράφει την ποιότητα ανάφλεξης του καυσίμου, η οποία δεν υπολογίζεται από μέτρηση οργάνων, αλλά εκτιμάται από τις λοιπές ιδιότητές του. Η παράμετρος αυτή έχει καθιερωθεί να ονομάζεται Υπολογιζόμενος Δείκτης Κετανίου (Calculated Cetane Index – CCI) και έχουν γίνει πολλές μελέτες και δημοσιεύσεις άρθρων, αλλά και σύνταξη πρότυπων μεθόδων υπολογισμού του CCI (ASTM-D976,D4737). Ο CCI είναι ένα εργαλείο με το οποίο μπορεί να εκτιμηθεί ο CN, σε περίπτωση, που δεν υπάρχει διαθέσιμο όργανο μέτρησης που να προσδιορίζει τη συγκεκριμένη ιδιότητα. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι ο CCI, παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε καύσιμα χωρίς βελτιωτικά κετανίου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε καύσιμα απευθείας απόσταξης και καύσιμα υπολειμματικά με καταλυτική διάσπαση [26].

Οι κυριότερες παράμετροι που χρησιμοποιούν οι πρότυπες μέθοδοι υπολογισμού το CCI, είναι οι θερμοκρασίες ανάκτησης 10%,50%, 90%, οι οποίες προσδιορίζονται από τα δεδομένα απόσταξης και η πυκνότητα των καυσίμων στους 15° C [31, 26]. Άλλες παράμετροι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι το κινηματικό ιξώδες, η % περιεκτικότητα σε αρωματικά, κλπ.

➢ Εκτίμηση Προσδιοριζόμενος Δείκτης Κετανίου (Derived Cetane Index - DCI)

Λαμβάνοντας υπόψη την προαναφερόμενη σταθερότητα του οργάνου ελέγχου ανάφλεξης καυσίμων, στις μετρήσεις του DCN, των διαθέσιμων δειγμάτων, και χρησιμοποιώντας τα πειραματικά δεδομένα από τις μετρήσεις των λοιπών ιδιοτήτων, έχουν αναπαραχθεί εξισώσεις συσχετισμών ιδιοτήτων, έτσι ώστε να επιλεχθεί η καταλληλότερη εξίσωση, που θα παρουσιάζει τις μικρότερες αποκλίσεις των υπολογιζόμενων DCI, σε σχέση με τους μετρούμενους DCN. Για την επίτευξη αυτού του στόχου χρησιμοποιείται το λογισμικό ανάλυσης «Regression» του προγράμματος Excel.

Με τη χρήση αυτού του λογισμικού υπάρχει η δυνατότητα αναπαραγωγής μαθηματικών εξισώσεων χρησιμοποιώντας μία ή περισσότερες ανεξάρητες μεταβλητές. Η εξαγόμενη εξίσωση είναι της μορφής (Εξ 2.7.1):

$$Y = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \cdots + \alpha_n X_n + A \qquad \text{(Εξ 2.7.1)}$$

Στην οποία η μεταβλητή «Y» είναι η εξαρτημένη, οι «$X_{1,2,\ldots,n}$», είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές με τους αντίστοιχους συντελεστές τους, οι οποίοι εκφράζουν το μέγεθος της επιρροής τους στην ανεξάρτητη μεταβλητή και τέλος το «A» είναι η σταθερά της εξίσωσης αυτής.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση ως εξαρτημένη μεταβλητή «Y», ορίζεται ο μετρούμενος DCN και ως ανεξάρτητες μεταβλητές «X_i», οι λοιπές ιδιότητες των καυσίμων.

Τα δεδομένα που παρέχονται από τη χρήση του πακέτου ανάλυσης και τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, για την επιλογή μίας εξίσωσης ως κατάλληλη ή την απόρριψη της είναι τα παρακάτω:

- **R^2 (R-Square):** Δεδομένο το οποίο περιγράφει το κλάσμα κατά το οποίο η διακύμανση των σφαλμάτων είναι μικρότερη από τη διακύμανση της εξαρτημένης μεταβλητής και η επιθυμητή τιμή προσεγγίζει τη μονάδα.
- **Τυπικό Σφάλμα (Standard Error):** Δεδομένο το οποίο περιγράφει κατά πόσο ανακριβείς είναι τα αποτελέσματα, μέσω της εκτίμησης της τυπικής απόκλισης των ανεξάρτητων μεταβλητών, σε σχέση με την εξαρτημένη και είναι επιθυμητό να έχει όσο το δυνατό μικρότερη τιμή (μικρότερο της μονάδας).
- **Σημαντικότητα (Significance F):** Δεδομένο το οποίο περιγράφει αν υπάρχει σημαντική σχέση μεταξύ εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών και είναι επιθυμητό να έχει όσο το δυνατό μικρότερη τιμή.
- **Τιμή «P» (R-Value):** Δεδομένο το οποίο περιγράφει τη πιθανότητα ο αντίστοιχος συντελεστής να πάρει μία τιμή διαφορετική από αυτή που έχει υπολογιστεί και είναι επιθυμητό να έχει όσο το δυνατό μικρότερη τιμή.

➢ Συσχετισμός DCI – Ιδιοτήτων

1. DCI – Θερμοκρασίες Ποσοστών Απόσταξης (T(10, 50, 90%))

Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται ως ανεξάρτητες μεταβλητές οι θερμοκρασίες των χαρακτηριστικών ποσοστών απόσταξης δηλαδή 10,50,90%. Στον παρακάτω πίνακα (Πιν 2.7.1) παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά δεδομένα της παραγόμενης εξίσωσης και οι συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών

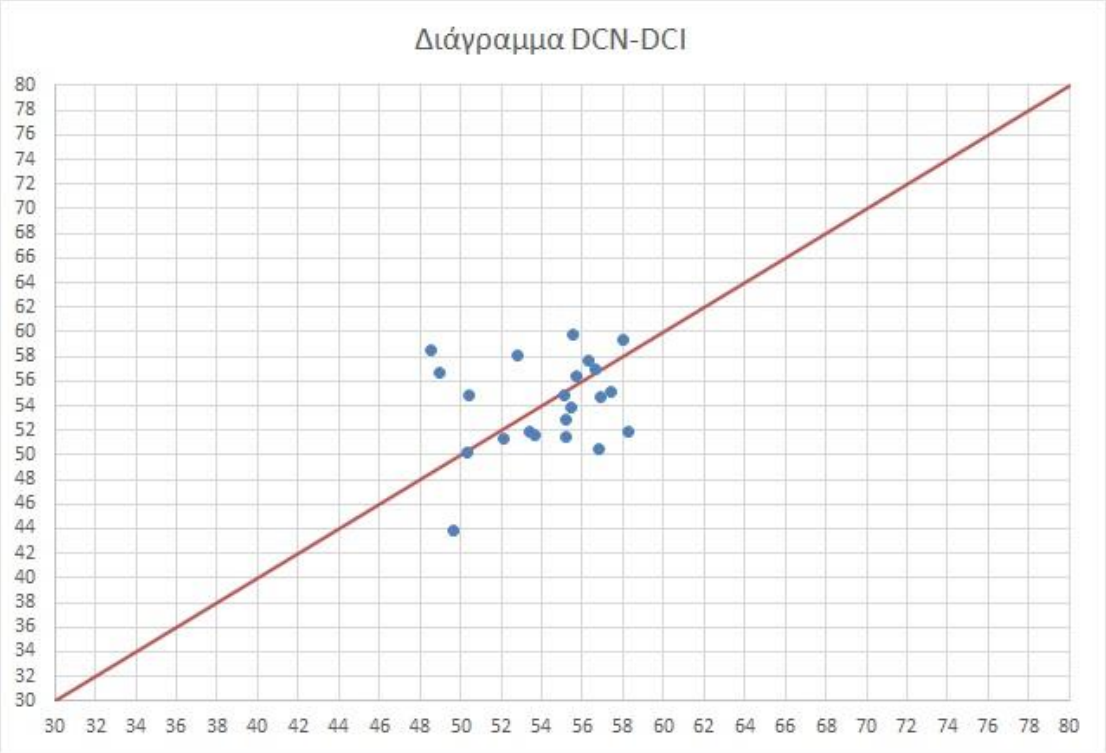
Πίνακας 2.7.1 Συσχέτιση CCI - T(10,50,90%)

Regression Statistics		Coefficients		P-value
R Square	0,646	Σταθερά	-3,1940	0,7709
Standard Error	2,407	T(10%)	0,0082	0,8741
Significance (F)	0,0003	T(50%)	0,0706	0,5357
Παρατηρήσεις	22	T(90%)	0,1081	0,1981

Συνεπώς η εξίσωση συσχέτισης έχει την εξής μορφή:

$$DCI = -3{,}194 + 0{,}0082T_{10} + 0{,}0706T_{50} + 0{,}1081T_{90} \qquad \text{(Εξ 2.7.2)}$$

Η εξίσωση αυτή απορρίπτεται διότι μπορεί η τιμή του «F», να είναι πολύ μικρή αλλά όλες οι υπόλοιπες τιμές των «R-Square», «Standard Error» και «P-Values», είναι πάρα πολύ μεγάλες. Επίσης διαπιστώνεται ότι μόνο οι θερμοκρασίες δε μπορούν να παράγουν ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται η σχετική θέση κάθε υπολογιζόμενο DCI, σε σχέση με το μετρούμενο DCN (Γρ 2.7.1).



Γράφημα 2.7.1 Διάγραμμα DCN – CCI (T10,50,90%)

➢ DCI – Θερμοκρασίες Ποσοστών Απόσταξης - Πυκνότητα

- **T(10, 50, 90%), ρ(15° C)**

Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται ως ανεξάρτητες μεταβλητές οι θερμοκρασίες των χαρακτηριστικών ποσοστών απόσταξης δηλαδή 10,50,90% και η πυκνότητα στους 15° C. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά δεδομένα της παραγόμενης εξίσωσης και οι συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών.

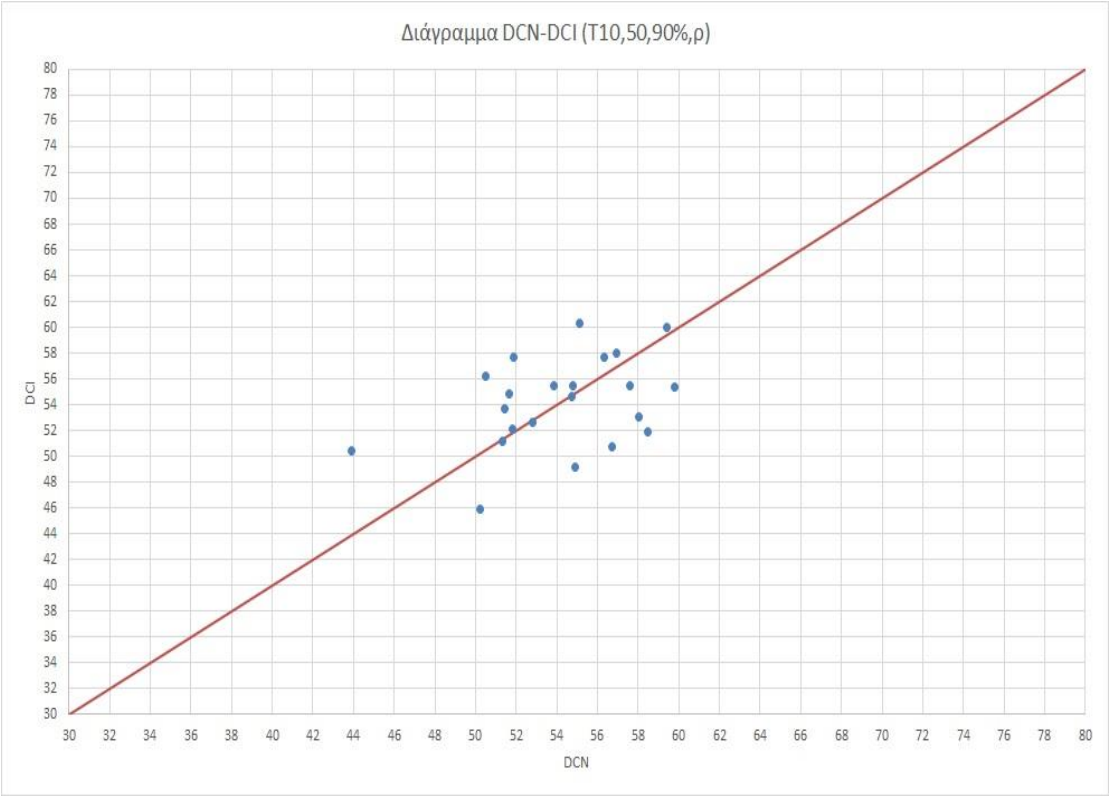
Πίνακας 2.7.2 Συσχέτιση DCI - T(10,50,90%),ρ

Regression Statistics		Coefficients		P-value
R Square	0,893	Σταθερά	292,9045	1,087E-05
Standard Error	1,363	ρ (gr/cm^3)	-357,3575	8,631E-06
		T(10%)	0,0183	0,5332
Significance (F)	4,86E-08	T(50%)	0,3032	0,0007
Παρατηρήσεις	22	T(90%)	-0,0842	0,1452

Συνεπώς η εξίσωση συσχέτισης έχει την εξής μορφή:

$$DCI = 292{,}9045 - 357{,}3575\rho + 0{,}0183T_{10} + 0{,}3032T_{50} - 0{,}0842T_{90} \qquad \text{(Εξ 2.7.3)}$$

Η εξίσωση αυτή απορρίπτεται διότι μπορεί η τιμή του «F», να είναι πολύ μικρή, το «R-Square» να προσεγγίζει τη μονάδα, αλλά το «Standard Error» παραμένει μεγάλο, και οι τιμές των «P-Values», των θερμοκρασιών είναι μεγάλες. Επίσης διαπιστώνεται ότι η χρήση της πυκνότητας ως μία ακόμη ανεξάρτητη μεταβλητή βοηθάει στη δημιουργία συσχετισμού. Ακόμη παρατηρείται ότι η θερμοκρασία του ποσοστού 50% έχει αξιοποιήσιμο «P-Value». Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται η σχετική θέση κάθε υπολογιζόμενο DCI, σε σχέση με το μετρούμενο DCN.



Γράφημα 2.7.2 Διάγραμμα DCN – DCI (T10,50,90%, ρ)

- **T(50%) ρ(15° C)**

Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται ως ανεξάρτητες μεταβλητές μόνο η θερμοκρασία του ποσοστού απόσταξης 50% και η πυκνότητα στους 15° C. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά δεδομένα της παραγόμενης εξίσωσης και οι συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών.

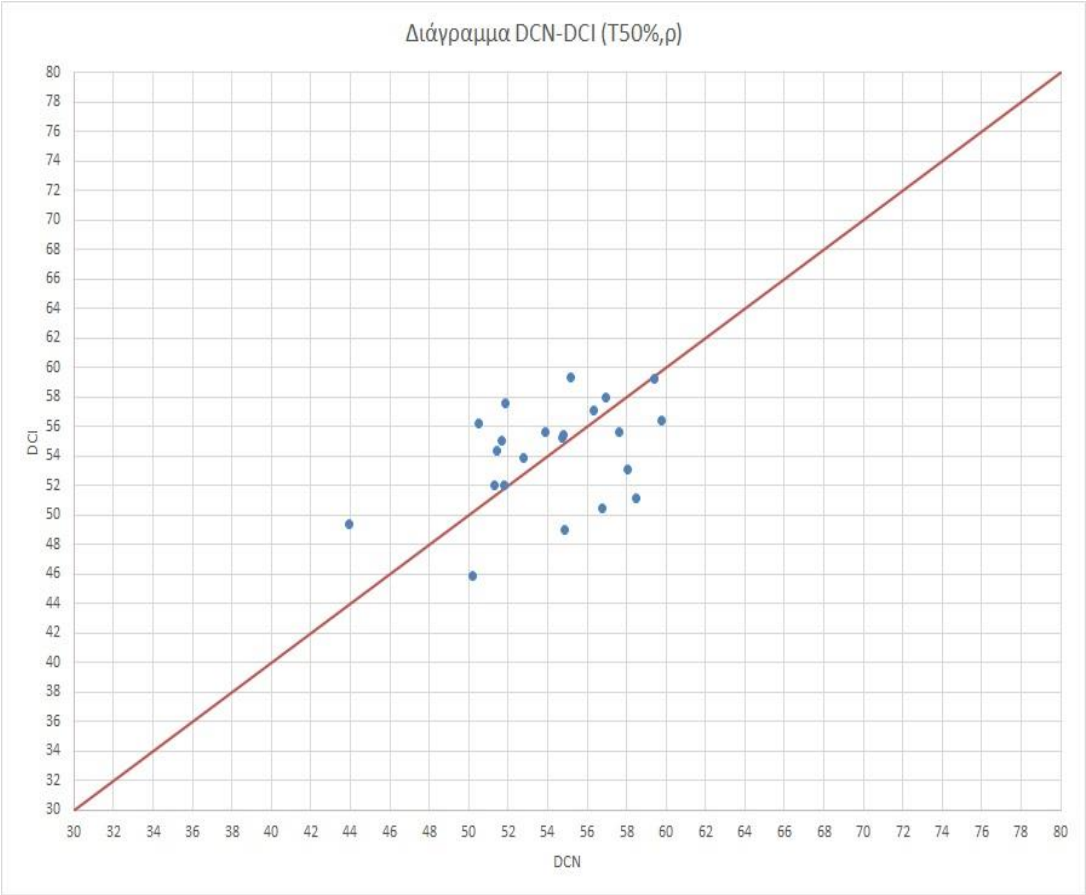
Πίνακας 2.7.3 Συσχέτιση DCI - T(50%),ρ

Regression Statistics		Coefficients		P-value
R Square	0,865	Σταθερά	225,7325	5,671E-06
Standard Error	1,445	ρ (gr/cm^3)	-282,0867	7,211E-06
Significance (F)	5,34E-09	T(50%)	0,2307	1,2E-09

Συνεπώς η εξίσωση συσχέτισης έχει την εξής μορφή:

$$DCI = 225{,}7325 - 282{,}0867\rho + 0{,}2307T_{50} \qquad \text{(Εξ 2.7.4)}$$

Η εξίσωση αυτή δεν δίνει αποδεκτά αποτελέσματα διότι μπορεί η τιμή του «F» να είναι πολύ μικρή και το «R-Square» να προσεγγίζει τη μονάδα, αλλά το «Standard Error» είναι μεγάλο παρά το ότι όλες οι τιμές των «P-Values», είναι πάρα πολύ μικρές. Άρα διαπιστώνεται ότι η χρήση της πυκνότητας και της T(50%) ως ανεξάρτητες μεταβλητές βοηθούν στη δημιουργία συσχετισμού. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται η σχετική θέση κάθε υπολογιζόμενου DCI, σε σχέση με το μετρούμενο DCN (Γρ 2.7.3).



Γράφημα 2.7.3 Διάγραμμα DCN – DCI (T50, ρ)

- **T_m, ρ(15° C)**

Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται ως ανεξάρτητες μεταβλητές ο μέσος όρος θερμοκρασιών των ποσοστών απόσταξης 10,50,90% και η πυκνότητα στους 15° C, έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν η επίδραση και των άλλων θερμοκρασιών μπορεί να αξιοποιηθεί. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά δεδομένα της παραγόμενης εξίσωσης και οι συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών.

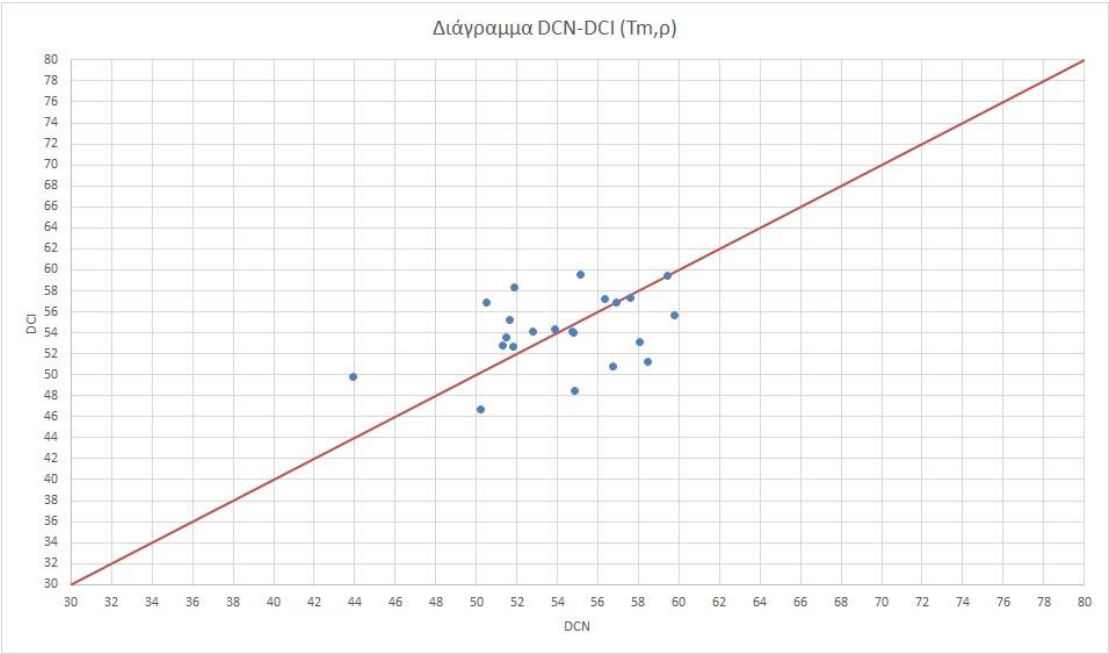
Πίνακας 2.7.4 Συσχέτιση DCI – Tm, ρ

Regression Statistics		Coefficients		P-value
R Square	0,832	Σταθερά	215,3115	3,664E-05
Standard Error	1,612	ρ (gr/cm^3)	-270,0964	4,322E-05
Significance (F)	4,254E-08	T(50%)	0,2311	9,732E-09

Συνεπώς η εξίσωση συσχέτισης έχει την εξής μορφή:

$$DCI = 215{,}3115 - 270{,}0964\rho + 0{,}2311T_m \qquad \text{(Εξ 2.7.5)}$$

Η εξίσωση αυτή δίνει αποδεκτά αποτελέσματα, ως προς τις P-Values των συντελεστών, όμως οι τιμές των «F» και «Standard Error» αυξήθηκαν και το «R-Square» απομακρύνθηκε από τη μονάδα. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται η σχετική θέση κάθε υπολογιζόμενου DCI, σε σχέση με το μετρούμενο DCN (Γραφ 2.7.4).



Γράφημα 2.7.4 Διάγραμμα DCN – DCI (Tm, ρ)

➢ DCI – Θερμοκρασία T(10,50,90%) – Πυκνότητα – Κινηματικό Ιξώδες

• T(10,50,90%),ρ,ν

Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται ως ανεξάρτητες μεταβλητές οι θερμοκρασίες των χαρακτηριστικών ποσοστών απόσταξης 10,50 και 90%, η πυκνότητα στους 15ºC και το κινηματικό ιξώδες μετρημένο στους 40ºC. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά δεδομένα της παραγόμενης εξίσωσης και οι συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών.

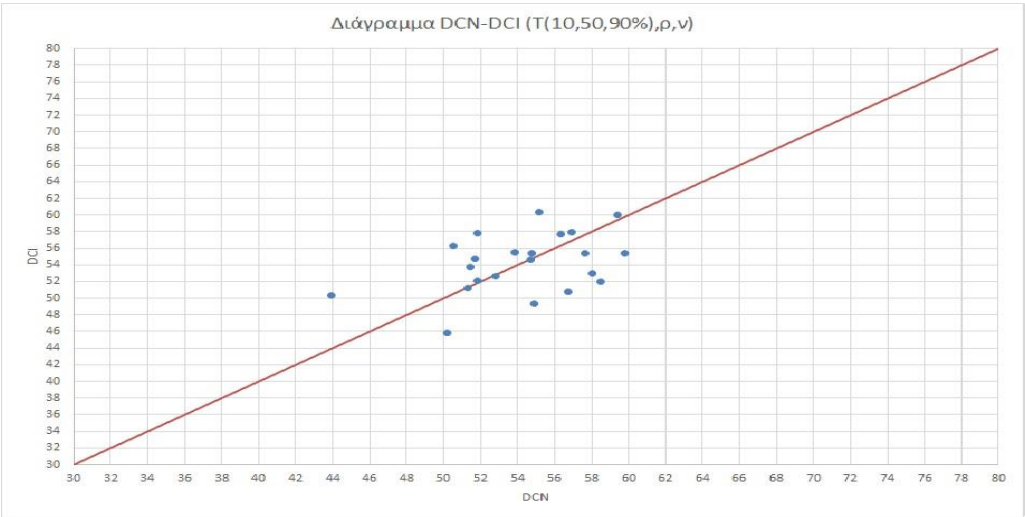
Πίνακας 2.7.5 Συσχέτιση DCI - T(10,50,90%),ρ,ν

Regression Statistics		Coefficients		P-value
R Square	0,8931	Σταθερά	293,1740	1,966E-05
Standard Error	1,402	ρ (15ºC)	-354,9032	2,193E-05
Significance (F)	3,806E-17	T(10%)	0,3814	0,8444
		T(50%)	0,0141	0,7062
		T(90%)	0,2906	0,0094
		ν (40º)	-0,0815	0,1818

Συνεπώς η εξίσωση συσχέτισης έχει την εξής μορφή:

$$DCI = 293{,}174 - 354{,}9032\rho + 0{,}3814T_{10} + 0{,}0141T_{50} + 0{,}2906T_{90} - 0{,}0815\nu \quad \text{(Εξ.2.7.6)}$$

Η εξίσωση αυτή δε δίνει αποδεκτά αποτελέσματα διότι μόνο η τιμή του «F» είναι πολύ μικρή, και τα P-Values των συντελεστών της σταθεράς και της πυκνότητας, ενώ όλες άλλες κρίσιμες παράμετροι δεν παρουσιάζουν ικανοποιητικές τιμές. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται η σχετική θέση κάθε υπολογιζόμενου DCI, σε σχέση με το μετρούμενο DCN (Γραφ 2.7.5).



Γράφημα 2.7.5 Διάγραμμα DCN – DCI (T10,50,90%, ρ, ν)

- **T(10,50,90%),** $\frac{1}{\rho^2}$, ν^2, $(\frac{1}{\nu^2}\rho)$

Γνωρίζοντας ότι όσο μικρότερο είναι το ιξώδες, τόσο καλύτερη είναι η διασπορά των σωματιδίων από τον εγχυτήρα καυσίμου, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται καλύτερα αποτελέσματα στη ποιότητα ανάφλεξης, έγιναν δοκιμές με τη χρήση διάφορων μορφών συνδυασμού δυνάμεων της πυκνότητας και του κινηματικού ιξώδους όπως διακρίνεται στο παρακάτω πίνακα.

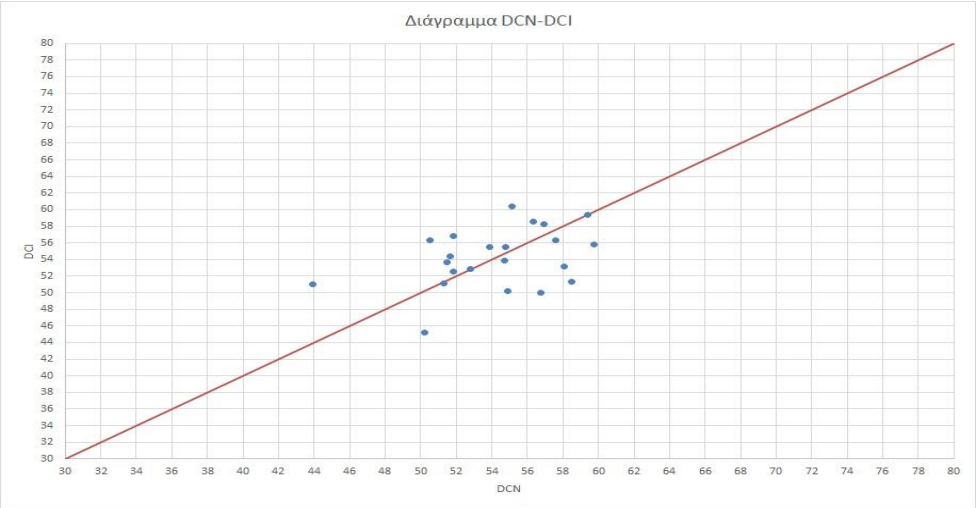
Πίνακας 2.7.6 Συσχέτιση DCI - T(10,50,90%),ρ,ν

Regression Statistics		Coefficients		P-value
R Square	0,914	Σταθερά	-158,2985	0,000135455
Standard Error	1,29	T(10%)	0,0343	0,349476368
Significance (F)	3,438E-07	T(50%)	0,2434	0,020050311
		T(90%)	-0,0960	0,097604744
		$1/\rho^2$	124,1033	1,15842E-05
		ν^2	-0,3086	0,284146662
		$(1/\nu^2)\rho^2$	-65,1507	0,055967461

Συνεπώς η εξίσωση συσχέτισης έχει την εξής μορφή:

$$DCI = -158{,}2985 + 0{,}0343T_{10} + 0{,}2434T_{50} - 0{,}096T_{90} + 124{,}1033\frac{1}{\rho^2} - 0{,}3086\nu^2 - 65{,}1507\frac{1}{\nu^2}\rho^2 \quad \text{(Εξ 2.7.7)}$$

Η εξίσωση αυτή δε δίνει αποδεκτά αποτελέσματα διότι μπορεί η τιμή του «F», να παραμένει μικρή και το «R», να προσεγγίζει τη μονάδα, αλλά όλες οι άλλες κρίσιμες παράμετροι δεν είναι ικανοποιητικές. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται η σχετική θέση κάθε υπολογιζόμενου DCI, σε σχέση με το μετρούμενο DCN (Γραφ2.7.6).



Γράφημα 2.7.6 Διάγραμμα DCN – DCI (T10,50,90%, ρ, ν)

- **T(10,50,90%),** $\frac{1}{\nu^2}$, ρ^2, $(\frac{1}{\rho^2}\nu^2)$

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούνται οι ιδιότητες που θα χρησιμοποιηθούν με συνδυασμούς και δυνάμεις αυτών, οι χαρακτηριστικές τιμές αυτής της συσχέτισης είναι αυτές που παρατηρούνται στο παρακάτω πίνακα

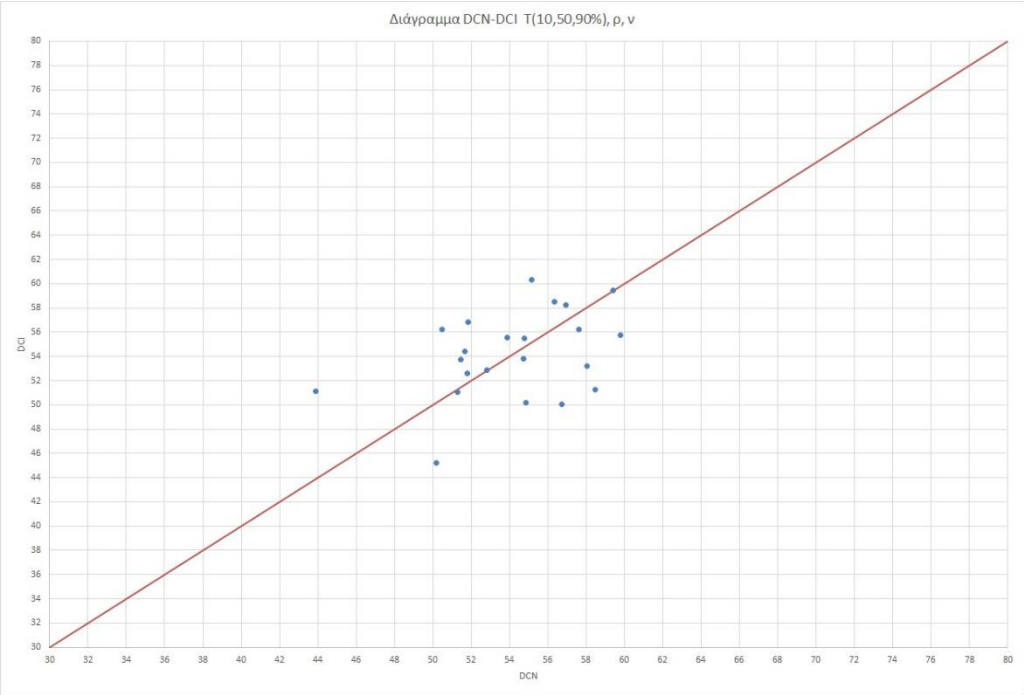
Πίνακας 2.7.7 Συσχέτιση DCI - T(10,50,90%),ρ,ν και δυνάμεων αυτών

Regression Statistics		Coefficients		P-value
R Square	0,9156	Σταθερά	203,233	8,83998E-05
Standard Error	1,288	T(10%)	0,0341	0,3514
Significance (F)	3,076E-07	T(50%)	0,2496	0,01702
		T(90%)	-0,0962	0,0947
		ρ^2	-266,707	1,77895E-05
		$1/\nu^2$	-39,8356	0,0727
		$(1/\rho^2)\nu^2$	-0,1973	0,3211

Συνεπώς η εξίσωση συσχέτισης έχει την εξής μορφή:

$$DCI = 203{,}233 + 0{,}0341T_{10} + 0{,}2496T_{50} - 0{,}0962T_{90} - 266{,}707\frac{1}{\nu^2} - 39{,}8356\nu^2 - 0{,}1973\frac{1}{\rho^2}\nu^2 \quad \text{(Εξ 2.7.8)}$$

Η παραπάνω εξίσωση δε μπορεί να γίνει αποδεκτή λόγω αύξησης της τιμής του Standard Error και τις μεγάλες τιμές των P-Values, όλων των ανεξάρτητων μεταβλητών πλην του ρ^2. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται η σχετική θέση κάθε υπολογιζόμενου DCI, σε σχέση με το μετρούμενο DCN (Γραφ 2.7.7).



Γράφημα 2.7.7 Διάγραμμα DCN – DCI T(10,50,90%), ρ, ν και δυνάμεων αυτών

- **T_m, T(10,50,90%), $\frac{1}{\rho^2}$, ($\frac{1}{\nu^2}$, ρ^2)**

Στον παρακάτω πίνακα θα χρησιμοποιηθούν συνδυασμοί ιδιοτήτων και δυνάμεις αυτών, οι χαρακτηριστικές τιμές αυτής της συσχέτισης είναι αυτές που παρατηρούνται στο παρακάτω πίνακα

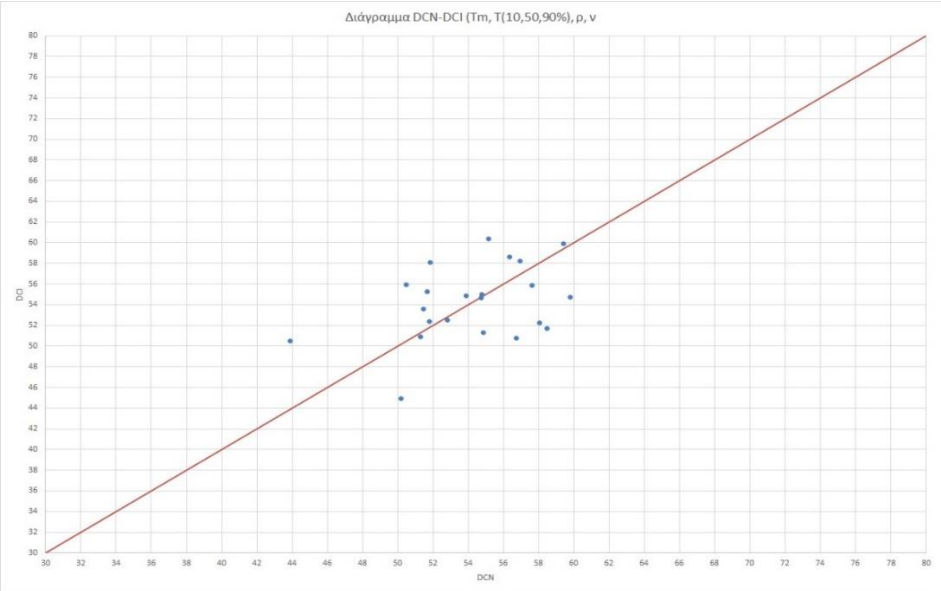
Πίνακας 2.7.8 Συσχέτιση DCI Tm, T(10,50,90%), ρ, ν και δυνάμεων αυτών

Regression Statistics		Coefficients		P-value
R Square	0,9413	Σταθερά	-119,768	2,23187E-06
Standard Error	1,008	$T(50\%)^2$	0,0004	0,0005
Significance (F)	3,051E-10	$\frac{(T_{10}^2 - T_{90}^2)}{T_m^2}$	3,5727	0,074
		$1/\rho^2$	99,1436	1,5469E-06
		$(1/\nu^2)\rho^2$	4,1047	0,8879

Συνεπώς η εξίσωση συσχέτισης έχει την εξής μορφή:

$$DCI = -119{,}768 + 0{,}0004T_{50}^2 + 3{,}5727\frac{T_{10}^2 - T_{90}^2}{T_m^2} + 99{,}1436\rho^2 + 4{,}1047\frac{1}{\nu^2}\rho^2 \qquad \text{(Εξ.2.7.9)}$$

Η εξίσωση αυτή δίνει αποδεκτά αποτελέσματα διότι η τιμή του «F», είναι μικρή, το «R» να προσεγγίζει τη μονάδα, και το SD έχει μειωθεί, αλλά οι τιμές των P-Values είναι μεγάλες πλην της σταθεράς και του $1/\rho^2$. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται η σχετική θέση κάθε υπολογιζόμενου DCI, σε σχέση με το μετρούμενο DCN (Γραφ 2.7.8).



Γράφημα 2.7.8 Διάγραμμα DCN – DCI Tm, T(10,50,90%), ρ, ν και δυνάμεων αυτών

- **T_m, T(10,50,90%), $\frac{1}{\rho^2}$**

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συσχέτισης των ανεξάρτητων μεταβλητών T_m, T(10,50,90%), $\frac{1}{\rho^2}$.

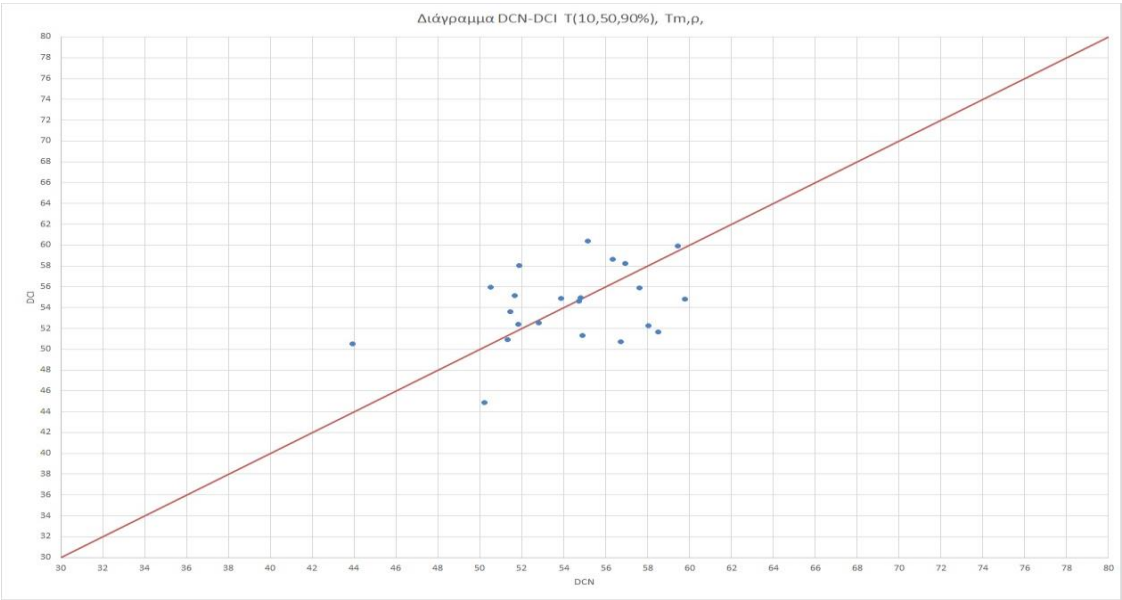
Πίνακας 2.7.9 Συσχέτιση DCI Tm, T(10,50,90%), ρ και δυνάμεων αυτών

Regression Statistics		Coefficients		P-value
R Square	0,9413	Σταθερά	-119,7842	1,112E-06
Standard Error	0,98	$T(50\%)^2$	0,0004	1,878E-12
Significance (F)	2,845E-10	$\frac{(T_{10}^2 - T_{90}^2)}{T_m^2}$	3,5936	0,0632
		$1/\rho^2$	100,1611	7,28E-08

Συνεπώς η εξίσωση συσχέτισης έχει την εξής μορφή:

$$DCI = -119{,}7842 + 0{,}0004T_{50}^2 + 3{,}5936\frac{T_{10}^2 - T_{90}^2}{T_m^2} + 100{,}161\rho^2 \qquad \text{(Εξ 2.7.10)}$$

Η παραπάνω εξίσωση αποτελεί μία καλή προσέγγιση συσχετίσεων, διότι παρατηρείται ότι από τη στιγμή που δε χρησιμοποιείται το κινηματικό ιξώδες, το R^2 προσέγγισε τη μονάδα, το Standard Error μειώθηκε αισθητά, και η τιμή «F» παραμένει σε πολύ χαμηλές τιμές. Οι τιμές των «P-Values», είναι πολύ μικρές εκτός αυτής που αναφέρεται στο συνδυασμό των θερμοκρασιών, η οποία όμως είναι και αυτή σχετικά μικρή. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται η σχετική θέση κάθε υπολογιζόμενου DCI, σε σχέση με το μετρούμενο DCN (Γραφ 2.7.9).



Γράφημα 2.7.9 Διάγραμμα DCN – DCI (Tm, T10,50,90%, ρ)

- **Συμπεράσματα**

Από τις παραπάνω προσπάθειες συσχετίσεων ιδιοτήτων παρατηρείται ότι δεν είναι εύκολα εφικτό η πραγματοποίηση μιας τέτοιας συσχέτισης, με τη χρήση μικρού αριθμού αντιπροσωπευτικών δειγμάτων. Αυτό το συμπέρασμα μπορεί να εξαχθεί και από τα γραφήματα των συσχετίσεων, στα οποία δεν παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές στη σχετική θέση των σημείων (DCN-DCI), παρά τις διακυμάνσεις στις τιμές του R^2, του τυπικού σφάλματος, της σημαντικότητας και των τιμών «P», των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Επίσης στη συσχέτιση των ιδιοτήτων των καυσίμων, έχει χρησιμοποιηθεί και η περιεκτικότητα σε πολυαρωματικά (δι – τριαρωματικά), χωρίς όμως να εξάγονται αξιόπιστα αποτελέσματα για τη συγκεκριμένη ιδιότητα, διότι όπως έχει αναφερθεί η ύπαρξη των αρωματικών δακτυλίων από μόνη της δε μπορεί να αποτελέσει ενδεικτική ανεξάρτητη μεταβλητή η οποία θα μπορεί να χαρακτηρίζει τη συμπεριφορά του καυσίμου ως προς τη ποιότητα ανάφλεξης. Για αυτό το λόγο πιο συχνή είναι χρήση του σημείου ανιλίνης στις εμπειρικές μαθηματικές εξισώσεις, που συσχετίζουν τις ιδιότητες των καυσίμων με τους υπολογιζόμενους δείκτες κετανίου.

Επιπρόσθετα η χρήση του σημείου απόφραξης ψυχρού φίλτρου, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μία ιδιότητα που θα περιγράφει τη συμπεριφορά στη ποιότητα ανάφλεξης, διότι επηρεάζεται σημαντικά από τα τυχόν πρόσθετα που χρησιμοποιούνται στα καύσιμα ντήζελ, για να επιτευχθούν οι επιθυμητές προδιαγραφές των καυσίμων αυτών.

Κεφάλαιο 3

3. Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας την διπλωματική αυτή εργασία που αφορούσε στην μελέτη της ποιότητας ανάφλεξης και άλλων φυσικοχημικών ιδιοτήτων καυσίμων ντήζελ και συγκεκριμένα δειγμάτων gasoil, χαμηλού θείου, μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

Ο αριθμός κετανίου ως μέτρο της ποιότητας ανάφλεξης των καυσίμων ντήζελ, αποτελεί μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες των καυσίμων αυτών και ειδικά όσων χρησιμοποιούνται στη αυτοκινητοβιομηχανία. Η ιδιότητα αυτή είναι αλληλένδετη τόσο με τη χημική σύσταση και τη περιεκτικότητα στα συστατικά του καυσίμου, αλλά και με τις υπόλοιπες φυσικοχημικές ιδιότητες, που συνθέτουν στο σύνολό τους το γενικό προφίλ της ποιότητας ανάφλεξης ενός καυσίμου.

Η ιδιότητα αυτή είναι συνυφασμένη τόσο με την σωστή αλλά και με την οικονομική λειτουργία των κινητήρων ντήζελ και οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις και η θέσπιση προδιαγραφών, που αφορούν στον έλεγχο της ποιότητας ανάφλεξης, οδηγούν στην τεχνολογική εξέλιξη αυτοματοποιημένων συσκευών μέτρησης του αριθμού κετανίου με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Απλό σχεδιασμό
- Εύκολος χειρισμός
- Ευκολία βαθμονόμησης
- Οικονομικές ως προς τη λειτουργία και τη συντήρησή τους
- Μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις
- Μικρή κατανάλωση καυσίμων που εξετάζονται
- Μικρός χρόνος ολοκλήρωσης μέτρησης
- Υπολογισμός αποτελεσμάτων βασιζόμενα σε απλές μαθηματικές εξισώσεις

Μία από τις συσκευές προσδιορισμού του αριθμού κετανίου είναι η συσκευή «Ελέγχου Ποιότητας Ανάφλεξης» (FIT), και η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του αριθμού κετανίου των διαθέσιμων δειγμάτων καυσίμων. Η εν λόγω συσκευή είναι σχεδιασμένη και λειτουργεί με βάση τη πρότυπη μέθοδο ASTM-D7170. Χρησιμοποιώντας το καθορισμένο από τη μέθοδο μέτρο επαναληψιμότητας, τα αποτέλεσμα των μετρήσεων της συσκευή αυτής να χαρακτηρίζονται από υψηλή ακρίβεια και σταθερότητα. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται με το γεγονός ότι μετρήθηκαν δείγματα παλαιοτέρων ετών και τα αποτελέσματά τους δε παρουσίασαν διακυμάνσεις. Επίσης έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με τον υπολογιζόμενο δείκτη κετανίου, προσθέτοντας μία ακόμη επιβεβαίωση στην υπόθεση ακρίβειας και σταθερότητας της συσκευής, βασιζόμενοι και στο μέτρο αναπαραγωγισιμότητας μεταξύ των πρότυπων μεθόδων προσδιορισμού του αριθμού κετανίου. Επιπρόσθετα ελέγχθηκε η διακύμανση των αποτελεσμάτων,

διαπιστώνοντας τη σταθερότητα που παρουσιάζει η διακύμανση αυτή, χωρίς όμως να επηρεάζει την ακρίβεια των εξαγόμενων αποτελεσμάτων.

Διαθέτοντας ένα ικανοποιητικό πλήθος δεδομένων θερμοκρασιών απόσταξης των διαθέσιμων δειγμάτων καυσίμων, από την εργαστηριακή διάταξη απόσταξης μειωμένου μεγέθους του εργαστηρίου των καυσίμων της Σχολής και την συσκευή απόσταξης πλήρης κλίμακας του εργαστηρίου των ΕΛ.ΠΕ., δίνεται η δυνατότητα να συγκριθούν οι δύο αυτές συσκευές ως προς τη σύγκλιση των αποτελεσμάτων τους. Η σύγκριση γίνεται με βάση τα δεδομένα των θερμοκρασιών, τα οποία σχηματίζουν την χαρακτηριστική καμπύλη απόσταξης του κάθε καύσιμου.

Συγκρίνοντας τα δεδομένα αυτά παρατηρούνται οι περιοχές ποσοστών απόσταξης στις οποίες τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις και διακυμάνσεις, αλλά και αυτές στις οποίες συγκλίνουν. Συγκεκριμένα οι μεγαλύτερες αποκλίσεις παρατηρούνται στα αρχικά και τελικά ποσοστά απόσταξης, ενώ στα αντίστοιχα μεσαία, παρατηρείται σύγκλιση αυτών, προσφέροντας έτσι την δυνατότητα χρήσης των δεδομένων των περιοχών που συγκλίνουν, σε επόμενες μελέτες, κρίνοντας αυτά ως αξιόπιστα.

Τόσο οι διαφορές αλλά και οι συγκλίσεις αποτελεσμάτων οφείλονται στη χημική και ποσοτική σύσταση των διαθέσιμων δειγμάτων καυσίμων ντήζελ, αλλά και στην ακρίβεια και ευαισθησία των συσκευών μέτρησης. Συνεπώς αυτά τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα των θερμοκρασιών απόσταξης, αποτελούν μία αρχική βάση δεδομένων, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω μελέτη, διερεύνησης αυτής της συμπεριφοράς.

Βασιζόμενοι στον τρόπο που αλληλοεπιδρούν οι διάφορες ιδιότητες στην ποιότητα ανάφλεξης καυσίμου και χρησιμοποιώντας όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, με τη χρήση λογισμικού ανάλυσης δεδομένων, παρήχθησαν μαθηματικές εξισώσεις οι οποίες περιγράφουν τη συσχέτιση των ιδιοτήτων αυτών. Σκοπός αυτής της μελέτης ήταν η εύρεση μίας ακόμη εμπειρικής σχέσης, η οποία θα μπορεί να υπολογίζει τον αριθμό κετανίου, χρησιμοποιώντας δεδομένα άλλων ιδιοτήτων.

Ο μικρός αριθμός των διαθέσιμων δειγμάτων καυσίμων ντηζελ, δε κρίθηκε ικανός ώστε να παραχθούν εμπειρικές μαθηματικές σχέσεις με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αντίθετα όμως διαπιστώθηκε ποιες φυσικές ιδιότητες συνεισφέρουν θετικά στην εύρεση μίας επιθυμητής συσχέτισης, όπως οι θερμοκρασίες των χαρακτηριστικών ποσοστών απόσταξης 10,50 και 90%, καθώς και η πυκνότητα, ενώ η χρήση του κινηματικού ιξώδους και η περιεκτικότητα των αρωματικών δεν επέφεραν επιθυμητά αποτελέσματα. Οι καταγεγραμμένες σε αυτή την εργασία συσχετίσεις μπορούν να αποτελέσουν ένα μέρος μίας βάσης δεδομένων, με απώτερο σκοπό την εύρεση μίας ακόμη εμπειρικής σχέσης που θα περιγράφει την αλληλεπίδραση των ιδιοτήτων των καυσίμων ντήζελ στην ποιότητα ανάφλεξής τους.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Α»

Πίνακες Πειραματικών Δεδομένων Ιδιοτήτων Καυσίμων Ντήζελ

Πίνακας Α.1 Πειραματικά Δεδομένα Ιδιοτήτων Καυσίμων Ντήζελ 1/6

		No1	No2	No3	No4
Απόσταξη		**Check High**	**Check Low**	**S-101 H/C BEE**	**S-100/U-100**
% Απόσταξης		**T (C)**	**T (C)**	**T (C)**	**T (C)**
IBP		198,8	182,7	210,0	157,5
5%		209,9	195,1	226,7	179,1
10%		218,7	211,0	242,7	184,2
15%		226,2	216,5	251,5	190,0
20%		231,5	225,7	256,4	196,4
25%		237,8	230,5	261,5	203,9
30%		242,4	236,3	266,5	213,1
35%		246,8	241,5	271,2	221,6
40%		251,9	247,3	276,5	230,0
45%		255,6	251,5	282,7	240,2
50%		259,7	256,3	289,3	249,7
55%		263,5	261,3	297,6	259,5
60%		267,3	265,7	305,3	267,8
65%		270,3	270,5	313,1	277,5
70%		276,8	275,4	321,9	286,0
75%		281,7	281,9	332,6	295,5
80%		287,4	287,0	342,5	304,0
85%		295,2	295,7	352,8	316,3
90%		303,8	301,8	366,5	329,8
95%		317,7	315,2	380,2	347,3
FBP		324,5	322,7	388,9	353,2
Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου					
CFPP	**(C)**	-28	-25	-10	-7
Πυκνότητα					
Density (g/cm3)	**15 °C**	0,8340	0,8491	0,8365	0,8224
	40 °C	0,8164	0,8313	0,8194	0,8048
Ιξώδες					
Dynamic (mPa*s)	**15 °C**	3,5510	3,6542	5,9459	3,0554
	40 °C	2,0319	2,0805	3,0440	1,8116
Kinetic (mm^2/s)	**15 °C**	4,2579	4,3034	7,1077	3,7150
	40 °C	2,4889	2,5028	3,7148	2,2511
Υστέρηση Ανάφλεξης					
ID	**(ms)**	3,33	3,94	3,03	3,29
		3,29	3,96	3,01	3,33
		3,30	3,97	3,02	3,40
		3,28	3,97	3,07	3,32
Παραγόμενος Αριθμός Κετανίου					
DCN		51,36	43,42	56,52	52,00
		51,98	43,17	56,58	51,36
		51,77	43,07	56,60	50,34
		52,15	43,08	55,64	51,51

Πίνακας Α.2 Πειραματικά Δεδομένα Ιδιοτήτων Καυσίμων Ντήζελ 2/6

		No5	No6	No7	No8
Απόσταξη		**779 20-08-2014**	**FV 327 03/2015**	**S-100 29-04-2015**	**S-101 29-04-2015**
%Απόσταξης		T (C)	T (C)	T (C)	T (C)
IBP		171,2	164,3	199,6	213,9
5%		188,3	181,5	212,9	232,3
10%		195,6	192,8	224,5	248,8
15%		216,1	206,4	233,2	257,3
20%		225,1	214,9	242,8	263,3
25%		236,1	226,5	248,3	269,6
30%		247,8	233,5	254,0	273,7
35%		256,6	242,3	258,5	279,2
40%		263,3	250,6	263,6	284,9
45%		270,8	258,2	268,6	292,1
50%		279,4	266,2	274,6	299,9
55%		286,9	273,6	278,4	307,2
60%		293,9	279,2	285,2	316,7
65%		302,4	287,1	292,1	324,4
70%		308,9	295,1	296,8	333,2
75%		317,9	304,1	304,7	345,8
80%		326,6	313,9	314,7	355,8
85%		335,8	325,5	323,0	367,4
90%		349,8	336,7	335,0	381,9
95%		366,1	353,5	347,1	397,8
FBP		372,0	359,2	356,6	404,5
		Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου			
CFPP	**(C)**	-6	-6	-8	-6
		Πυκνότητα			
(g/cm3)	**15 ºC**	0,8347	0,8217	0,8372	0,8382
	40 ºC	0,8174	0,8041	0,8196	0,8211
		Ιξώδες			
Δυναμικό (mPa*s)	**15 ºC**	4,4157	3,7054	4,2315	6,7855
	40 ºC	2,4407	2,1145	2,3352	3,3961
Κινηματικό (mm2/s)	**15 ºC**	5,2899	4,5095	5,0546	8,0956
	40 ºC	2,9858	2,2696	2,8492	4,1362
		Υστέρηση Ανάφλεξης			
ID	**(ms)**	3,15	3,01	3,31	2,97
		3,14	3,03	3,33	2,98
		3,11	2,99	3,31	2,96
		3,10	2,99	3,35	2,96
		Παραγόμενες Αριθμός Κετανίου			
DCN		54,36	56,57	51,63	57,54
		54,50	56,37	51,37	57,41
		55,06	57,11	51,72	57,76
		55,22	57,27	51,08	57,76

Πίνακας Α.3 Πειραματικά Δεδομένα Ιδιοτήτων Καυσίμων Ντήζελ 3/6

		No9	No10	No11	No12
Απόσταξη		**S-102 29-04-2015**	**T-775 10-05-2015**	**T-787 10-05-2015**	**779 11-05-2015**
%Απόσταξης		T (C)	T (C)	T (C)	T (C)
IBP		159,3	161,7	180,3	169,6
5%		179,8	178,1	197,1	186,8
10%		192,6	195,4	214,5	200,3
15%		203,3	211,2	228,0	215,9
20%		217,3	226,0	242,7	227,3
25%		225,9	237,4	252,7	237,3
30%		234,8	249,3	262,6	249,4
35%		247,0	257,9	269,6	258,1
40%		255,7	266,9	278,6	267,7
45%		264,1	274,6	284,9	276,1
50%		271,8	282,6	292,3	283,1
55%		280,4	289,9	300,3	290,2
60%		291,2	296,5	307,9	296,9
65%		300,8	303,9	314,4	303,8
70%		309,1	311,4	322,9	310,3
75%		320,7	319,9	331,7	318,2
80%		333,0	327,5	339,3	327,1
85%		343,6	337,5	351,6	337,7
90%		360,0	348,8	360,7	349,3
95%		380,2	366,8	380,7	365,3
FBP		398,1	384,2	398,1	371,2
		Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου			
CFPP	**(C)**	-10	-6	-4	-6
		Πυκνότητα			
(g/cm3)	**15 ºC**	0,8315	0,8336	0,8417	0,8336
	40 ºC	0,8140	0,8162	0,8244	0,8162
		Ιξώδες			
Δυναμικό (mPa*s)	**15 ºC**	4,1153	4,6057	5,4966	4,5390
	40 ºC	2,2918	2,5127	2,8687	2,4607
Κινηματικό (mm2/s)	**15 ºC**	4,9491	5,5251	6,5302	5,4447
	40 ºC	2,8153	3,0785	3,4796	3,0149
		Υστέρηση Ανάφλεξης			
ID	**(ms)**	3,28	3,11	3,14	3,14
		3,31	3,11	3,13	3,13
		3,31	3,10	3,10	3,12
		3,29	3,15	3,03	3,11
		Παραγόμενες Αριθμός Κετανίου			
DCN		52,07	55,05	54,43	54,38
		51,68	54,91	54,59	54,70
		51,65	55,22	55,14	54,86
		51,99	54,34	56,39	54,92

Πίνακας Α.4 Πειραματικά Δεδομένα Ιδιοτήτων Καυσίμων Ντήζελ 4/6

		No13	No14	No15	No16
Απόσταξη		**S-100 U-34**	**S-101 U-34**	**S-102 U-34**	**HDS R/D**
%Απόσταξης		T (C)	T (C)	T (C)	T (C)
IBP		199,3	219,2	196,7	156,0
5%		212,8	237,6	212,7	175,6
10%		219,7	249,3	230,9	182,2
15%		229,9	256,8	243,2	186,7
20%		239,3	261,1	251,8	193,9
25%		246,1	268,2	257,7	202,2
30%		252,0	271,9	264,8	209,1
35%		256,9	279,5	270,6	217,6
40%		262,3	284,6	277,8	226,2
45%		266,3	291,2	283,8	233,5
50%		272,1	298,1	290,9	242,6
55%		277,3	306,3	298,4	250,4
60%		283,3	313,9	304,7	258,2
65%		289,6	321,7	315,2	265,5
70%		295,2	329,5	321,9	272,8
75%		303,6	339,7	335,0	281,7
80%		311,9	349,4	343,5	291,9
85%		320,6	358,9	358,8	301,7
90%		329,5	371,3	370,5	313,7
95%		341,5	385,1	386,7	326,9
FBP		351,0	393,4	393,1	336,7
		Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου			
CFPP	**(C)**	-7	-8	-9	-8
		Πυκνότητα			
(g/cm3)	**15 ºC**	0,8371	0,8305	0,8290	0,8194
	40 ºC	0,8197	0,8135	0,8119	0,8016
		Ιξώδες			
Δυναμικό (mPa*s)	**15 ºC**	4,3182	6,4725	5,5836	2,6995
	40 ºC	2,3431	3,2184	2,8681	1,6216
Κινηματικό (mm2/s)	**15 ºC**	5,1585	7,7936	6,7351	3,2944
	40 ºC	2,8585	3,9562	3,5324	2,0229
		Υστέρηση Ανάφλεξης			
ID	**(ms)**	3,33	2,85	2,95	3,39
		3,32	2,86	2,94	3,35
		3,32	2,83	2,94	3,38
		3,27	2,89	2,96	3,43
		Παραγόμενες Αριθμός Κετανίου			
DCN		51,31	59,92	58,03	50,45
		51,47	59,69	58,22	51,12
		51,54	60,35	58,24	50,55
		52,35	59,15	57,69	49,89

Πίνακας Α.5 Πειραματικά Δεδομένα Ιδιοτήτων Καυσίμων Ντήζελ 5/6

		No17	No18	No19	No20
Απόσταξη		**3400**	**HDS 04/2009**	**DwBD 22/07/2015**	**U-100 22/07/2015**
%Απόσταξης		T (C)	T (C)	T (C)	T (C)
IBP		174,2	212,5	174,5	160,7
5%		189,9	224,6	193,8	180,8
10%		208,1	237,3	201,6	185,1
15%		226,5	245,2	208,3	188,4
20%		241,1	251,2	217,1	194,4
25%		251,3	257,2	224,2	201,5
30%		260,9	263,2	231,6	209,0
35%		269,2	267,8	240,5	217,6
40%		276,0	271,6	248,9	225,7
45%		283,7	276,8	256,9	233,3
50%		291,1	281,3	263,2	241,4
55%		298,5	286,0	273,2	249,6
60%		304,7	290,8	279,4	257,7
65%		313,7	296,5	286,6	264,4
70%		322,9	302,7	294,4	272,7
75%		330,1	310,6	302,7	278,7
80%		342,1	319,8	310,2	288,1
85%		355,7	331,7	320,6	295,7
90%		371,4	343,4	333,0	305,7
95%		389,0	357,7	345,9	318,5
FBP		394,0	365,0	355,3	328,2
		Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου			
CFPP	**(C)**	7	-2	-3	-17
		Πυκνότητα			
(g/cm3)	**15 ºC**	0,8292	0,8324	0,8284	0,8168
	40 ºC	0,8121	0,8152	0,8109	0,7991
		Ιξώδες			
Δυναμικό (mPa*s)	**15 ºC**	4,9942	5,1964	3,5400	2,6373
	40 ºC	2,6500	2,7136	2,0182	1,5897
Κινηματικό (mm2/s)	**15 ºC**	6,0226	6,2426	4,2733	3,2288
	40 ºC	3,2633	3,3289	2,4888	1,9894
		Υστέρηση Ανάφλεξης			
ID	**(ms)**	2,88	2,99	3,24	3,43
		2,88	3,01	3,22	3,36
		2,90	3,00	3,26	3,38
		2,86	3,02	3,23	3,45
		Παραγόμενες Αριθμός Κετανίου			
DCN		59,47	57,16	52,86	49,83
		59,41	56,81	53,12	50,82
		58,97	57,06	52,38	50,58
		59,83	56,67	52,86	49,59

Πίνακας Α.6 Πειραματικά Δεδομένα Ιδιοτήτων Καυσίμων Ντήζελ 6/6

		No21	No22
Απόσταξη		**S-101 U-34 22/07/2015**	**S-102 U-34 22/07/2015**
%Απόσταξης		T (C)	T (C)
IBP		218,4	152,9
5%		235,0	176,8
10%		247,3	182,5
15%		257,1	190,5
20%		264,1	203,7
25%		269,7	214,9
30%		276,2	224,6
35%		280,7	237,9
40%		287,8	249,2
45%		293,1	261,4
50%		300,3	271,0
55%		307,6	283,1
60%		314,7	291,4
65%		324,5	302,5
70%		333,8	313,2
75%		342,6	324,5
80%		354,1	337,8
85%		365,2	350,7
90%		378,9	362,4
95%		391,8	380,1
FBP		401,3	386,1
		Σημείο Απόφραξης Ψυχρού Φίλτρου	
CFPP	**(C)**	-7	-11
		Πυκνότητα	
(g/cm3)	**15 ºC**	0,8331	0,8234
	40 ºC	0,8162	0,8060
		Ιξώδες	
Δυναμικό (mPa*s)	**15 ºC**	6,8556	3,9478
	40 ºC	3,3621	2,1921
Κινηματικό (mm2/s)	**15 ºC**	8,2289	4,7943
	40 ºC	4,1193	2,7195
		Υστέρηση Ανάφλεξης	
ID	**(ms)**	2,94	3,16
		2,93	3,16
		2,92	3,18
		2,91	3,20
		Παραγόμενες Αριθμός Κετανίου	
DCN		58,18	54,09
		58,44	54,16
		58,64	53,84
		58,68	53,38

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Β»

Πειραματικά Δεδομένα Μετρήσεων DCN-ID

Πίνακας Β.1 Δεδομένα Μετρήσεων ID-DCN 1/6

No1				No2				No3				No4			
	ID	**S.D.**	**D.C.N.**		**ID**	**S.D.**	**D.C.N.**		**ID**	**S.D.**	**D.C.N.**		**ID**	**S.D.**	**D.C.N.**
1	3,33	0,09	51,36	1	3,94	0,08	43,42	1	3,03	0,08	56,52	1	3,29	0,10	52,00
2	3,29	0,07	51,98	2	3,96	0,09	43,17	2	3,01	0,08	56,58	2	3,33	0,08	51,36
3	3,30	0,08	51,77	3	3,97	0,06	43,07	3	3,02	0,06	56,60	3	3,40	0,11	50,34
4	3,28	0,07	52,15	4	3,97	0,06	43,08	4	3,07	0,07	55,64	4	3,32	0,09	51,51
Μ.Ο.	**3,30**	**-**	**51,82**	**Μ.Ο.**	**3,96**	**-**	**43,19**	**Μ.Ο.**	**3,03**	**-**	**56,34**	**Μ.Ο.**	**3,34**	**-**	**51,30**

Πίνακας Β.2 Δεδομένα Μετρήσεων ID-DCN 2/6

No5				No6				No7				No8			
	ID	**S.D.**	**D.C.N.**		**ID**	**S.D.**	**D.C.N.**		**ID**	**S.D.**	**D.C.N.**		**ID**	**S.D.**	**D.C.N.**
1	3,15	0,08	54,36	1	3,01	0,08	56,57	1	3,31	0,09	51,63	1	2,97	0,06	57,54
2	3,14	0,07	54,50	2	3,03	0,07	56,37	2	3,33	0,08	51,37	2	2,98	0,06	57,41
3	3,11	0,08	55,06	3	2,99	0,07	57,11	3	3,31	0,08	51,72	3	2,96	0,08	57,76
4	3,10	0,06	55,22	4	2,99	0,08	57,27	4	3,35	0,09	51,08	4	2,96	0,08	57,76
Μ.Ο.	**3,13**	**-**	**54,79**	**Μ.Ο.**	**3,01**	**-**	**56,83**	**Μ.Ο.**	**3,33**	**-**	**51,45**	**Μ.Ο.**	**2,97**	**-**	**57,62**

Πίνακας Β.3 Δεδομένα Μετρήσεων ID-DCN 3/6

No9				No10				No11				No12			
	ID	**S.D.**	**D.C.N.**		**ID**	**S.D.**	**D.C.N.**		**ID**	**S.D.**	**D.C.N.**		**ID**	**S.D.**	**D.C.N.**
1	3,28	0,08	52,07	1	3,11	0,08	55,05	1	3,14	0,08	54,43	1	3,14	0,08	54,38
2	3,31	0,09	51,68	2	3,11	0,08	54,91	2	3,13	0,07	54,59	2	3,13	0,06	54,70
3	3,31	0,06	51,65	3	3,10	0,08	55,22	3	3,10	0,06	55,14	3	3,12	0,09	54,86
4	3,29	0,06	51,99	4	3,15	0,09	54,34	4	3,03	0,07	56,39	4	3,11	0,07	54,92
M.O.	**3,30**	**-**	**51,85**	**M.O.**	**3,12**	**-**	**54,88**	**M.O.**	**3,10**	**-**	**55,14**	**M.O.**	**3,13**	**-**	**54,72**

Πίνακας Β.4 Δεδομένα Μετρήσεων ID-DCN 4/6

No13				No14				No15				No16			
	ID	**S.D.**	**D.C.N.**		**ID**	**S.D.**	**D.C.N.**		**ID**	**S.D.**	**D.C.N.**		**ID**	**S.D.**	**D.C.N.**
1	3,33	0,07	51,31	1	2,85	0,09	59,92	1	2,95	0,08	58,03	1	3,39	0,09	50,45
2	3,32	0,08	51,47	2	2,86	0,08	59,69	2	2,94	0,08	58,22	2	3,35	0,07	51,12
3	3,32	0,06	51,54	3	2,83	0,08	60,35	3	2,94	0,09	58,24	3	3,38	0,09	50,55
4	3,27	0,08	52,35	4	2,89	0,06	59,15	4	2,96	0,07	57,69	4	3,43	0,06	49,89
M.O.	**3,31**	**-**	**51,67**	**M.O.**	**2,86**	**-**	**59,78**	**M.O.**	**2,95**	**-**	**58,05**	**M.O.**	**3,39**	**-**	**50,50**

Πίνακας Β.5 Δεδομένα Μετρήσεων ID-DCN 5/6

No17				No18				No19				No20			
	ID	**S.D.**	**D.C.N.**		**ID**	**S.D.**	**D.C.N.**		**ID**	**S.D.**	**D.C.N.**		**ID**	**S.D.**	**D.C.N.**
1	2,88	0,08	59,47	1	2,99	0,07	57,16	1	3,24	0,08	52,86	1	3,43	0,09	49,83
2	2,88	0,07	59,41	2	3,01	0,07	56,81	2	3,22	0,07	53,12	2	3,36	0,09	50,82
3	2,90	0,08	58,97	3	3,00	0,07	57,06	3	3,26	0,08	52,38	3	3,38	0,09	50,58
4	2,86	0,07	59,83	4	3,02	0,07	56,67	4	3,23	0,07	52,86	4	3,45	0,09	49,59
Μ.Ο.	**2,88**	**-**	**59,42**	**Μ.Ο.**	**3,00**	**-**	**56,93**	**Μ.Ο.**	**3,24**	**-**	**52,81**	**Μ.Ο.**	**3,40**	**-**	**50,21**

Πίνακας Β.6 Δεδομένα Μετρήσεων ID-DCN 6/6

No21				No22			
	ID	**S.D.**	**D.C.N.**		**ID**	**S.D.**	**D.C.N.**
1	2,94	0,08	58,18	1	3,16	0,08	54,09
2	2,93	0,07	58,44	2	3,16	0,05	54,16
3	2,92	0,08	58,64	3	3,18	0,08	53,84
4	2,91	0,07	58,68	4	3,20	0,05	53,38
Μ.Ο.	**2,93**	**-**	**58,49**	**Μ.Ο.**	**3,17**	**-**	**53,87**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Γ»

Προσδιορισμένος DCN Δειγμάτων Καυσίμων Ντήζελ και Προέλευση αυτών

Πίνακας Γ.1 Πειραματικά Δεδομένα DCN - ID Δειγμάτων Καυσίμων Ντήζελ και Προέλευση αυτών (1/2)

	Hydrotreater ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Μίγμα Gasoil Ατμοσφαιρικής Απόσταξης και Light Coker Gasoil		Παλιά Μονάδα Αποθείωσης ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Gasoil Ατμοσφαιρικής Απόσταξης		Δεξαμενή Ντήζελ Κίνησης Motor Oil		Hydrocracker ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Μίγμα Vacuum Gasoil (VGO) και Heavy Coker Gasoil		ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Μίγμα S-101 και κηροζίνης από το Hydrocracker		Μονάδα Αποθείωσης ΕΛΠΕ Ασπρόπυργος. Τροφοδοσία: Gasoil Ατμοσφαιρικής Απόσταξης	
	S-100 M/T BEE (No3)		S-100/U-100 (No4)		779 (20-08-2014) (No5)		S-101 (29-04-2015) (No8)		S-102 (29-04-2015) (No9)		3400 (No17)	
	ID	D.C.N	ID	D.C.N	ID	D.C.N	ID	D.C.N	ID	D.C.N	ID	D.C.N
1	3,03	56,52	3,29	52,00	3,15	54,36	2,97	57,54	3,28	52,07	2,88	59,47
2	3,01	56,58	3,33	51,36	3,14	54,50	2,98	57,41	3,31	51,68	2,88	59,41
3	3,02	56,60	3,40	50,34	3,11	55,06	2,96	57,76	3,31	51,65	2,90	58,97
4	3,07	55,64	3,32	51,51	3,10	55,22	2,96	57,76	3,29	51,99	2,86	59,83
	S-100 (29-04-2015) (No7)		HDS R/D (No16)		T-775 (10-05-2015) (No10)		S-101 (U-34) (No14)		S-102 (U-34) (No15)		DwBD (22-07-2009) (No19)	
1	3,31	51,63	3,39	50,45	3,11	55,05	2,85	59,92	2,95	58,03	3,24	52,86
2	3,33	51,37	3,35	51,12	3,11	54,91	2,86	59,69	2,94	58,22	3,22	53,12
3	3,31	51,72	3,38	50,55	3,10	55,22	2,83	60,35	2,94	58,24	3,26	52,38
4	3,35	51,08	3,43	49,89	3,15	54,34	2,89	59,15	2,96	57,69	3,23	52,86

Πίνακας Γ.2 Πειραματικά Δεδομένα DCN - ID Δειγμάτων Καυσίμων Ντήζελ και Προέλευση αυτών 2/2

	Hydrotreater ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Μίγμα Gasoil Ατμοσφαιρικής Απόσταξης και Light Coker Gasoil		Παλιά Μονάδα Αποθείωσης ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Gasoil Ατμοσφαιρικής Απόσταξης		Δεξαμενή Ντήζελ Κίνησης Motor Oil		Hydrocracker ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Τροφοδοσία: Μίγμα Vacuum Gasoil (VGO) και Heavy Coker Gasoil		ΕΛΠΕ Ελευσίνα. Μίγμα S-101 και κηροζίνης από το Hydrocracker	
	S-100 (U-34) (No13)		HDS (04-2009) (No18)		T-787 (10-05-2015) (No11)		S-101 (U-34) (22-07-2015) (No21)		S-102 (U-34) (22-07-2015) (No22)	
	ID (ms)	DCN	ID (ms)	DCN	ID (ms)	DC	ID (ms)	DCN	ID (ms0	DCN
1	3,33	51,31	2,99	57,16	3,14	54,43	2,94	58,18	3,16	54,09
2	3,32	51,47	3,01	56,81	3,13	54,59	2,93	58,44	3,16	54,16
3	3,32	51,54	3,00	57,06	3,10	55,14	2,92	58,64	3,18	53,84
4	3,27	52,35	3,02	56,67	3,03	56,39	2,91	58,68	3,20	53,38

	U-100 (22-07-2009) (No20)		779 (11-05-2015) (No12)	
1	3,43	49,83	3,14	54,38
2	3,36	50,82	3,13	54,70
3	3,38	50,58	3,12	54,86
4	3,45	49,59	3,11	54,92

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Δ»

Πίνακες Επαναληψιμότητας ως προς την Υστέρηση Ανάφλεξης (ID)

Πίνακας Δ.1 Αποτελέσματα Επαναληψιμότητας Μεθόδου ως προς ID (ms) 1/6

No1					No2					No3					No4				
	ID	r(ID)	Όρια Επαν/τας			ID	r(ID)	Όρια Επαν/τας			ID	r(ID)	Όρια Επαν/τας			ID	r(ID)	Όρια Επαν/τας	
1	3,33	0,08	3,25	3,41	1	3,94	0,09	3,85	4,03	1	3,03	0,07	2,96	3,10	1	3,29	0,08	3,21	3,37
2	3,29	0,08	3,21	3,37	2	3,96	0,09	3,87	4,05	2	3,01	0,07	2,94	3,08	2	3,33	0,08	3,25	3,41
3	3,30	0,08	3,22	3,38	3	3,97	0,09	3,88	4,06	3	3,02	0,07	2,95	3,09	3	3,40	0,08	3,32	3,48
4	3,28	0,08	3,20	3,36	4	3,97	0,09	3,88	4,06	4	3,07	0,07	3,00	3,14	4	3,32	0,08	3,24	3,40

Πίνακας Δ.2 Αποτελέσματα Επαναληψιμότητας Μεθόδου ως προς ID (ms) 2/6

No5					No6					No7					No8				
	ID	r(ID)	Όρια Επαν/τας			ID	r(ID)	Όρια Επαν/τας			ID	r(ID)	Όρια Επαν/τας			ID	r(ID)	Όρια Επαν/τας	
1	3,15	0,07	3,08	3,22	1	3,01	0,07	2,94	3,08	1	3,31	0,08	3,23	3,39	1	2,97	0,07	2,90	3,04
2	3,14	0,07	3,07	3,21	2	3,03	0,07	2,96	3,10	2	3,33	0,08	3,25	3,41	2	2,98	0,07	2,91	3,05
3	3,11	0,07	3,04	3,18	3	2,99	0,07	2,92	3,06	3	3,31	0,08	3,23	3,39	3	2,96	0,07	2,89	3,03
4	3,10	0,07	3,03	3,17	4	2,99	0,07	2,92	3,06	4	3,35	0,08	3,27	3,43	4	2,96	0,07	2,89	3,03

Πίνακας Δ.3 Αποτελέσματα Επαναληψιμότητας Μεθόδου ως προς ID (ms) 3/6

No9					No10					No11					No12				
	ID	**r(ID)**	**Όρια Επαν/τας**			**ID**	**r(ID)**	**Όρια Επαν/τας**			**ID**	**r(ID)**	**Όρια Επαν/τας**			**ID**	**r(ID)**	**Όρια Επαν/τας**	
1	3,28	0,08	3,20	3,36	1	3,11	0,07	3,04	3,18	1	3,14	0,07	3,07	3,21	1	3,14	0,07	3,07	3,21
2	3,31	0,08	3,23	3,39	2	3,11	0,07	3,04	3,18	2	3,13	0,07	3,06	3,20	2	3,13	0,07	3,06	3,20
3	3,31	0,08	3,23	3,39	3	3,10	0,07	3,03	3,17	3	3,10	0,07	3,03	3,17	3	3,12	0,07	3,05	3,19
4	3,29	0,08	3,21	3,37	4	3,15	0,07	3,08	3,22	4	3,03	0,07	2,96	3,10	4	3,11	0,07	3,04	3,18

Πίνακας Δ.4 Αποτελέσματα Επαναληψιμότητας Μεθόδου ως προς ID (ms) 4/6

No13					No14					No15					No16				
	Ign. Del.	**r(ID)**	**Όρια Επαν/τας**			**Ign. Del.**	**r(ID)**	**Όρια Επαν/τας**			**Ign. Del.**	**r(ID)**	**Όρια Επαν/τας**			**Ign. Del.**	**r(ID)**	**Όρια Επαν/τας**	
1	3,33	0,08	3,25	3,41	1	2,85	0,07	2,78	2,92	1	2,95	0,07	2,88	3,02	1	3,39	0,08	3,31	3,47
2	3,32	0,08	3,24	3,40	2	2,86	0,07	2,79	2,93	2	2,94	0,07	2,87	3,01	2	3,35	0,08	3,27	3,43
3	3,32	0,08	3,24	3,40	3	2,83	0,07	2,76	2,90	3	2,94	0,07	2,87	3,01	3	3,38	0,08	3,30	3,46
4	3,27	0,08	3,19	3,35	4	2,89	0,07	2,82	2,96	4	2,96	0,07	2,89	3,03	4	3,43	0,08	3,35	3,51

Πίνακας Δ.5 Αποτελέσματα Επαναληψιμότητας Μεθόδου ως προς ID (ms) 5/6

No17					No18					No19					No20				
	ID	**r(ID)**	**Όρια Επαν/τας**			**ID**	**r(ID)**	**Όρια Επαν/τας**			**ID**	**r(ID)**	**Όρια Επαν/τας**			**ID**	**r(ID)**	**Όρια Επαν/τας**	
1	2,88	0,07	2,81	2,95	1	2,99	0,07	2,92	3,06	1	3,24	0,07	3,17	3,31	1	3,43	0,08	3,35	3,51
2	2,88	0,07	2,81	2,95	2	3,01	0,07	2,94	3,08	2	3,22	0,07	3,15	3,29	2	3,36	0,08	3,28	3,44
3	2,90	0,07	2,83	2,97	3	3,00	0,07	2,93	3,07	3	3,26	0,08	3,19	3,34	3	3,38	0,08	3,30	3,46
4	2,86	0,07	2,79	2,92	4	3,02	0,07	2,95	3,09	4	3,23	0,07	3,16	3,31	4	3,45	0,08	3,37	3,53

Πίνακας Δ.6 Αποτελέσματα Επαναληψιμότητας Μεθόδου ως προς ID (ms) 6/6

No21					No22				
	ID	**r(ID)**	**Όρια Επαν/τας**			**ID**	**r(ID)**	**Όρια Επαν/τας**	
1	2,94	0,07	2,87	3,01	1	3,16	0,07	3,09	3,23
2	2,93	0,07	2,86	3,00	2	3,16	0,07	3,09	3,23
3	2,92	0,07	2,85	2,98	3	3,18	0,07	3,10	3,25
4	2,91	0,07	2,85	2,98	4	3,20	0,07	3,13	3,28

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Ε»

Πίνακες Επαναληψιμότητας ως προς το Παραγόμενο Αριθμό Κετανίου (DCN)

Πίνακας Ε.1 Αποτελέσματα Επαναληψιμότητας Μεθόδου ως προς DCN 1/6

No1					No2					No3					No4				
	D.C.N.	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**			**D.C.N.**	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**			**D.C.N.**	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**			**D.C.N.**	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**	
1	51,36	1,13	50,23	52,49	1	43,42	1,01	42,41	44,43	1	56,52	1,21	55,31	57,73	1	52,00	1,14	50,86	53,14
2	51,98	1,14	50,84	53,12	2	43,17	1,00	42,17	44,17	2	56,58	1,21	55,37	57,79	2	51,36	1,13	50,23	52,49
3	51,77	1,14	50,63	52,91	3	43,07	1,00	42,07	44,07	3	56,60	1,21	55,39	57,81	3	50,34	1,12	49,22	51,46
4	52,15	1,15	51,00	53,30	4	43,08	1,00	42,08	44,08	4	55,64	1,20	54,44	56,84	4	51,51	1,14	50,37	52,65

Πίνακας Ε.2 Αποτελέσματα Επαναληψιμότητας Μεθόδου ως προς DCN 2/6

No5					No6					No7					No8				
	D.C.N.	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**			**D.C.N.**	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**			**D.C.N.**	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**			**D.C.N.**	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**	
1	54,36	1,18	53,18	55,54	1	56,57	1,21	55,36	57,78	1	51,63	1,14	50,49	52,77	1	57,54	1,23	56,31	58,77
2	54,50	1,18	53,32	55,68	2	56,37	1,21	55,16	57,58	2	51,37	1,13	50,24	52,50	2	57,41	1,23	56,18	58,64
3	55,06	1,19	53,87	56,25	3	57,11	1,22	55,89	58,33	3	51,72	1,14	50,58	52,86	3	57,76	1,23	56,53	58,99
4	55,22	1,19	54,03	56,41	4	57,27	1,22	56,05	58,49	4	51,08	1,13	49,95	52,21	4	57,76	1,23	56,53	58,99

Πίνακας Ε.3 Αποτελέσματα Επαναληψιμότητας Μεθόδου ως προς DCN 3/6

No9					No10					No11					No12				
	D.C.N.	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**			**D.C.N.**	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**			**D.C.N.**	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**			**D.C.N.**	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**	
1	52,07	1,15	50,92	53,22	1	55,05	1,19	53,86	56,24	1	54,43	1,18	53,25	55,61	1	54,38	1,18	53,20	55,56
2	51,68	1,14	50,54	52,82	2	54,91	1,19	53,72	56,10	2	54,59	1,18	53,41	55,77	2	54,70	1,19	53,51	55,89
3	51,65	1,14	50,51	52,79	3	55,22	1,19	54,03	56,41	3	55,14	1,19	53,95	56,33	3	54,86	1,19	53,67	56,05
4	51,99	1,14	50,85	53,13	4	54,34	1,18	53,16	55,52	4	56,39	1,21	55,18	57,60	4	54,92	1,19	53,73	56,11

Πίνακας Ε.4 Αποτελέσματα Επαναληψιμότητας Μεθόδου ως προς DCN 4/6

No13					No14					No15					No16				
	D.C.N.	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**			**D.C.N.**	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**			**D.C.N.**	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**			**D.C.N.**	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**	
1	51,31	1,13	50,18	52,44	1	59,92	1,26	58,66	61,18	1	58,03	1,24	56,79	59,27	1	50,45	1,12	49,33	51,57
2	51,47	1,14	50,33	52,61	2	59,69	1,26	58,43	60,95	2	58,22	1,24	56,98	59,46	2	51,12	1,13	49,99	52,25
3	51,54	1,14	50,40	52,68	3	60,35	1,27	59,08	61,62	3	58,24	1,24	57,00	59,48	3	50,55	1,12	49,43	51,67
4	52,35	1,15	51,20	53,50	4	59,15	1,25	57,90	60,40	4	57,69	1,23	56,46	58,92	4	49,89	1,11	48,78	51,00

Πίνακας Ε.5 Αποτελέσματα Επαναληψιμότητας Μεθόδου ως προς DCN 5/6

No17					No18					No19					No20				
	D.C.N.	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**			**D.C.N.**	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**			**D.C.N.**	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**			**D.C.N.**	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**	
1	59,47	1,26	58,21	60,73	1	57,16	1,22	55,94	58,38	1	52,86	1,16	51,70	54,02	1	49,83	1,11	48,72	50,94
2	59,41	1,26	58,15	60,67	2	56,81	1,22	55,59	58,03	2	53,12	1,16	51,96	54,28	2	50,82	1,13	49,69	51,95
3	58,97	1,25	57,72	60,22	3	57,06	1,22	55,84	58,28	3	52,38	1,15	51,23	53,53	3	50,58	1,12	49,46	51,70
4	59,83	1,26	58,57	61,09	4	56,67	1,22	55,45	57,89	4	52,86	1,16	51,70	54,02	4	49,59	1,11	48,48	50,70

Πίνακας Ε.6 Αποτελέσματα Επαναληψιμότητας Μεθόδου ως προς DCN 6/6

No21					No22				
	D.C.N.	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**			**D.C.N.**	**r(DCN)**	**Όρια Επαν/τας**	
1	58,18	1,24	56,94	59,42	1	54,09	1,18	52,91	55,27
2	58,44	1,24	57,20	59,68	2	54,16	1,18	52,98	55,34
3	58,64	1,24	57,40	59,88	3	53,84	1,17	52,67	55,01
4	58,68	1,25	57,43	59,93	4	53,38	1,17	52,21	54,55

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «ΣΤ»

Πειραματικά Δεδομένα Θερμοκρασιών Απόσταξης Συσκευής Μειωμένου Μεγέθους (MiniDis ADXpert) και του Εργαστηρίου των ΕΛΠΕ

Πίνακας ΣΤ.1 Δεδομένα Απόσταξης Συσκευής Μειωμένου Μεγέθους MiniDis ADXpert (1/2)

	NO1	NO2	NO3	NO4	NO5	NO6	NO7	NO8	NO9	NO10	NO11
% EVAP	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)
IBP	198,8	182,7	210,0	157,5	171,2	164,3	199,6	213,9	159,3	161,7	180,3
5%	209,9	195,1	226,7	179,1	188,3	181,5	212,9	232,3	179,8	178,1	197,1
10%	218,7	211,0	242,7	184,2	195,6	192,8	224,5	248,8	192,6	195,4	214,5
15%	226,2	216,5	251,5	190,0	216,1	206,4	233,2	257,3	203,3	211,2	228,0
20%	231,5	225,7	256,4	196,4	225,1	214,9	242,8	263,3	217,3	226,0	242,7
25%	237,8	230,5	261,5	203,9	236,1	226,5	248,3	269,6	225,9	237,4	252,7
30%	242,4	236,3	266,5	213,1	247,8	233,5	254,0	273,7	234,8	249,3	262,6
35%	246,8	241,5	271,2	221,6	256,6	242,3	258,5	279,2	247,0	257,9	269,6
40%	251,9	247,3	276,5	230,0	263,3	250,6	263,6	284,9	255,7	266,9	278,6
45%	255,6	251,5	282,7	240,2	270,8	258,2	268,6	292,1	264,1	274,6	284,9
50%	259,7	256,3	289,3	249,7	279,4	266,2	274,6	299,9	271,8	282,6	292,3
55%	263,5	261,3	297,6	259,5	286,9	273,6	278,4	307,2	280,4	289,9	300,3
60%	267,3	265,7	305,3	267,8	293,9	279,2	285,2	316,7	291,2	296,5	307,9
65%	270,3	270,5	313,1	277,5	302,4	287,1	292,1	324,4	300,8	303,9	314,4
70%	276,8	275,4	321,9	286,0	308,9	295,1	296,8	333,2	309,1	311,4	322,9
75%	281,7	281,9	332,6	295,5	317,9	304,1	304,7	345,8	320,7	319,9	331,7
80%	287,4	287,0	342,5	304,0	326,6	313,9	314,7	355,8	333,0	327,5	339,3
85%	295,2	295,7	352,8	316,3	335,8	325,5	323,0	367,4	343,6	337,5	351,6
90%	303,8	301,8	366,5	329,8	349,8	336,7	335,0	381,9	360,0	348,8	360,7
95%	317,7	315,2	380,2	347,3	366,1	353,5	347,1	397,8	380,2	366,8	380,7
FBP	324,5	322,7	388,9	353,2	372,0	359,2	356,6	404,5	398,1	384,2	398,1

Πίνακας ΣΤ.2 Δεδομένα Απόσταξης Συσκευής Μειωμένου Μεγέθους MiniDis ADXpert (2/2)

	NO12	NO13	NO14	NO15	NO16	NO17	NO18	NO19	NO20	NO21	NO22
% EVAP	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)
IBP	169,6	199,3	219,2	196,7	156,0	174,2	212,5	174,5	160,7	218,4	152,9
5%	186,8	212,8	237,6	212,7	175,6	189,9	224,6	193,8	180,8	235,0	176,8
10%	200,3	219,7	249,3	230,9	182,2	208,1	237,3	201,6	185,1	247,3	182,5
15%	215,9	229,9	256,8	243,2	186,7	226,5	245,2	208,3	188,4	257,1	190,5
20%	227,3	239,3	261,1	251,8	193,9	241,1	251,2	217,1	194,4	264,1	203,7
25%	237,3	246,1	268,2	257,7	202,2	251,3	257,2	224,2	201,5	269,7	214,9
30%	249,4	252,0	271,9	264,8	209,1	260,9	263,2	231,6	209,0	276,2	224,6
35%	258,1	256,9	279,5	270,6	217,6	269,2	267,8	240,5	217,6	280,7	237,9
40%	267,7	262,3	284,6	277,8	226,2	276,0	271,6	248,9	225,7	287,8	249,2
45%	276,1	266,3	291,2	283,8	233,5	283,7	276,8	256,9	233,3	293,1	261,4
50%	283,1	272,1	298,1	290,9	242,6	291,1	281,3	263,2	241,4	300,3	271,0
55%	290,2	277,3	306,3	298,4	250,4	298,5	286,0	273,2	249,6	307,6	283,1
60%	296,9	283,3	313,9	304,7	258,2	304,7	290,8	279,4	257,7	314,7	291,4
65%	303,8	289,6	321,7	315,2	265,5	313,7	296,5	286,6	264,4	324,5	302,5
70%	310,3	295,2	329,5	321,9	272,8	322,9	302,7	294,4	272,7	333,8	313,2
75%	318,2	303,6	339,7	335,0	281,7	330,1	310,6	302,7	278,7	342,6	324,5
80%	327,1	311,9	349,4	343,5	291,9	342,1	319,8	310,2	288,1	354,1	337,8
85%	337,7	320,6	358,9	358,8	301,7	355,7	331,7	320,6	295,7	365,2	350,7
90%	349,3	329,5	371,3	370,5	313,7	371,4	343,4	333,0	305,7	378,9	362,4
95%	365,3	341,5	385,1	386,7	326,9	389,0	357,7	345,9	318,5	391,8	380,1
FBP	371,2	351,0	393,4	393,1	336,7	394,0	365,0	355,3	328,2	401,3	386,1

Πίνακας ΣΤ.3 Δεδομένα Απόσταξης του Εργαστηρίου των ΕΛ.ΠΕ. (1/2)

	NO1	NO2	NO3	NO4	NO5	NO6	NO7	NO8	NO9	NO10	NO11
% EVAP	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)
IBP	184,5	189,3	175,5	162,5	168,9	159,5	188,3	148,7	164,2	163,5	171,1
5%	208,8	213,2	228,4	182,7	196,6	187,9	214,5	236	189,6	192,7	202,9
10%	214,7	219,7	239,8	188,8	205,8	201	223,2	249,5	203	208,2	219,3
20%	227,4	232,9	253,2	202	227,3	220,9	238,8	260,4	219,8	230,8	241,4
30%	237,4	242,9	262,8	218,6	245,5	236,2	250,1	270,3	237,1	250	260,1
40%	246,5	251,4	274,5	235,9	262,5	251,3	261	282,7	254,8	267,4	275,9
50%	255,2	258,8	287,8	252,8	277,7	264,9	270,8	296,1	271,9	282,1	290
60%	263,9	266,3	302,2	270	292,2	279,4	281,9	310,8	289,5	295,7	303,4
70%	273,7	275,8	317,1	287,2	305,5	294,9	294,7	325,4	307,7	308,8	316,6
80%	286,3	288,3	332,2	306,3	322,4	313,2	309,6	340	326,6	323,2	331
85%	294,7	297,1	340,4	317,9	331,7	324,3	318,6	347,6	336,7	332,1	339,4
90%	305,9	309,4	349,1	332,1	343,1	337,6	329,7	356,2	347,7	342,6	349,7
95%	325,8	331,4	358,8	351,8	358,2	355	345,9	365,4	360,6	357,5	363,9
FBP	346,2	350,4	365	362,3	367,5	363,7	359,3	369,2	368,4	366,1	373

Πίνακας ΣΤ.4 Δεδομένα Απόσταξης του Εργαστηρίου των ΕΛ.ΠΕ.. (2/2)

	NO12	NO13	NO14	NO15	NO16	NO17	NO18	NO19	NO20	NO21	NO22
% EVAP	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)
IBP	152,3	173,4	184,1	173,3	149,7	170,3	199,1	175,1	161	195	163
5%	190,2	191,5	233,2	214,4	173,9	199,8	230,5	196,6	182	234	186
10%	207,6	199,6	245,1	228,6	184,8	214,8	239,2	204,7	185	247	191
20%	229,8	216,4	257,0	246,3	197,9	238,1	251	217,9	198	262	211
30%	249,5	230,3	269,3	259,2	212,8	257,5	261	233,3	212		
40%	266,2	243,4	280,1	270,9	227,4	273	270,5	248,7			
50%	281,2	257,6	294,2	282,6	242,1	286,7	280,4	264,5	242	297	273
60%	294,3	271,1	306,6	297,2	256,4	299,8	291,3	278,4	263	317	304
70%	307,3	284,3	320,8	310,8	270,7	313,7	304,4	292,9	270		
80%	321,4	295,2	333,9	326,5	288,6	329,6	321,1	308,3			
85%	329,8	302,7	342,1	334,1	298,1	338,8	332,6	318,1	295	346	342
90%	339,8	312,8	350,1	343,1	310,6	349,9	349	330,1	307	353	351
95%	353,1	327,5	359,2	356,6	338	362,9	369	346,1	327	362	364
FBP	364,5	348,8	368,9	366,9	355,8	371,5	370,1	357,4	349	372	370

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Z»

Πίνακες Δεδομένων Διαφορών Θερμοκρασιών

Πίνακας Z.1 Διαφορών Θερμοκρασίας σε Αντίστοιχα Ποσοστά Εξάτμισης ($T_{MiniDis}$- $T_{ΕΛ.ΠΕ}$) 1/2

	NO1	NO2	NO3	NO4	NO5	NO6	NO7	NO8	NO9	NO10	NO11	NO12	NO13	NO14	NO15	NO16	NO17	NO18	NO19	NO20	NO21	NO22
% EVAP	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)
IBP	14,3	-6,6	34,5	-5	2,3	4,8	11,3	65,2	-4,9	-1,8	9,2	17,3	25,9	35,1	23,4	6,3	3,9	13,4	-9,5	-0,3	23,4	-10,1
5%	1,1	-18,1	-1,7	-3,6	-8,3	-6,4	-1,6	-3,7	-9,8	-14,6	-5,8	-3,4	21,3	4,4	-1,7	1,7	-9,9	-5,9	-4	-1,2	1	-9,2
10%	4	-8,7	2,9	-4,6	-10,2	-8,2	1,3	-0,7	-10,4	-12,8	-4,8	-7,3	20,1	4,2	2,3	-2,6	-6,7	-1,9	-4,8	0,1	0,3	-8,5
20%	4,1	-7,2	3,2	-5,6	-2,2	-6	4	2,9	-2,5	-4,8	1,3	-2,5	22,9	4,1	5,5	-4	3	0,2	2,8	-3,6	2,1	-7,3
30%	5	-6,6	3,7	-5,5	2,3	-2,7	3,9	3,4	-2,3	-0,7	2,5	-0,1	21,7	2,6	5,6	-3,7	3,4	2,2	1,2	-3	2,2	-7,4
40%	5,4	-4,1	2	-5,9	0,8	-0,7	2,6	2,2	0,9	-0,5	2,7	1,5	18,9	4,5	6,9	-1,2	3	1,1	1,9	0	1,8	-3,8
50%	4,5	-2,5	1,5	-3,1	1,7	1,3	3,8	3,8	-0,1	0,5	2,3	1,9	14,5	3,9	8,3	0,5	4,4	0,9	3,5	-0,6	3,3	-2
60%	3,4	-0,6	3,1	-2,2	1,7	-0,2	3,3	5,9	1,7	0,8	4,5	2,6	12,2	7,3	7,5	1,8	4,9	-0,5	5,4	-5,3	7,5	-1,5
70%	3,1	-0,4	4,8	-1,2	3,4	0,2	2,1	7,8	1,4	2,6	6,3	3	10,9	8,7	11,1	2,1	9,2	-1,7	10,9	2,7	9,8	-0,8
80%	1,1	-1,3	10,3	-2,3	4,2	0,7	5,1	15,8	6,4	4,3	8,3	5,7	16,7	15,5	17	3,3	12,5	-1,3	13,8	0	15,1	4,8
85%	0,5	-1,4	12,4	-1,6	4,1	1,2	4,4	19,8	6,9	5,4	12,2	7,9	17,9	16,8	24,7	3,6	16,9	-0,9	17,8	0,7	19,2	8,7
90%	-2,1	-7,6	17,4	-2,3	6,7	-0,9	5,3	25,7	12,3	6,2	11	9,5	16,7	21,2	27,4	3,1	21,5	-5,6	27,1	-1,3	25,9	11,4
95%	-8,1	-16,2	21,4	-4,5	7,9	-1,5	1,2	32,4	19,6	9,3	16,8	12,2	14	25,9	30,1	-11,1	26,1	-11,3	37,4	-8,5	29,8	16,1
FBP	-21,7	-27,7	23,9	-9,1	4,5	-4,5	-2,7	35,3	29,7	18,1	25,1	6,7	2,2	24,5	26,2	-19,1	22,5	-5,1	27,6	-20,8	29,3	16,1

Πίνακας Ζ.2 Διαφορών Θερμοκρασίας σε Αντίστοιχα Ποσοστά Εξάτμισης ($T_{MiniDis}$- $T_{ΕΛ.ΠΕ}$) 2/2

	NO1	NO2	NO3	NO4	NO5	NO6	NO7	NO8	NO9	NO10	NO11	NO12	NO13	NO14	NO15	NO16	NO17	NO18	NO19	NO20	NO21	NO22
%EV	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)	T (C)
IBP	14,3	6,6	34,5	5,0	2,3	4,8	11,3	65,2	4,9	1,8	9,2	17,3	25,9	35,1	23,4	6,3	3,9	13,4	9,5	0,3	23,4	10,1
5%	1,1	18,1	1,7	3,6	8,3	6,4	1,6	3,7	9,8	14,6	5,8	3,4	21,3	4,4	1,7	1,7	9,9	5,9	4,0	1,2	1,0	9,2
10%	4,0	8,7	2,9	4,6	10,2	8,2	1,3	0,7	10,4	12,8	4,8	7,3	20,1	4,2	2,3	2,6	6,7	1,9	4,8	0,1	0,3	8,5
20%	4,1	7,2	3,2	5,6	2,2	6,0	4,0	2,9	2,5	4,8	1,3	2,5	22,9	4,1	5,5	4,0	3,0	0,2	2,8	3,6	2,1	7,3
30%	5,0	6,6	3,7	5,5	2,3	2,7	3,9	3,4	2,3	0,7	2,5	0,1	21,7	2,6	5,6	3,7	3,4	2,2	1,2	3,0	2,2	7,4
40%	5,4	4,1	2,0	5,9	0,8	0,7	2,6	2,2	0,9	0,5	2,7	1,5	18,9	4,5	6,9	1,2	3,0	1,1	1,9	0,0	1,8	3,8
50%	4,5	2,5	1,5	3,1	1,7	1,3	3,8	3,8	0,1	0,5	2,3	1,9	14,5	3,9	8,3	0,5	4,4	0,9	3,5	0,6	3,3	2,0
60%	3,4	0,6	3,1	2,2	1,7	0,2	3,3	5,9	1,7	0,8	4,5	2,6	12,2	7,3	7,5	1,8	4,9	0,5	5,4	5,3	7,5	1,5
70%	3,1	0,4	4,8	1,2	3,4	0,2	2,1	7,8	1,4	2,6	6,3	3,0	10,9	8,7	11,1	2,1	9,2	1,7	10,9	2,7	9,8	0,8
80%	1,1	1,3	10,3	2,3	4,2	0,7	5,1	15,8	6,4	4,3	8,3	5,7	16,7	15,5	17,0	3,3	12,5	1,3	13,8	0,0	15,1	4,8
85%	0,5	1,4	12,4	1,6	4,1	1,2	4,4	19,8	6,9	5,4	12,2	7,9	17,9	16,8	24,7	3,6	16,9	0,9	17,8	0,7	19,2	8,7
90%	2,1	7,6	17,4	2,3	6,7	0,9	5,3	25,7	12,3	6,2	11,0	9,5	16,7	21,2	27,4	3,1	21,5	5,6	27,1	1,3	25,9	11,4
95%	8,1	16,2	21,4	4,5	7,9	1,5	1,2	32,4	19,6	9,3	16,8	12,2	14,0	25,9	30,1	11,1	26,1	11,3	37,4	8,5	29,8	16,1
FBP	21,7	27,7	23,9	9,1	4,5	4,5	2,7	35,3	29,7	18,1	25,1	6,7	2,2	24,5	26,2	19,1	22,5	5,1	27,6	20,8	29,3	16,1

Πίνακας Ζ.3 Ποσοστιαίες Διαφορές Θερμοκρασιών σε Αντίστοιχα Ποσοστά Εξάτμισης |(T_MiniDis- T_(ΕΛ.ΠΕ))|/T_MiniDis

	NO1	NO2	NO3	NO4	NO5	NO6	NO7	NO8	NO9	NO10	NO11	NO12	NO13	NO14	NO15	NO16	NO17	NO18	NO19	NO20	NO21	NO22
IBP	7,19	3,61	16,43	3,17	1,34	2,92	5,66	30,48	3,08	1,11	5,10	10,20	13,00	16,01	11,90	4,04	2,24	6,31	0,34	0,19	10,71	6,61
5%	0,52	9,28	0,75	2,01	4,41	3,53	0,75	1,59	5,45	8,20	2,94	1,82	10,01	1,85	0,80	0,97	5,21	2,63	1,44	0,66	0,43	5,20
10%	1,83	4,12	1,19	2,50	5,21	4,25	0,58	0,28	5,40	6,55	2,24	3,64	9,15	1,68	1,00	1,43	3,22	0,80	1,54	0,05	0,12	4,66
20%	1,77	3,19	1,25	2,85	0,98	2,79	1,65	1,10	1,15	2,12	0,54	1,10	9,57	1,57	2,18	2,06	1,24	0,08	0,37	1,85	0,80	3,58
30%	2,06	2,79	1,39	2,58	0,93	1,16	1,54	1,24	0,98	0,28	0,95	0,04	8,61	0,96	2,11	1,77	1,30	0,84	0,73	1,44	0,80	3,29
40%	2,14	1,66	0,72	2,57	0,30	0,28	0,99	0,77	0,35	0,19	0,97	0,56	7,21	1,58	2,48	0,53	1,09	0,41	0,08	0,58	0,63	1,52
50%	1,73	0,98	0,52	1,24	0,61	0,49	1,38	1,27	0,04	0,18	0,79	0,67	5,33	1,31	2,85	0,21	1,51	0,32	0,49	0,25	1,10	0,74
60%	1,27	0,23	1,02	0,82	0,58	0,07	1,16	1,86	0,58	0,27	1,46	0,88	4,31	2,33	2,46	0,70	1,61	0,17	0,36	2,06	2,31	0,50
70%	1,12	0,15	1,49	0,42	1,10	0,07	0,71	2,34	0,45	0,83	1,95	0,97	3,69	2,64	3,45	0,77	2,85	0,56	0,51	0,99	2,94	0,26
80%	0,38	0,45	3,01	0,76	1,29	0,22	1,62	4,44	1,92	1,31	2,45	1,74	5,35	4,44	4,95	1,13	3,65	0,41	0,61	0,38	4,26	1,42
85%	0,17	0,47	3,51	0,51	1,22	0,37	1,36	5,39	2,01	1,60	3,47	2,34	5,58	4,68	6,88	1,19	4,75	0,27	0,78	0,24	5,26	2,48
90%	0,69	2,52	4,75	0,70	1,92	0,27	1,58	6,73	3,42	1,78	3,05	2,72	5,07	5,71	7,40	0,99	5,79	1,63	0,87	0,43	6,84	3,15
95%	2,55	5,14	5,63	1,30	2,16	0,42	0,35	8,14	5,16	2,54	4,41	3,34	4,10	6,73	7,78	3,40	6,71	3,16	0,06	2,67	7,61	4,24
FBP	6,69	8,58	6,15	2,58	1,21	1,25	0,76	8,73	7,46	4,71	6,30	1,80	0,63	6,23	6,66	5,67	5,71	1,40	0,59	6,34	7,30	4,17

Βιβλιογραφία

[1] IARC, «Diesel Fuels,» 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol45/mono45-10.pdf. [Πρόσβαση 11 07 2015].

[2] Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, *ΕΛΟΤ EN-590,* 2014.

[3] Ε. Λόης, Φ. Ζαννίκος και Δ. Καρώνης, Τεχνολογία Καυσίμων και Λιπαντικών, Αθήνα: Ε.Μ.Π., 2013, pp. 109-113.

[4] The Goodheart-Willcox Co. Inc., «http://www.g-w.com/,» 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.g-w.com/pdf/sampchap/9781590707708_ch14.pdf. [Πρόσβαση 05 09 2015].

[5] N. Ladommatos και J. Goacher, «Equations for Predicting the Cetane Number of Diesel Fuels From their Physical Properties,» *Elsevier Science,* 03 08 1994.

[6] Ά. Θ. Παπαϊωάννου, Θερμοδυναμική, Συστήματα Παραγωγής Ισχύος, Θέρμανσης και Ψύξης, τόμ. ΙΙ, 2010.

[7] [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.drbjornsauto.com/diesel-technology/. [Πρόσβαση 11 07 2015].

[8] American Society for Testing and Materials, *Standard Test Method for Cetane Number of Diesel Fuel Oil (ASTM-D613),* 2015.

[9] American Society for Testing and Materials, *Standard Test Method for Determonation of Ignition Delay and Derived Cetane Number(DCN) of Diesel Fuel Oils by Combustion in a Constant Volume Chamber (ASTM-D6890),* 2013.

[10] American Society for Testing and Materials, *Standard Test Method for Determination of Derived Cetane Number (DCN) of Diesel Fuels Oil - Ignition Delay and Combustion Using a Constant Volume Combustion Chamber Method (ASTM-D7668),* 2014.

[11] American Society for Testing and Material, *Standard Test Method for Determination of Derived Cetane Number (DCN) of Diesel Fuel Oils—Fixed Range Injection Period, Constant Volume Combustion Chamber Method (ASTM-D7170),* 2014.

[12] G. Prasenjeet και J. Stephen, «Detailed Composition-Based Model for Predicting the Cetane Number of Diesel Fuels,» 2006.

[13] Waukesha Engine Divission Dresser Industries Inc., «An International Historic Mechanical Engineering Landmark, The Waukesha CFR Fuel Research,» Wisconsin, 1980.

[14] American Society for Testing and Materials, *Standard Test Method for Calculated Cetane Index of Distillate Fuels(ASTM-D976),* 2006 (R2011).

[15] American Society for Testing and Materials, *Standard Method for Calculated Index by Four Variable Equation (ASTM-D4737),* 2010.

[16] Advanced Engine Technology LTD, «http://www.aet.ca/,» 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.aet.ca/files/resourcesmodule/@random428b4e06ecd32/1116442378_IQTBrochure_May13_2005.pdf. [Πρόσβαση 24 08 2015].

[17] ROFA Praha s.r.o., «http://www.rofa-praha.cz,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.rofa-praha.cz/files/files/Spalovaci%20charakteristika/Cetanovecislo/CID510/CID510Leaflat-EN.pdf. [Πρόσβαση 24 08 2015].

[18] «https://elqa.teilar.gr,» Εξωτερικός Έλεγχος Ποιότητας Εργαστηρίων, [Ηλεκτρονικό]. Available: https://elqa.teilar.gr/nea-anakoinwseis/item/256-epanalipsimotita. [Πρόσβαση 28 07 2015].

[19] American Society for Testing and Materials, *Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure (ASTM D-86),* 2012.

[20] American Society for Testing and Materials, *Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products and Liquid Fuels at Atmospheric Pressure (Mini Method) (ASTM-D7344),* 2014.

[21] American Society for Testing and Materials, *Standard Test Method for Dynamic Viscosity and Density of Liquids by Stabinger Viscometer (and the Calculation of Kinematic Viscosity) (ASTM-D7042),* 2014.

[22] American Society for Testing and Materials, *Standard Test Method for Cold Filter Plugging Point of Diesel and Heating Fuels (ASTM-D6371),* 2010.

[23] Dresser Waukesha , Fuel Ignition Tester User Manual, Wisconsin, 2006.

[24] Chevron Philips Company LP , *Diesel Cetane Check High Fuel,* 2012.

[25] Chevron Philips Chemical LP, *Diesel Cetane Check Fuel Low,* 2012.

[26] American Society for Testing and Materials, *Standard Test Method for Calculated Cetane Index of Distillate Fuels (ASTM-D976),* 2011.

[27] Grabner Instruments, «http://www.grabner-instruments.com,» 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.grabner-instruments.com/products/distillation/adxpert.aspx. [Πρόσβαση 24 08 2015].

[28] Χ. Κατσάνος και Ν. Αβούρης, «Στατιστικές Μέθοδοι Ανάλυσης Πειραματικών Δεδομένων Συνεργασίας,» Πανεπιστήμιο Πατρών.

[29] Anton PaarGmBH, «http://www.anton-paar.com/corp-en/,» 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.anton-paar.com/?eID=documentsDownload&document=1039&L=8. [Πρόσβαση 2015 08 24].

[30] John Morris Scientific , «http://www.johnmorris.com.au/home.aspx,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.johnmorris.com.au/files/product/attachments/23354/233689_manual_instr.pdf. [Πρόσβαση 24 08 2015].

[31] American Society for Testing and Materials, *Standard Test Method for Calculated Cetane Index by Four Variable Equation (ASTM-D4737),* 2010.

[32] American Society for Testing and Materials, *Standard Test Method for Determination of Derived Cetane Number (DCN) of Diesel Fuel Oils—Fixed Range Injection Period, Constant Volume Combustion Chamber Method (ASTM-D7170),* 2014.