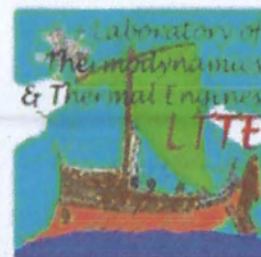




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

Λ. Αθηνών - Πεδίον Αρεως, 383 34 ΒΟΛΟΣ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ & ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ
Διευθυντής: Καθηγητής Α.Μ. Σταματέλλος

Διπλωματική Εργασία

Δυναμόδειξη σε μονοκύλινδρο πετρελαιοκινητήρα Ruggerini RF91 για την αξιολόγηση της λειτουργίας του μετά από επισκευή του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου ύστερα από εκτεταμένη καύση μειγμάτων βιοντίζελ

Επιμέλεια | Παπαδοπετράκης Εμμανουήλ, Σακαλίδης Νικόλαος

Επιβλέπων Καθηγητής | Σταματέλλος Αναστάσιος

Βαθμολογητές | Παντελής Δημήτριος, Σταπουντζής Ερρίκος

Βόλος, Οκτώβριος 2015



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 14476/1
Ημερ. Εισ.: 06-10-2017
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΜ
2015
ΠΑΠ

Δυνατότητα σε μονοκύλινο αρθρο πρην κωδικό 14476/1
για την αξιολόγηση της λειτουργίας του
από την 1η Οκτωβρίου 2015

Επιμέλεια | Παράδοξη Επιστήμη, Ζαχαρίας Νικόλαος
Επιβλέπων Καθηγητής | Σταμάτης Αναστάσιος
Βοηθητικός | Παναγιώτης Δημήτριος, Σταυρούλης Ερρίκος

Βόλος, Οκτώβριος 2015

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει δύο βασικούς θεματικούς άξονες. Ο πρώτος αφορά στα καύσιμα βιοντίζελ και τα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν στα συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου σε πετρελαιοκινητήρες που τα χρησιμοποιούν, ενώ ο δεύτερος στην ανάκτηση δεδομένων πίεσης κυλίνδρου και γωνίας στροφάλου σε πετρελαιοκινητήρα Rugggerini RF91, με στόχο την χάραξη δυναμοδεικτικού διαγράμματος. Αρχικά γίνεται μια σύντομη ανασκόπηση των κυρίων εξαρτημάτων ενός πετρελαιοκινητήρα καθώς και του τρόπου λειτουργίας του. Έπειτα γίνεται αναφορά στο καύσιμο βιοντίζελ και παρουσιάζονται οι επιπτώσεις διαφόρων μειγμάτων βιοντίζελ στην αντλία πετρελαίου υψηλής πίεσης καθώς και στον εγχυτήρα, τόσο με την βοήθεια οπτικής παρατήρησης σε οπτικό μικροσκόπιο και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM), όσο και με την χρήση φασματοσκοπίας διασποράς ενέργειας ακτίνων Χ (EDX) για τον προσδιορισμό χημικών συστάσεων των σχηματισμένων επικαθίσεων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται διεξοδικά η επισκευή των συστημάτων τροφοδοσίας καυσίμου του κινητήρα Rugggerini RF91 έπειτα από εκτενή χρήση βιοντίζελ. Τελικά γίνεται ανάκτηση δεδομένων πίεσης και γωνίας στροφάλου από τον ίδιο πετρελαιοκινητήρα, προκειμένου τα αποτελέσματα να επεξεργαστούν και να συγκριθούν με παλιότερες μετρήσεις.

Ευχαριστίες

Η εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, με στόχο την κατανόηση του φαινομένου της καύσης σε κινητήρες ΜΕΚ, δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί χωρίς την συμβολή και στήριξη ορισμένων ατόμων.

Αρχικά, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Καθηγητή κ. Σταματέλλο Α. ο οποίος μας εμπιστεύτηκε απόλυτα δίνοντάς μας ελεύθερη πρόσβαση στο Εργαστήριο Θερμοδυναμικής & Θερμικών Μηχανών του τμήματος. Με την στήριξη, τις παρατηρήσεις και τις διορθώσεις του, συνέβαλλε στην διαρκή παροχή γνώσεων, στην αποσαφήνιση και κατανόηση καίριων ζητημάτων σχετικών με το υπό διερεύνηση θέμα. Ιδιαίτερες ευχαριστίες επίσης οφείλουμε στον Τζιουρτζιούμη Δ. για τον συμβουλευτικό του ρόλο σε ότι αφορά τον εργαστηριακό εξοπλισμό, στην κ. Ζερβάκη Α. που μας έδωσε την άδεια να χρησιμοποιήσουμε τον εξοπλισμό του Εργαστηρίου Υλικών για ανάγκες της εργασίας καθώς και στον κ. Δαφερέρα Α. για την πολύτιμη συμβολή του στην επίλυση τεχνικών προβλημάτων που προέκυψαν κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Τέλος, η εκπόνηση της παρούσας εργασίας δεν θα είχε ολοκληρωθεί χωρίς την αμέριστη στήριξη και αγάπη των οικογενειών μας, που στάθηκαν δίπλα μας όλο αυτό το διάστημα και μας ενθάρρυναν διαρκώς.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Ευχαριστίες.....	2
1. Εισαγωγή.....	5
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	6
2.1. Λειτουργία τετράχρονου κινητήρα.....	6
2.2. Ο κινητήρας Diesel.....	7
2.3. Κατηγορίες κινητήρων Diesel.....	8
2.4. Αντλία έγχυσης.....	9
2.5. Εγχυτήρες (μπεκ).....	12
2.6. Ντίζελ κίνησης και βιοντίζελ.....	15
2.7. Βασικές σχέσεις θεωρίας MEK.....	18
2.8. Δυναμειδεικτικό διάγραμμα.....	20
2.9. Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας μέτρησης πίεσης θαλάμου καύσης.....	22
3. Επίδραση χρήσης μειγμάτων βιοντίζελ στα κυριότερα συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου.....	24
3.1. Βιοντίζελ (Biodiesel).....	24
3.2. Βλάβες στα συστήματα μεταφοράς καυσίμου από την χρήση βιοντίζελ.....	25
3.3. Επίδραση καυσίμου βιοντίζελ jatropha (JB20) στον εγχυτήρα μονοκύλινδρου ντιζελοκινητήρα.....	29
3.3.1. Εργαστηριακός εξοπλισμός και ιδιότητες καυσίμων.....	29
3.3.2. Πειραματική μεθοδολογία.....	30
3.3.3. Αποτελέσματα μετρήσεων και συμπεράσματα.....	31
3.4. Επίδραση βιοντίζελ B100 στον εγχυτήρα και στο έμβολο της αντλίας υψηλής πίεσης 37.....	37
3.4.1. Εργαστηριακός εξοπλισμός και ιδιότητες καυσίμων.....	38
3.4.2. Πειραματική μεθοδολογία.....	39
3.4.3. Αποτελέσματα και συμπεράσματα.....	39
3.5. Επισκευή συστημάτων τροφοδοσίας καυσίμου κινητήρα Rugggerini RF91 έπειτα από εκτενή χρήση διαφόρων μειγμάτων βιοντίζελ (B20 – B100).....	45
3.5.1. Διάγνωση προβλήματος.....	45
3.5.2. Αποσυναρμολόγηση αντλίας πετρελαίου.....	45
3.5.3. Αποσυναρμολόγηση αντλίας πετρελαίου υψηλής πίεσης.....	47
3.5.4. Οπτική παρατήρηση εξαρτημάτων αντλίας πετρελαίου σε οπτικό μικροσκόπιο.....	48
3.5.5. Επιδιόρθωση εξαρτημάτων αντλίας.....	53
3.5.6. Δοκιμή καλής λειτουργίας.....	55

4.	Πειραματικό μέρος.....	57
4.1.	Πειραματική διάταξη	57
4.1.1.	Κινητήρας εσωτερικής καύσης.....	57
4.1.2.	Ηλεκτρογεννήτρια	57
4.1.3.	Αισθητήρας μέτρησης πίεσης θαλάμου καύσης	59
4.1.4.	Ενισχυτής σήματος αισθητήρα μέτρησης πίεσης.....	60
4.1.5.	Αισθητήρας μέτρησης της γωνίας στροφάλου	61
4.1.6.	Ανάκτηση δεδομένων.....	61
4.1.7.	Γωνία στροφάλου.....	63
4.1.8.	Όγκος κυλίνδρου συναρτήσει γωνίας στροφάλου	63
4.1.9.	Κατασκευή διαγράμματος P-V	63
4.1.10.	Μέθοδος υπολογισμού ισχύος κινητήρα.....	64
4.1.11.	Υπολογισμός παραγόμενης ισχύος από την γεννήτρια (P_{el}).....	67
4.1.12.	Υπολογισμός απωλειών ισχύος λόγω τριβών ($P_{friction}$)	68
4.2.	Αποτελέσματα	69
4.2.1.	Αποτελέσματα καλής λειτουργίας κινητήρα	69
4.2.2.	Αποτελέσματα κακής λειτουργίας κινητήρα	74
4.2.3.	Σύγκριση αποτελεσμάτων.....	78
5.	Συμπεράσματα – παρατηρήσεις.....	82
5.1.	Επιπτώσεις χρήσης μειγμάτων βιοντίζελ στα συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου 82	
5.1.1.	Σύγκριση βιοντίζελ JB20 και ντίζελ κίνησης.....	82
5.1.2.	Σύγκριση βιοντίζελ B100 και ντίζελ κίνησης	82
5.2.	Παρατηρήσεις δυναμόδειξης πετρελαιοκινητήρα Rugggerini RF91	83
5.2.1.	Σύγκριση παλαιών και νέων μετρήσεων για τον έλεγχο απόδοσης κινητήρα.....	83
5.2.2.	Προτάσεις επισκευής κινητήρα.....	83
6.	Παράρτημα.....	85
7.	Βιβλιογραφία.....	108
	Πίνακας γραφημάτων	109
	Πίνακας εικόνων	110
	Πίνακας πινάκων	112

1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια γίνεται ολοένα εντονότερο το ενδιαφέρον για απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο. Στην κατεύθυνση αυτή η επιστημονική κοινότητα έχει κάνει σημαντικά βήματα και ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η πρόοδος που έχει σημειωθεί στην παραγωγή και χρήση βιοκαυσίμων όπως το βιοντίζελ. Ωστόσο η αυξανόμενη χρήση βιοντίζελ που μάλιστα έχει γίνει υποχρεωτική από πολλές χώρες ως ποσόστωση πρόσμιξης στο ντίζελ κίνησης, κυρίως λόγω του οικολογικού χαρακτήρα των βιοκαυσίμων, έχει δημιουργήσει ένα νέο πεδίο ερευνών γύρω από την πτώση απόδοσης που μπορεί να προκαλέσουν μείγματα καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε βιοντίζελ. Επίσης η χρήση βιοκαυσίμων έχει προκαλέσει ανησυχίες στους κατασκευαστές συστημάτων τροφοδοσίας καυσίμου, καθώς η χρήση βιοντίζελ σε συμβατικά συστήματα τροφοδοσίας ντίζελ κίνησης έχει αποδειχθεί πως προκαλεί επικαθίσεις και σχηματισμό οξειδωτικού υλικού, με αποτέλεσμα την μειωμένη λειτουργία ή στην χειρότερη περίπτωση, την αστοχία του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού παροχής καυσίμου. Έτσι οι κατασκευάστριες εταιρίες ασκούν πιέσεις στην θέσπιση υψηλών ποιοτικών προδιαγραφών στο στάδιο της παραγωγής των βιοκαυσίμων, ώστε να περιοριστούν τα προβλήματα που προκύπτουν. Ταυτόχρονα γίνονται κινήσεις για τον σχεδιασμό και την κατασκευή συστημάτων τροφοδοσίας καυσίμου για στοχευμένη χρήση με μείγματα καυσίμων που χρησιμοποιούν βιοντίζελ.

Ένα άλλο θέμα που απασχολεί ιδιαίτερα τους ερευνητές τόσο σε ακαδημαϊκά πλαίσια, όσο και σε βιομηχανικές εφαρμογές, είναι η ανάκτηση, η καταγραφή και η επεξεργασία των δεδομένων της καύσης που συμβαίνει στους κυλίνδρους κινητήρων εσωτερικής καύσης. Επειδή τα λαμβανόμενα σήματα που απαιτούνται είναι η πίεση του θαλάμου καύσης και η γωνία του στροφάλου, η χρήση ενός συμβατικού παλμογράφου δεν μπορεί να δώσει ικανοποιητική προσέγγιση του φαινομένου τις καύσης καθώς δεν είναι δυνατή η ταυτόχρονη καταγραφή των δύο συστημάτων. Έτσι απαιτείται η χρήση εξειδικευμένων λογισμικών Η/Υ όπως το Labview της εταιρίας National Instruments (NI), μαζί με την χρήση κάρτας ανάκτησης δεδομένων που έχει την δυνατότητα για ταυτόχρονη λήψη πολλών σημάτων. Από την επεξεργασία των ανακτημένων δεδομένων προκύπτουν αποτελέσματα όπως ο όγκος εμβολισμού βάσει της γωνίας στροφάλου. Στην συνέχεια μπορούν να προσδιοριστούν διάφορα μεγέθη όπως η μέση ενδεικνύμενη ισχύς του κινητήρα, η μέση ενδεικνύμενη ροπή αλλά και πληροφορίες που αφορούν τις τριβές της μηχανής καθώς και την διαδικασία της καύσης.

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1. Λειτουργία τετράχρονου κινητήρα

a. Εισαγωγή

Κατά τη φάση της εισαγωγής το έμβολο εκκινεί από το Άνω Νεκρό Σημείο (TDC, Top Dead Center) και καταλήγει στο Κάτω Νεκρό Σημείο (BDC, Bottom Dead Center). Στη φάση αυτή είναι κλειστή η βαλβίδα εξαγωγής ενώ ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής και ο κύλινδρος πληρώνεται με καθαρό αέρα ο οποίος εισέρχεται μέσω του αυλού εισαγωγής, εξαιτίας της μικρότερης της ατμοσφαιρικής πίεσης που αναπτύσσεται στο θάλαμο καθώς κατεβαίνει το έμβολο.

b. Συμπίεση

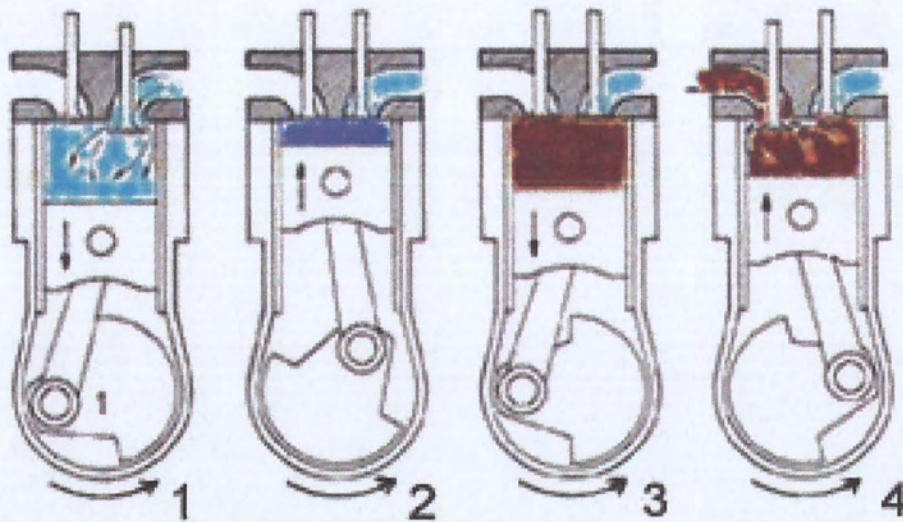
Στη φάση της συμπίεσης και οι δύο βαλβίδες παραμένουν κλειστές, ενώ ο όγκος του κυλίνδρου μειώνεται και ο αέρας που ήδη βρίσκεται στον κύλινδρο συμπιέζεται, καθώς το έμβολο κατευθύνεται από το κάτω νεκρό σημείο προς το άνω νεκρό σημείο. Λίγες μοίρες πριν το έμβολο φτάσει στο άνω νεκρό σημείο εκχέεται καύσιμο υπό τη μορφή σταγονιδίων μέσα στο κύλινδρο. Όταν το πιστόνι φτάσει στο ανώτατο σημείο, το μείγμα καυσίμου αέρα βρίσκεται στη μέγιστη συμπίεση.

c. Εκτόνωση

Στη φάση της εκτόνωσης το έμβολο είναι στο άνω νεκρό σημείο, στο σημείο αυτό ο αέρας μπορεί να φτάσει στους 600 C-900 C με αποτέλεσμα το καύσιμο να έχει ήδη εξατμιστεί και αναμιχθεί με τον αέρα. Η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη της θερμοκρασίας αυτανάφλεξης του καυσίμου με αποτέλεσμα το πετρέλαιο να αναφλέγεται και η θερμοκρασία να φτάνει ακόμα και τους 2.500 C και η πίεση αγγίζει ακόμη και τα 100 bar. Η αύξηση της πίεσης που πραγματοποιείται με την καύση ωθεί το έμβολο προς τα κάτω ενώ για κάποιες μοίρες μετά το άνω νεκρό σημείο το μπέκ συνεχίζει να ψεκάζει. Η κίνηση του πιστονιού προς τα κάτω μεταφέρεται στον στροφαλοφόρο άξονα με αποτέλεσμα μετατροπή της χημικής ενέργειας σε κινητική ενέργεια.

d. Εξαγωγή

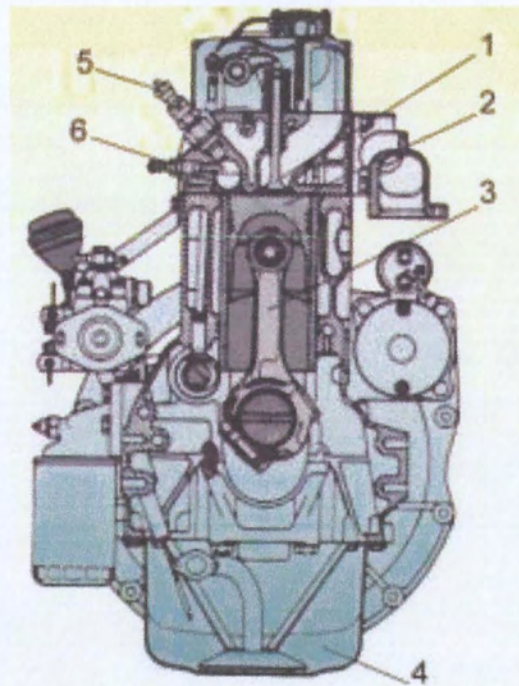
Στη φάση της εξαγωγής το έμβολο βρίσκεται στο κάτω νεκρό σημείο και στη συνέχεια ανεβαίνει προς τα πάνω, στη φάση αυτή ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής πίεση μειώνεται απότομα στα 3-4bar και προοδευτικά αγγίζει την ατμοσφαιρική και τα εναπομείναντα αέρια εξέρχονται από τον αυλό εξαγωγής, αρχικά λόγω της υψηλής διαφοράς πίεσης μεταξύ του θαλάμου καύσης και του αυλού εξαγωγής αλλά και λόγω της ανοδικής πορείας του εμβόλου, το οποίο τα ωθεί προς τη βαλβίδα εξαγωγής. Όταν το έμβολο φτάσει στο άνω νεκρό σημείο η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει με ένα μικρό βαθμό επικάλυψης με της εισαγωγής συνήθως 20 μοίρες.



Εικόνα 1: Εξέλιξη ενός κύκλου τετράχρονου κινητήρα diesel

2.2. Ο κινητήρας Diesel

Στον κινητήρα diesel, αναρροφάται από τους κυλίνδρους καθαρός αέρας και το καύσιμο ψεκάζεται από το σύστημα έγχυσης μέσα στον κύλινδρο της μηχανής κατά το τέλος του εμβολισμού συμπίεσης αμέσως πριν την επιθυμητή έναρξη της καύσης. Το υγρό καύσιμο, πετρέλαιο, ψεκάζεται με τη μορφή ενός ή περισσοτέρων jets μέσα από μικρές τρύπες ή ακροφύσια στην άκρη του μπέκ και με αυτόν τον τρόπο διαμερίζονται σε πολύ μικρά σταγονίδια τα οποία διωσδείου μέσα στο θάλαμο καύσης. Το καύσιμο εξατμίζεται και ανακατεύεται με τον αέρα του κυλίνδρου. Επειδή η θερμοκρασία του αερά αλλά και πίεση του είναι πάνω από το σημείο αυτανάφλεξης του ήδη αναμειγμένου καυσίμου με τον αέρα παρατηρείται αυτανάφλεξη μετά από μία περίοδο καθυστέρησης η οποία αντιστοιχεί σε μερικές μοίρες της γωνίας στροφάλου. Η πίεση του κυλίνδρου αυξάνει καθώς παρατηρείται καύση του μίγματος αέρα καυσίμου. Η συνακόλουθη συμπίεση του άκαυστου τμήματος της γόμωσης μικραίνει την καθυστέρηση έναυσης για το υπόλοιπο μίγμα, που έχει αναμιχθεί πιο ύστερα, το οποίο επομένως στη συνέχεια καίγεται γρήγορα, έτσι ουσιαστικά στη συνέχεια η έναυση γίνεται μετά τον ψεκασμό. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι που να καεί όλο το καύσιμο και επί προσθέτως η ανάμιξη του αέρα που παραμένει στον κύλινδρο με τα καμμένα αέρια αλλά και αυτά που ήδη καίγονται συνεχίζεται και στη διάρκεια της εκτόνωσης. Ο έλεγχος της αναπτυσσόμενης ροπής επιτυγχάνεται με τη μεταβολή της ποσότητας του καυσίμου που ψεκάζεται.



Εικόνα 2: Τομή τετράχρονης μηχανής diesel 1. Βαλβίδα, 2. Έμβολο, 3. Διωστήρας, 4. Ελαιολεκάνη, 5. Εγχυτήρας, 6 Σύστημα υποβοήθησης της εκκίνησης

Σε έναν τετράχρονο κινητήρα diesel φυσικής αναπνοής η σχέση συμπίεσης είναι μεταξύ 12-24, με χαμηλότερες τιμές για υπερπληρούμενους κινητήρες. Το καύσιμο ψεκάζεται περίπου στις 20 μοίρες πριν το ΑΝΣ, σε υψηλή πίεση (100-800 bar). Σε αυτό το σημείο του κύκλου η θερμοκρασία και η πίεση του αέρα είναι πάνω από τις συνθήκες αυτανάφλεξης του καυσίμου, οι ατμοί του πετρελαίου αυταναφλέγονται μετά από μια μικρή χρονική περίοδο, η οποία ονομάζεται καθυστέρηση έναυσης. Στη συνέχεια όσο καύσιμο ψεκάζεται καίγεται ακαριαία.

Γενικότερα σε μια μηχανή που ρυθμίζεται για την βέλτιστη αποδοτικότητα, η καύση αρχίζει χαρακτηριστικά από τις 10° έως τις 40° γωνίας στροφάλου πριν από το άνω νεκρό σημείο, ενώ είναι κατά το ήμισυ πλήρη σε περίπου 10° μετά από το άνω νεκρό σημείο, και είναι ουσιαστικά πλήρης σε 30° ως 40° μετά από το άνω νεκρό σημείο. Η μέγιστη πίεση εμφανίζεται στις περίπου 5ο μετά από το ΑΝΣ. Σε μια μηχανή diesel, η διαδικασία καύσης αρχίζει λίγο πριν το ΑΝΣ. Η πίεση ανέρχεται γρήγορα σε μια αιχμή περίπου από τις 5° έως τις 10° μετά από το ΑΝΣ. Εντούτοις, τα τελικά στάδια της καύσης είναι πολύ πιο αργά, και η καύση συνεχίζεται μέχρι τις 40° έως τις 50° μετά από το ΑΝΣ [1], [2].

2.3. Κατηγορίες κινητήρων Diesel

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία κινητήρων diesel, που χρησιμοποιούνται σε αυτοκίνητα, φορτηγά, σιδηροδρόμους, πλοία και μικρά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Λόγο της

ευρείας χρήσης του σε διάφορες εφαρμογές, ο πετρελαιοκινητήρας διαχωρίζεται ανάλογα με την εκάστοτε τεχνολογική εφαρμογή που χρησιμοποιείτε προσφέροντας τα κατάλληλα πλεονεκτήματα για τη χρήση του [3].

- Οι μηχανές diesel χωρίζονται σε φυσικής αναπνοής, όπου στον κύλινδρο εισέρχεται ατμοσφαιρικός αέρας, σε στροβιλο-υπερπληρούμενες, όπου ο αέρας εισαγωγής συμπιέζεται από κατάλληλο συμπιεστή που κινείται από τουρμπίνα τοποθετημένη στην εξαγωγή, και σε υπερπληρούμενους κινητήρες όπου αέρας εισαγωγής συμπιέζεται από μία αντλία ή ένα φυσητήρα που βρίσκεται σε μηχανική σύζευξη με τον στροφαλοφόρο άξονα.
- Διάταξη κυλίνδρων: σε σειρά, τύπου V κτλ.
- Κύκλος λειτουργίας: τετράχρονος, δίχρονος.
- Θέση των βαλβίδων: επί κεφαλής ή στο σώμα.
- Μέθοδος ψύξης: υδρόψυκτος ή αερόψυκτος.
- Καύσιμο λειτουργίας: πετρέλαιο, biodiesel
- Σχεδιασμός θαλάμου καύσης: μηχανές απ'ευθείας έγχυσης, μηχανές διαμεμένου θαλάμου, Common Rail

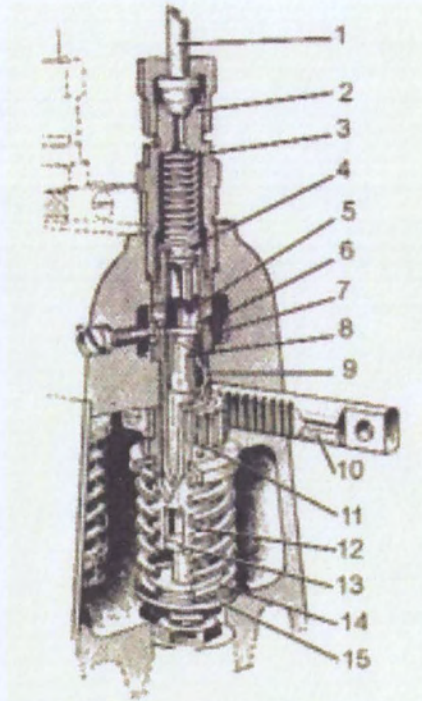
2.4. Αντλία έγχυσης

Η έγχυση του καυσίμου σε κάθε κύλινδρο επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της κατάλληλης αντλίας, η οποία αποτελεί ίσως και το σημαντικότερο εξάρτημα του συστήματος τροφοδοσίας μιας μηχανής. Η σωστή λειτουργία της μηχανής diesel στηρίζεται στον, όσο το δυνατόν, καλύτερο ψεκασμό του καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσης της. Έτσι ο ψεκασμός αυτός πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε το καύσιμο να διασπάται σε πολύ μικρά σταγονίδια, να ψεκάζεται δηλαδή με τη μορφή νέφους. Για να γίνει, όμως αυτό, το καύσιμο πρέπει να ψεκαστεί με πολύ μεγάλη πίεση και να περάσει μέσα από τις πολύ μικρές οπές των ακροφυσίων ψεκασμού. Συγχρόνως η διαδικασία αυτή πρέπει να γίνει την κατάλληλη στιγμή του κύκλου λειτουργίας της μηχανής και για κάθε κύλινδρο χωριστά, ενώ ανάλογα με το φορτίο της μηχανής, θα πρέπει να ελεγχθεί και η ποσότητα του καυσίμου που θα ψεκαστεί.

Όλα τα παραπάνω γίνονται με τη βοήθεια της αντλίας έγχυσης, η οποία αναλαμβάνει να στέλνει την κατάλληλη ποσότητα καυσίμου στους εγχυτήρες σε κάθε κύλινδρο χωριστά, την κατάλληλη στιγμή, και με την απαιτούμενη πίεση.

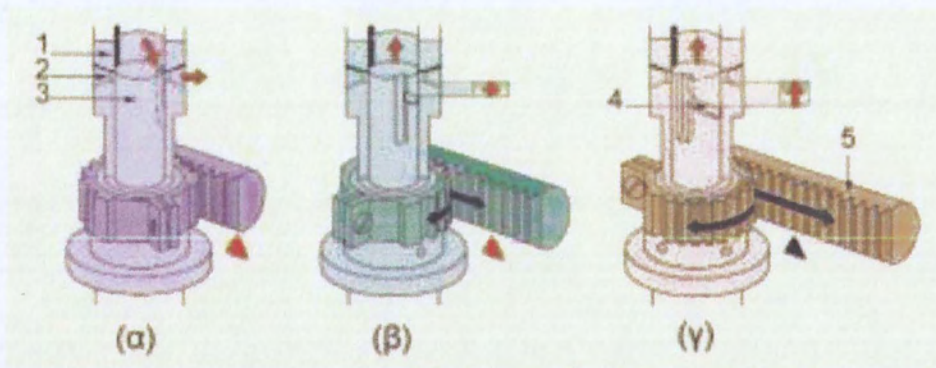
Η αντλία του κινητήρα μας ανήκει στις εμβολοφόρες αντλίες τύπου Bosch. Οι αντλίες τύπου Bosch αποτελούνται από το σώμα της αντλίας, τα αντλητικά στοιχεία, το ρυθμιστή των στροφών, το ρυθμιστή προέγχυσης και από την αντλία τροφοδοσίας. Τα έμβολα στα αντλητικά στοιχεία κινούνται από τα έκκεντρα ενός εκκεντροφόρου άξονα, ο οποίος παίρνει κίνηση από το στροφαλοφόρο άξονα της μηχανής μέσω οδοντωτών τροχών, ιμάντα ή αλυσίδα εδώ ως σημειωθεί, ότι η σχέση μετάδοσης για τις τετράχρονες μηχανές είναι 1:2, δηλαδή μία στροφή του εκκεντροφόρου της αντλίας αντιστοιχεί σε δυο στροφές του στροφαλοφόρου άξονα της μηχανής. Έτσι γίνεται κατανοήτο πως το βασικό τμήμα της

αντλίας έγχυσης αποτελεί το αντλικό στοιχείο, αυτό αποτελείται όπως προαναφέρθηκε από ένα έμβολο, το οποίο παλινδρομεί μέσα στον αντίστοιχο κύλινδρο.



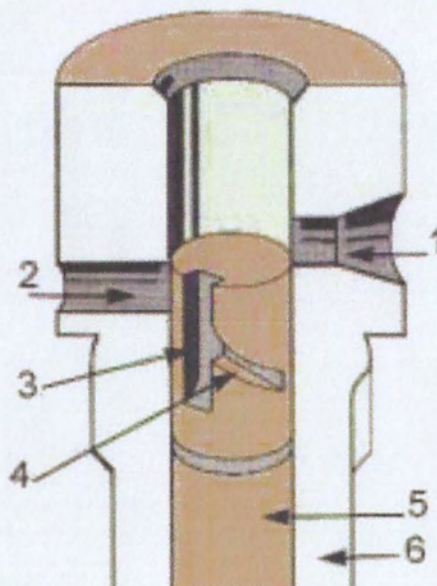
Εικόνα 3: Τα τμήματα της εμβολοφόρου αντλίας τύπου Bosch 1. Σωλήνας υψηλής πίεσης, 2. Σώμα βαλβίδα παροχής 3.Ελατήριο επαναφοράς βαλβίδας 4. Βαλβίδα παροχής, 5. Θάλαμος κατάθλιψης καυσίμου, 6. Θυρίδα εισόδου καυσίμου, 7. Θάλαμος αναρρόφησης, 8. Έμβολο με ελικοτομή, 9. Κύλινδρος, 10. Οδοντωτός κανόνας, 11. Γρανάζι στροφής εμβόλου, 12. Χιτώνιο, 13 Στέλεχος εμβόλου, 14. Ελατήριο επαναφοράς, 15. Δίσκος συγκράτησης ελατηρίου.

Η ολίσθηση του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο γίνεται με πολύ μικρές ανοχές (της τάξης των 1,5 μm) και έτσι εξασφαλίζεται σχεδόν απόλυτη στεγανότητα, χωρίς τη χρήση κάποιου άλλου μέσου. Το έμβολο συγχρόνως με την παλινδρομήσή του, μπορεί και να περιστρέφεται. Η περιστροφή αυτή του εμβόλου γίνεται μέσω ενός οδοντωτού κανόνα, ο οποίος είναι παράλληλος με τον με τον εκκεντροφόρο της αντλίας, ενώ μπορεί να μετακινείται και οριζόντια, γεγονός που επιφέρει και την περιστροφή του εμβόλου.



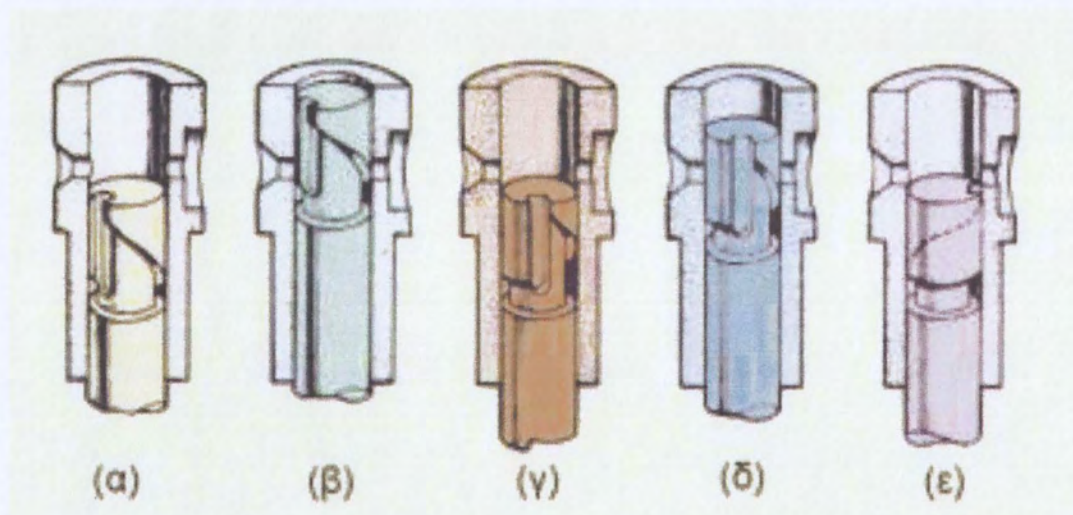
Εικόνα 4: Περιγραφή αντλητικού στοιχείου της εμβολοφόρου αντλίας έγχυσης τύπου Bosch 1. Κύλινδρος, 2. Εισαγωγή καυσίμου, 3. Έμβολο, 4. Ελικοτομή, 5. Οδοντωτός κανόνας
 α) Μηδενική παροχή, β) Μερικοί παροχή, γ) Μέγιστη παροχή

Ο κύλινδρος του αντλητικού στοιχείου διαθέτει δύο οπές στα τοιχώματά του, μία για την είσοδο του καυσίμου και μία για την επιστροφή του. Παράλληλα, στο επάνω μέρος του εμβόλου υπάρχει το άνοιγμα εξόδου του καυσίμου, το οποίο ελέγχεται από μια βαλβίδα ανεπίστροφης ροής που ονομάζεται βαλβίδα παροχής καυσίμου. Επίσης το έμβολο διαθέτει μια ελικοειδή και μια κατακόρυφη εγκοπή, μέσω των οποίων γίνεται η ρύθμιση της ποσότητας καυσίμου που θα σταλεί στους εγχυτήρες της μηχανής



Εικόνα 5:Μορφή του εμβόλου της αντλίας έγχυσης. 1. Είσοδος καυσίμου, 2 Επιστροφή καυσίμου, 3. Κάθετη τομή, 4. Ελικοτομή εμβόλου, 5. Έμβολο, 6. Κύλινδρος

Το πετρέλαιο λοιπόν βρίσκεται στο θάλαμο χαμηλής πίεσης ο οποίος περιβάλλει το αντλητικό στοιχείο και επικοινωνεί με αυτά, μέσω των οπών εισαγωγής. Έτσι, όταν το έμβολο του αντλητικού στοιχείου βρίσκεται στο κάτω μέρος, οι οπές του κυλίνδρου είναι ελεύθερες και συνεπώς το πετρέλαιο εισέρχεται στο χώρο που σχηματίζεται πάνω από το έμβολο. Καθώς λοιπόν, το έμβολο ωθείται προς τα επάνω από το έκκεντρο, κλείνουν οι οπές του κυλίνδρου και παγιδεύεται έτσι μια ποσότητα καυσίμου, η οποία συμπιέζεται με αποτέλεσμα κάποια στιγμή να ανοίξει η βαλβίδα παροχής και το καύσιμο να σταλεί για ψεκασμό στους εγχυτήρες. Καθώς όμως το έμβολο συνεχίζει την προς τα επάνω κίνησή του, η ελικοειδής εγκοπή του αποκαλύπτει την οπή επιστροφής του κασίμου. Αυτό έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα, η πίεση μέσα στον κύλινδρο του αντλητικού στοιχείου να πέσει απότομα και η βαλβίδα παροχής να κλείσει ακαριαία, διακόπτοντας την κατάθλιψη περισσότερου καυσίμου. Έτσι μετακινώντας τον οδοντωτό κανόνα, περιστρέφουμε το έμβολο του αντλητικού στοιχείου αλλάζοντας με τον τρόπο αυτό την αντίστοιχη θέση τη ελικοειδούς εγκοπής του εμβόλου, σε σχέση με την οπή επιστροφής του καυσίμου. Με το συστήμα αυτό, γίνεται αντιληπτό, ότι μπορούμε να καθορίσουμε την ποσότητα του καυσίμου που συμπιέζεται στον κύλινδρο του αντλητικού στοιχείου και άρα ψεκάζεται και απο τον εγχυτήρα της μηχανής [4].



Εικόνα 6: Οι διάφορες θέσεις λειτουργίας του εμβόλου της αντλίας έγχυσης α) Αρχή κατάθλιψης καυσίμου – μέγιστη ποσότητα κατάθλιψης, β) Τέλος κατάθλιψης καυσίμου – μέγιστη ποσότητα κατάθλιψης, γ) Αρχή κατάθλιψης καυσίμου – μερική ποσότητα κατάθλιψης, δ) Τέλος κατάθλιψης καυσίμου – μερική ποσότητα κατάθλιψης, ε) Κάτω θέση – κενή λειτουργία

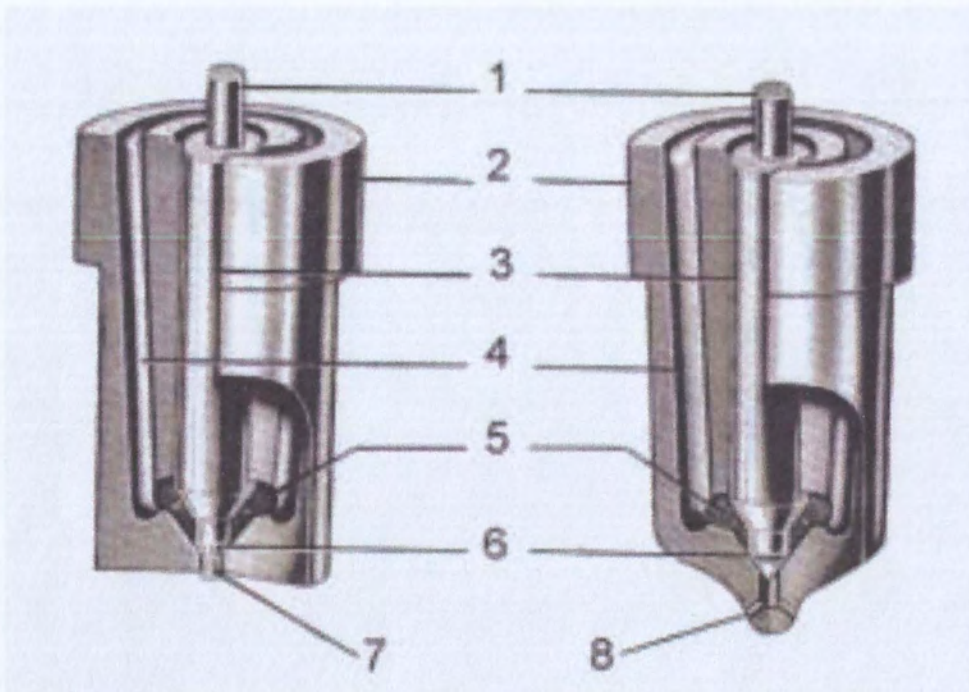
2.5. Εγχυτήρες (μπεκ)

Οι εγχυτήρες στα συστήματα έγχυσης των μηχανών diesel είναι το τελευταίο τμήμα του κυκλώματος τροφοδοσίας. Με τους εγχυτήρες το καύσιμο ψεκάζεται με τη μορφή λεπτότατων σταγονιδίων στο εσωτερικό των κυλίνδρων, προκειμένου να αναμειχθεί με το συμπιεσμένο αέρα, να εξατμιστεί και τέλος να καεί. Το καύσιμο φτάνει στους εγχυτήρες μέσω της αντλίας έγχυσης, η οποία φροντίζει για την αύξηση της πίεσης του ψεκαζόμενου καυσίμου που μπορεί να φθάσει και τα 2.000 bar. Η πίεση αυτή σε συνδυασμό με τις πολύ μικρές οπές που έχουν τα ακροφύσια των εγχυτήρων, προκαλεί τη διάσπαση του υγρού σε λεπτότα σταγονίδια. Ωστόσο η λειτουργία των εγχυτήρων είναι διπλή. Εκτός, δηλαδή, από τη

διάσπαση του υγρού καυσίμου σε λεπτότατα σταγονίδια, ώστε να είναι δυνατή η καύση του μέσα σε ελάχιστο χρόνο, οι εγχυτήρες σκοπό έχουν και να διασκορπίζουν το καύσιμο με τέτοιο τρόπο και ταχύτητα, ώστε μαζί με τον αέρα να δημιουργείται ένα όσο το δυνατόν περισσότερο ομοιογενές μίγμα, το οποίο να μπορεί να καεί σε οποίο σημείο του θαλάμου καύσης και αν βρίσκεται. Είναι, επίσης, γνωστό ότι η υψηλή πίεση που απαιτείται για τη διάσπαση του καυσίμου, θα πρέπει να δημιουργείται ακριβώς τη στιγμή της έγχυσης και να μηδενίζεται ακριβώς μετά το τέλος της έγχυσης, για να αποφεύγεται η διαρροή καυσίμου στο θάλαμο καύσης. Για το λόγο, λοιπόν, αυτό, τα ακροφύσια λειτουργούν και ως διαφορικές βαλβίδες, που φορτίζονται με ελατήριο. Για όσο χρόνο, δηλαδή, η βελονοειδής βαλβίδα παραμένει κλειστή, η πίεση του καυσίμου που δημιουργείται από την αντλία έγχυσης, ασκείται επάνω σε μια επιφάνεια της βαλβίδας μορφής δακτυλίου και η οποία επιφάνεια βρίσκεται στο κάτω μέρος του οδηγού της βαλβίδας και όχι στο άκρο του ακροφυσίου. Όταν η προς τα επάνω δύναμη που ασκείται στη βελονοειδή βαλβίδα υπερβεί τη δύναμη ενός ελατηρίου που την κρατά κλειστή, τότε αυτή ανυψώνεται από την έδρα της με αποτέλεσμα η πίεση του καυσίμου να ασκείται σε όλη την επιφάνεια της βαλβίδας, η οποία πλέον ανοίγει τελείως και απότομα. Όταν η πίεση του καυσίμου μειωθεί, η βελονοειδής βαλβίδα επανέρχεται στην έδρα της απότομα, ωθούμενη από το ελατήριο. Από τη στιγμή κατά την οποία το καύσιμο περνά από την βελονοειδή βαλβίδα, φθάνει σε κατάλληλα διαμορφωμένα ακροφύσια, που διαθέτουν μία ή περισσότερες οπές απ' όπου περνώντας εγχύεται και διασπάται σε λεπτά σταγονίδια. Ο αριθμός των οπών, η διάμετρος και η γωνία έγχυσης τους καθορίζουν τον τρόπο διασκορπισμού του καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσης, με αποτέλεσμα να επηρεάζουν, κατά πολύ, την παραγόμενη από τη μηχανή ισχύ, τη λειτουργία της ίδιας της μηχανής, την εξέλιξη της καύσης, το θόρυβο, την κατανάλωση του καυσίμου και τις εκπομπές των καυσαερίων.

Ανάλογα με τον τύπο τπυ θαλάμου καύσης της μηχανής, αν, δηλαδή, υπάρχει προθάλαμος καύσης ή προθάλαμος στροβιλισμού, ή η έγχυση γίνεται απευθείας, επιλέγεται και ο κατάλληλος τύπος εγχυτήρα. Οι δύο βασικοί τύποι είναι:

- Οι εγχυτήρες με ακροφύσιο στραγγαλισμού βελόνας
- Και οι εγχυτήρες τύπου οπής



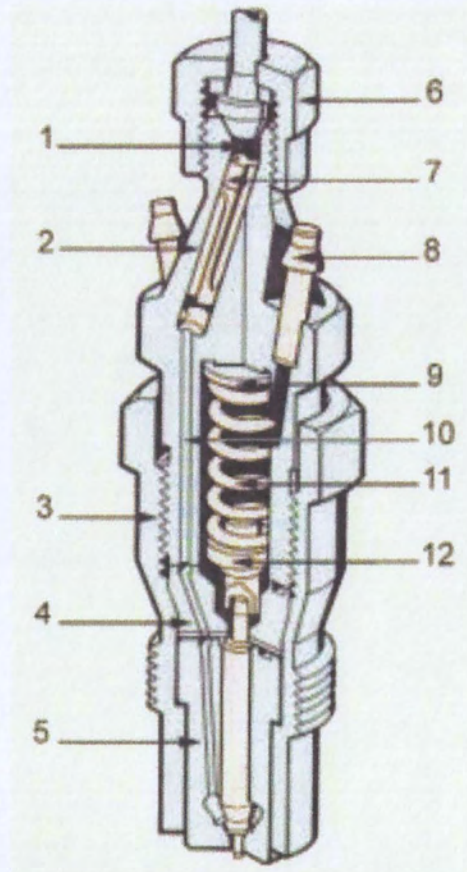
Εικόνα 7: Τύποι ακροφυσίων. 1. Στέλεχος πίεσης, 2. Σώμα ακροφυσίου, 3. Στέλεχος εγχυτήρα, 4. Είσοδος καυσίμου, 5 Θάλαμος πίεσης, 6. Έδρα, 7. Βελόνα ακροφυσίου, 8. Οπές ακροφυσίου

Οι εγχυτήρες με ακροφύσιο στραγγαλισμού βελόνας χρησιμοποιούνται σε μηχανές που διαθέτουν προθάλαμο καύσης ή προθάλαμο στροβιλισμού. Το ακροφύσιο αυτού του τύπου των εγχυτήρων ψεκάζει σε μορφή ομοαξονικής δέσμης το καύσιμο, ενώ η ποσότητα του ψεκαζόμενου καυσίμου καθορίζεται από το βαθμό ανύψωσης της βελόνας του ακροφυσίου. Αν, δηλαδή, η ανύψωση της βελόνας είναι μικρή, τότε αυτή παραμένει μέσα στην οπή του ακροφυσίου και η ποσότητα του ψεκαζόμενου καυσίμου είναι περιορισμένη. Αν όμως η βελόνα ανυψωθεί περισσότερο, η οπή εξόδου αποκαλύπτεται ολόκληρη και έτσι μπορεί να ψεκαστεί μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου. Χαρακτηριστικό του τύπου αυτού εγχυτήρα είναι, ότι στη αρχή της έγχυσης εξέρχεται μια μικρή μόνο ποσότητα καυσίμου, ενώ προς το τέλος της διαδικασίας αυτής, η ψεκαζόμενη ποσότητα καυσίμου είναι μεγαλύτερη. Σημειώνεται, πάντως, πως η πίεση του ανοίγματος της βελόνας του ακροφυσίου κυμαίνεται μεταξύ 80 και 125 bar. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας μιας μηχανής diesel, δημιουργούνται εξανθράκωματα, τα οποία φράζουν μερικώς ή ολοκληρωτικά τα ακροφύσια, δημιουργώντας ανωμαλίες στη λειτουργία της μηχανής. Η δημιουργία αυτών των επικαθίσεων στα ακροφύσια των εγχυτήρων εξαρτάται, κυρίως, από την ποιότητα του καυσίμου και τον τρόπο λειτουργίας της μηχανής.

Παραλλαγή αυτού του τύπου εγχυτήρα είναι ο εγχυτήρας με επίπεδη βελόνα, στον οποίο πρακτικά δεν υπάρχει διάκενο μεταξύ βελόνας και οπής, και ο οποίος είναι λιγότερο εύαισθητος στις επικαθίσεις.

Ο άλλος τύπος εγχυτήρα είναι ο εγχυτήρας τύπου οπής, ο οποίος χρησιμοποιείται σε μηχανές άμεσης έγχυσης. Η πίεση ανοίγματος της βελόνας σε αυτή τη περίπτωση, κυμαίνεται μεταξύ 150 και 250 bar. Η βελόνα του ακροφυσίου στο κάτω μέρος της είναι, συνήθως, κωνικού σχήματος και προσαρμόζεται σε αντίστοιχη κωνική έδρα, εξασφαλίζοντας πολύ καλή

στεγανότητα. Αυτού του τύπου το ακροφύσιο μπορεί να διαθέτει μία ή και περισσότερες οπές, έως και έξι, συμμετρικά τοποθετημένες [4].



Εικόνα 8: Βασικά μέρη εγχυτήρα, 1. Είσοδος καυσίμου, 2. Σώμα συγκρατήρα, 3. Περικοχλίο ακροφυσίου, 4. Ενδιάμεσο εξάρτημα, 5. Ακροφύσιο, 6. Ρακόρ και σωλήνας καυσίμου, 7. Φίλτρο καυσίμου, 8. Σύνδεση, 9. Προσθήκη ρυθμιστικής πίεσης, 10. Δίοδος πίεσης καυσίμου, 11. Ελατήριο, 12. Στέλεχος πίεσης εγχυτήρα

2.6. Ντίζελ κίνησης και βιοντίζελ

Το πετρέλαιο σαν καύσιμο Προκύπτει από τη διύλιση του αργού πετρελαίου στη μεσαία κλίμακα βρασμού (180° -360°C) και αποτελείται από περίπου 300 ομάδες υδρογονανθράκων και από διάφορα συστατικά όπως είναι η παραφίνη, το ναφθένιο, αρωματικές ενώσεις και η ολεφίνη. Όμως σαν καυσίμο στο εμπόριο διατίθεται με διάφορα πρόσθετα όπως βελτιωτικό ανάφλεξης - Ignition improver (αυξάνει τον αριθμό κετανίων), επιβραδυντικό Οξειδωσης - Oxidation inhibitor (βελτιώνει την αντοχή) , αποφυγή δημιουργίας αφρού - Anti-foam (η δημιουργία αφρού είναι ανεπιθύμητη κατά τον ανεφοδιασμό του ρεζερβουάρ), αποφυγή

δημιουργίας καπνού - Anti-smoke (πιο ολοκληρωμένη καύση των σωματιδίων του άνθρακα), απορρυπαντικό/Διαλυτικό - Detergents/dispersants (μείωση καταλοίπων στο σύστημα ψεκασμού. Για το περιορισμό των ρύπων που προκύπτουν από την καύση diesel στα περισσότερα κράτη έχουν επιβληθεί νομοθεσίες για την θέσπιση της ποιότητας των καυσίμων. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του καυσίμου diesel για την ευρωπαϊκή ένωση [5], [6].

Property	Unit	Specification	
		Min	Max
Cetane Number		52	54
Density @15°C	kg/m ³	833	837
Distillation (vol. % recovered)			
- 50% point	°C	245	-
- 95% point		345	350
- final boiling point		-	370
Flash point	°C	55	-
CFPP	°C	-	-5
Viscosity @40°C	mm ² /s	2.5	3.5
Polycyclic aromatic hydrocarbons	% wt.	3	6
Sulfur content a	mg/kg	-	300*
Copper corrosion		-	Class 1
Conradson carbon residue (10% DR)	% wt.	-	0.2
Ash content	% wt.	-	0.01
Water content	% wt.	-	0.05
Neutralization (strong acid) number	mg KOH/g	-	0.02
Oxidation stability	mg/ml	-	0.025

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά του καυσίμου diesel στην ευρωπαϊκή ένωση

Όμως σε μηχανές Diesel μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο το biodiesel. Ο όρος biodiesel χρησιμοποιείται για να περιγράψει fatty acid methyl or ethyl esters που

παράγονται από φυτικά ή και ζωϊκά λίπη. Το biodiesel παρουσιάζει τόσο πλεονεκτήματα όσο και σημαντικά μειονεκτήματα.

Property	Method	Typical No. 2	100% Soy Biodiesel	
LHV, btu/gal	D240	131,000	117,000	← 10% lower energy content
Density, 15°C	D4052	0.85	0.88	
Viscosity, cP	D445	2.7	4.1	← More viscous
Distillation, °C	D86			
IBP		174	300	
10%		215	328	
50%		253	336	
90%		312	350	← Higher T90
FBP		344	360	
Carbon Residue	D524/D45	<0.35	<0.1	← Lower carbon residue
Cetane number	D613	45	~50	← Higher cetane
Sulfur, ppm	D5453	300	<1	← Very low sulfur and aromatics
Total Aromatics	D5186	~30	0	
Cloud Point, °C	D2500	-15	0	← Higher cloud point

Πίνακας 2: Σύγκριση ντίζελ κίνησης (3η στήλη) με βιοντίζελ (4η στήλη)

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του biodiesel αναφέρονται παρακάτω:

- Μηδενικό περιεχόμενο σε θείο και βαρέα μέταλλα
- Φιλικό σε καταλύτες και παγίδες αιθάλης
- Χαμηλή φθορά εξαρτημάτων (διάβρωση)
- Υψηλή (φυσική) λιπαντικότητα
- Προστασία (από φθορά) της αντλίας υψηλής
- Υψηλό ιξώδες
- Μικρές διαρροές στην αντλία υψηλής άρα καλύτερη απόδοση της αντλίας
- Μείωση της κατανάλωσης
- Υψηλός αριθμός κετανίου
- Εύκολη ανάφλεξη στο κρύο
- Χαμηλός θόρυβος κινητήρα
- Λιγότερο «κάπνισμα» του κινητήρα (λόγω της ύπαρξης οξυγόνου)
- Μείωση της θολότητας των καυσαερίων
- Μείωση των επικαθίσεων στον κινητήρα

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα του biodiesel αναφέρονται παρακάτω:

- 10-12% μικρότερο ενεργειακό περιεχόμενο από ορυκτό diesel
- Αύξηση της κατανάλωσης (B100 κατά 5-7%)
- Μείωση της μέγιστης απόδοσης ισχύος
- Τάση σχηματισμού συσσωματωμάτων βαρέων υδρογονανθράκων
- Χαμηλές θερμοκρασίες
- Μεγάλα διαστήματα αποθήκευσης
- Φραγή συστημάτων υψηλής πίεσης / φίλτρου καυσίμου
- Διαβρωτικό για ορισμένα ελαστομερή: Τσιμούχες, Φλάτζες, Ελαστικοί σύνδεσμοι
- Διαλυτικό για επικαθίσεις / λιπαντικό
- Διάλυση υπαρχόντων επικαθίσεων και φραγή φίλτρου

- Συχνότερη αλλαγή λιπαντικού
- Διάβρωση μεταλλικών τμημάτων
- Μικρή αντοχή στην οξείδωση

2.7. Βασικές σχέσεις θεωρίας MEK

Η μέτρηση της πίεσης του κυλίνδρου σαν συνάρτηση της γωνίας στροφάλου (δυναμοδεικτικό διάγραμμα) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του έργου που πραγματοποιείται από το αέριο στο πιστόνι. Παρτηρώντας το διάγραμμα PV της τετράχρονης μηχανής βλέπουμε την ύπαρξη δύο βρόγχων. Τον βρόγχο υψηλής πίεσης και τον βρόγχο χαμηλής πίεσης όπου ο πρώτος αποτελεί την κλειστή περίοδο του κύκλου και ο δεύτερος την ανοιχτή. Στην κλειστή περίοδο προσδίδεται ισχύς από τα αέρια της καύσης. Ενώ η ανοιχτή περίοδος στον τετράχρονο κινητήρα φυσικής αναπνοής έχει αρνητική συμβολή στην απόδοση ενός κινητήρα και οφείλεται στις διαφορές πιέσεων από την ατμοσφαιρά που απαιτούνται για να γίνει η εισαγωγή αέρα και η εξαγωγή των καυσαερίων. Το ενδεικνύμενο έργο του κύκλου (ανά κύλινδρο) προκύπτει από το επικαμπύλιο ολοκλήρωμα στον κλειστό βρόγχο [7].

$$W = \oint p dv$$

Η αναπτυσσόμενη ισχύς ανά κύλινδρο δίνεται από τη σχέση:

$$P_i = \frac{WxN}{n_R}$$

Όπου, W : ενδεικνύμενο έργο ανά κύλινδρο (kj)

N : αριθμός στροφών κινητήρα (rev/sec)

n_R : ο αριθμός περιστροφών του στροφάλου που αντιστοιχούν σε ένα κινητήριο εμβολισμό (2 για τετρέχρονο κινητήρα)

Ο όγκος του κυλίνδρου βάσει της γωνίας στροφάλου υπολογίζεται από τον τύπο:

$$V(\theta) = \frac{V_d}{r_c - 1} + \frac{V_d}{2} [R + 1 - \cos \theta - (R - \sin^2 \theta)^{1/2}]$$

Όπου, θ : η γωνία στροφάλου

V_d : κυβισμός κινητήρα

R : σχέση μήκους διωστήρα προς ακτίνα στροφάλου

Το ισοζύγιο του συστημάτος μας περιγράφεται απο τον παρακάτω τυπο:

$$P_{brake} = P_i - P_{fric} - P_{pumping}$$

Όπου, P_{brake} : Ισχύς στον άξονα (kw)

P_i : αναπτυσσόμενη ισχύς (kw)

P_{fric} : Ισχύς τριβών (kw)

$P_{pumping}$: Ισχύς άντλησης (kw)

Στα περισσότερα συγγράμματα η ισχύς του έργου άντλησης περιέχεται στην ισχύ των τριβών, έτσι το ισοζύγιο γράφεται ως εξής:

$$P_{brake} = P_i - P_{fric}$$

Ενδεικνύμενη μέση πίεση η IMEP είναι το μέτρο του παραγόμενου έργου προς τον όγκο εμβολισμού, μία παράμετρο που είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος της μηχανής, τον αριθμό κυλίνδρων και την ταχύτητα της μηχανής η οποία ορίζεται ως:

$$imep = \frac{\int p dV}{V_d}$$

Η μέση πραγματική πίεση υπολογίζεται από τον τύπο:

$$mep = \frac{P_i \times n_R}{V_d \times N}$$

Από τον τύπο για της μέσες πιέσεις ισχύει ότι:

$$fmep = imep - mep$$

Όπου, $fmep$: μέση πίεση τριβών

Έπειτα για την ροπή έχουμε ότι υπολογίζεται από την σχέση:

$$T = \frac{mep \times V_d}{4\pi}$$

Και τέλος για την ενδεικνύμενη ροπή ισχύει:

$$T_{ind} = \frac{imep \times V_d}{4\pi}$$

2.8. Δυναμεικτικό διάγραμμα

Η πίεση στον κύλινδρο μεταβάλλεται ανάλογα με τη γωνία στροφάλου σαν αποτέλεσμα μεταβολών στον όγκο του κυλίνδρου καθώς και της καύσης, της μετάδοσης θερμότητας στα τοιχώματα του θαλάμου καύσης, της ροή από και προς τις εσοχές του θαλάμου καθώς και των διαρροών αερίων [8]. Τα πρώτα δύο φαινόμενα είναι αυτά που μπορούν να μελετηθούν ευκολότερα σε ένα κινητήρα diesel αφού ισχύουν οι εξής περιορισμοί:

- Το υγρό καύσιμο εκτοξεύεται μέσα στον κύλινδρο όπου ατμοποιείται και αναμιγνύεται με τον αέρα παράγοντας ένα μίγμα του οποίου η κατανομή περιεκτικότητας είναι μη ομοιόμορφη και κυμαίνεται με τον χρόνο. Επίσης η διεργασία δεν είναι οιοειδή στατική.
- Η σύνθεση των καυσαερίων (επίσης μη ομοιόμορφη) δεν είναι γνωστή.
- Η διακύμανση της ακρίβειας των μεθόδων πρόβλεψης της μεταφοράς θερμότητας σε μηχανές diesel δεν ορίζεται επαρκώς.
- Περιοχές όπως οι όγκοι μεταξύ εμβόλου, ελατηρίων εμβόλου και τοίχου κυλίνδρου αποτελούν ένα μικρό ποσοστό του όγκου εμβολισμού, όμως σε αυτά τα σημεία το αέριο ψύχεται σε θερμοκρασία που προσεγγίζει την θερμοκρασία του τοιχώματος αυξάνοντας έτσι την πυκνότητα του. Άρα οι συγκεκριμένοι όγκοι αποτελούν τομείς του κυλίνδρου όπου οι συνθήκες του αερίου διαφέρουν από τις συνθήκες του υπόλοιπου θαλάμου καύσης.

Η πίεση του κυλίνδρου μπορεί να μετρηθεί με πιεζοηλεκτρικούς αισθητές πίεσης των οποίων το σήμα μετατρέπεται σε τάση μέσα από έναν ενισχυτή φορτίου. Η τάση αυτή μπορεί να μετρηθεί με ένα παλμογράφο ή να ανακτηθεί σε έναν υπολογιστή με κάρτα On-line ανάκτησης δεδομένων. Η λήψη δυναμεικτικών διαγραμμάτων ακριβείας απαιτεί την ικανοποίηση των παρακάτω προϋποθέσεων:

- Ακριβή βαθμονόμηση του κρυστάλλου σε πίεση αναφοράς
- Ακρίβεια μεγαλύτερη από 0,2ο στο χρονισμό ταυτόχρονης λήψης πίεσης-γωνίας στροφάλου
- Ακριβής εκτίμηση του νεκρού όγκου
- Επαρκής ψύξη του κρυστάλλου για την ελαχιστοποίηση των θερμοκρασιακών του διακυμάνσεων. Η ποιότητα των δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων μπορεί να ελεγχθεί με την μετατροπή τους σε λογαριθμικά διαγράμματα πίεσης όγκου.

Τα δυναμοδεικτικά διαγράμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της γραμμής καύσης με την απλούστερη τεχνική προσδιορισμού:

Η μεταβολή πίεσης που μετράμε σε ένα διάστημα γωνίας στροφάλου $\Delta\theta$, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από μια μεταβολή εξαιτίας της καύσης και μια μεταβολή εξαιτίας της μεταβολής όγκου του θαλάμου καύσης

$$\Delta p = \Delta p_c + \Delta p_u$$

Οι πιέσεις και οι όγκοι στην αρχή και στο τέλος του διαστήματος $\Delta\theta$ με απουσία καύσης συνδέονται με την σχέση:

$$P_i V_i^n = P_j V_j^n$$

$$\Delta p_u = P_j - P_i = P_i \left[\left(\frac{V_i}{V_j} \right)^n - 1 \right]$$

Επομένως:

Υποθέτοντας ότι η μάζα γόμωσης που καίγεται στο διάστημα $\Delta\theta$ είναι ανάλογη με την αύξηση πίεσης λόγω καύσης (με βάση την καταστατική εξίσωση των αερίων) το κλάσμα μάζας που κάρηκε στο τέλος του διαστήματος i δίνεται από την σχέση:

$$\frac{m_{b(i)}}{m_{b(total)}} = \frac{\sum_{i=0}^1 \Delta p_c}{\sum_{i=0}^N \Delta p_c}$$

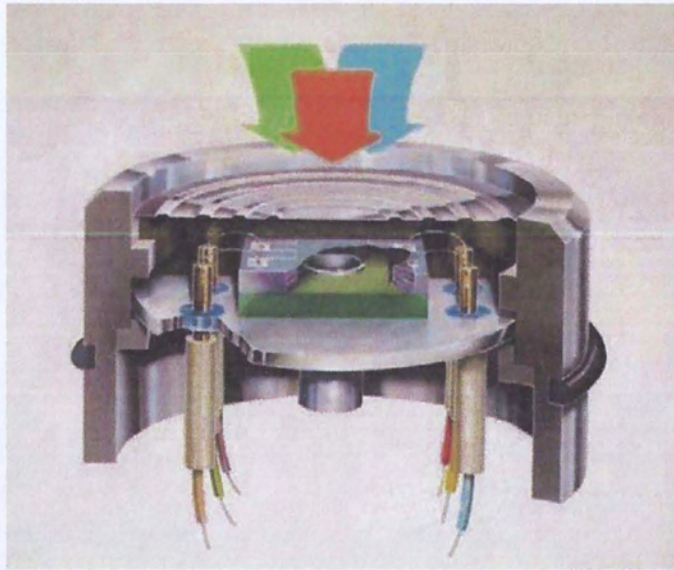
Όπου N είναι ο συνολικός αριθμός διαστημάτων γωνίας στροφάλου του υπολογισμού.

Ο συνδυασμός των εξισώσεων (13-16) επιτρέπει τον υπολογισμό της γραμμής καύσης, με βάση τις παρακάτω απλοποιητικές παραδοχές:

1. Η μετάδοση θερμότητας προς τα τοιχώματα δεν υπολογίζεται ευθέως αλλά συμπεριλαμβάνεται στον πολυτροπικό εκθέτη n .
2. Η αύξηση της πίεσης εξαιτίας της καύσης υποτίθεται ανάλογη με τη μάζα της γόμωσης που καίγεται ενώ στην πραγματικότητα θα πρέπει να υπολογιστεί με βάση την εκλυόμενη χημική ενέργεια.
3. Ο πολυτροπικός εκθέτης δεν παραμένει σταθερός στην διάρκεια της καύσης. Ανεξάρτητα από αυτό το αποτέλεσμα της παραπάνω μεθοδολογίας ανάλυσης του δυναμοδεικτικού διαγράμματος εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την επιλογή του n [9], [10].

2.9. Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας μέτρησης πίεσης θαλάμου καύσης

Σ έναν αισθητήρα πίεσης που εκμεταλλεύεται το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, το διάφραγμα του αισθητήρα πιέζει τον πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο, καθώς παραμορφώνεται από τις μεταβολές πίεσης που δέχεται. Τα ηλεκτρικά φορτία αντίθετου πρόσημου που εμφανίζονται στις όψεις του κρυστάλλου είναι ανάλογα τις εξασκούμενης μηχανικής τάσης και άρα της πίεσης. Ο πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος είναι συνήθως ένα κομμάτι χαλαζία. Αυτός ο τύπος αισθητήρα ενσωματώνει συχνά κάποιο κύκλωμα ρύθμισης σήματος σε σφραγισμένη μονάδα, χρησιμοποιώντας τεχνολογία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες πίεσης λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες και μπορούν να έχουν μικρό μέγεθος. Το κύριο πλεονέκτημα που έχουν είναι ότι έχουν ταχεία απόκριση και σχετικά μεγάλο εύρος λειτουργίας. Επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ειδικές εφαρμογές, όπως είναι η μέτρηση της πίεσης στο εσωτερικό ενός όπλου όταν αυτό εκπυρσοκροτεί ή στον κύλινδρο μίας μηχανής εσωτερικής καύσης. Έχουν πολύ υψηλή ευαισθησία και επίσης καλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα. Στην περίπτωση όμως που θέλουμε να εκτελέσουμε ακριβείς μετρήσεις στην πίεση στον κύλινδρο μίας μηχανής εσωτερικής καύσης οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες παρουσιάζουν το πρόβλημα του θερμικού σοκ. Η περιοδική έκθεση του πιεζοηλεκτρικού αισθητή στην καύση έχει σαν αποτέλεσμα την συστολή και τη διαστολή του διαφράγματος λόγω των μεγάλων θερμοκρασιακών διαφορών. Αυτή η διεργασία ασκεί μία δύναμη στον κρύσταλλο που διαφέρει από αυτήν που ασκείται από την πίεση που ασκεί το εκτονούμενο αέριο. Το θερμικό σοκ επηρεάζει όλες τις παραμέτρους που υπολογίζονται βάσει της πίεσης, αλλά αυτή που επηρεάζεται περισσότερο είναι η μέση ενδεικνύμενη πίεση, που μπορεί να επηρεαστεί και σε ποσοστό μέχρι 10%. Σε χαμηλές ταχύτητες κινητήρα, μεγάλο φορτίο και πλούσια μίγματα το σφάλμα που προκαλεί το θερμικό σοκ είναι πιο σημαντικό, ενώ η θέση στην οποία θα τοποθετηθεί ο αισθητής δεν φαίνεται να επηρεάζει αισθητά την εμφάνιση του φαινομένου [11].



Εικόνα 9: Αναπαράσταση ενός πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα εμφανής ο κρύσταλλος χαλαζία και το διάφραγμα

3. Επίδραση χρήσης μειγμάτων βιοντίζελ στα κυριότερα συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου

3.1. Βιοντίζελ (Biodiesel)

Το ΥΠΕΚΑ (Υπουργείο Παραγωγικής Ανασυγκρότησης Περιβάλλοντος & Ενέργειας), ορίζει ως «βιοντίζελ τους μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων (FAME – fatty acid methyl or ethyl esters) που παράγονται από φυτικά ή ζωικά έλαια και λίπη και είναι ποιότητας ντίζελ, για χρήση ως Βιοκαύσιμο» Βιοντίζελ επίσης μπορεί να παραχθεί από διάφορες ενεργειακές καλλιέργειες, φυτικούς θαλάσσιους οργανισμούς καθώς και από ποικίλα λάδια που έχουν δοθεί προς ανακύκλωση. Το βιοντίζελ εντάσσεται στην ευρύτερη κατηγορία των πράσινων καυσίμων και σήμερα είναι το πλέον διαδεδομένο βιοκαύσιμο. Ιδιαίτερη χρήση του βιοντίζελ γίνεται με την χρήση του ως καύσιμη ύλη σε κινητήρες ντίζελ, κάτι που εξηγείται από την συγγενή του χημική σύσταση με το ντίζελ κίνησης.

Το βιοντίζελ βρίσκει σημαντική εφαρμογή στον τομέα των μεταφορών, αφού αντικαθιστά το “συμβατικό” πετρέλαιο κίνησης με πολλαπλά οφέλη τόσο για τους ίδιους τους ντιζελοκινητήρες, όσο και για το περιβάλλον. Επειδή οι εκπεμπόμενοι ρύποι που εκλύονται κατά την καύση του είναι αρκετά μειωμένοι, αντιμετωπίζεται ως το καθαρότερο καύσιμο μετά το αέριο. Επίσης το βιοντίζελ χρησιμοποιείται σε πρόσμιξη με καθαρό πετρέλαιο κίνησης σε μικρή ποσότητα, χωρίς να επηρεάζει την λειτουργία και μακροζωία του κινητήρα όταν πληροί τις ορισμένες προδιαγραφές ως προς την σύσταση του. Έχει μεγάλη διαλυτική ικανότητα και με αυτόν τον τρόπο μπορεί να απομακρύνει τα κατάλοιπα και τις επικαθίσεις που προκύπτουν κατά την διαδικασία της καύσης στον κινητήρα. Από την σκοπιά του ενεργειακού περιεχομένου μπορεί κανείς να πει πως το βιοντίζελ ελάχιστα υστερεί σε σχέση με το πετρέλαιο κίνησης.

Κατά την χρήση του σε κινητήρες που σχεδιάστηκαν για καύση ντίζελ κίνησης μπορεί να υπάρξουν κάποια θέματα σε σχέση με την ποιοτική σταθερότητα του καυσίμου. Μια τέτοια περίπτωση είναι το υψηλότερο ιξώδες του βιοντίζελ σε σχέση με το ντίζελ κίνησης κάτι που θα μπορούσε να αποτελούσε πρόβλημα σε συνθήκες με ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασιακές συνθήκες. Πολλές φορές το συγκεκριμένο πρόβλημα αντιμετωπίζεται με αντικατάσταση της γραμμής του καυσίμου από σωληνάκια υψηλής πίεσης με μεγαλύτερη διάμετρο. Προσοχή κατά την χρήση βιοντίζελ, θα πρέπει να δίνεται και στην ανάπτυξη βακτηρίων και καταλοίπων. Ωστόσο με την χρήση των κατάλληλων χημικών προσθέτων δεν υπάρχει κίνδυνος για την εμφάνισή τους. Στην Ελλάδα την τελευταία δεκαετία, το βιοντίζελ βρίσκεται σε μικρό ποσοστό σε πρόσμιξη με όλες τις ποσότητες πετρελαίου κίνησης που διακινούνται στην χώρα. Οι ποσότητες του βιοντίζελ που απαιτούνται για την πρόσμιξή του με το καθαρό ντίζελ κίνησης κατά προτεραιότητα προέρχονται από εγχώριες ενεργειακές καλλιέργειες και πρώτες ύλες που επεξεργάζονται από ελληνικές μονάδες ώστε να μετατραπούν σε βιοντίζελ. Στην περίπτωση

που η εγχώρια παραγωγή δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών της αγοράς, εισάγονται από άλλα Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, είτε πρώτες ύλες που επεξεργάζονται από ελληνικές μονάδες, είτε έτοιμο βιοντίζελ ως τελικό προϊόν.

Τα τελευταία χρόνια, η ποσόστωση ανάμιξης του βιοντίζελ στο ντίζελ κίνησης, ολοένα και αυξάνεται. Στο τέλος του 2005, οπότε και ξεκίνησε η ανάμιξη, το ποσοστό του βιοντίζελ στο πετρέλαιο κίνησης είχε οριστεί στα 2,5% κατ' αναλογία όγκου, ενώ σύντομο χρονικό διάστημα ανέβηκε στα 4,5% προκειμένου να φτάσει στις αρχές του 2010 στο 6,5%. Από το 2013 στα πρατήρια υγρών καυσίμων ξεκίνησε και η διάθεση του καυσίμου B7, το οποίο είναι ντίζελ κίνησης αναμεμιγμένο με βιοντίζελ σε ποσοστό 7%. Οι παρτηριουχοι, υποχρεούνται να ενημερώσουν τον καταναλωτή για το ποσοστό ανάμιξης του βιοντίζελ, μόνο στην περίπτωση που αυτό ξεπερνάει το 7%. Σε κάθε περίπτωση η ανάμιξη του πετρελαίου κίνησης με το βιοντίζελ, γίνεται είτε από τα διυλιστήρια, είτε από τις εισαγωγικές πετρελαϊκές εταιρίες, πριν διαθέσουν το καύσιμο στην χονδρική αγορά [12].

Τα οφέλη που μπορούν να προκύψουν από την χρήση του βιοντίζελ στον τομέα των μεταφορών είναι τα εξής:

- Ποιοτική βελτίωση του ατμοσφαιρικού αέρα και μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου, λόγω των χαμηλότερων εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα.
- Ενεργειακή ανεξάρτηση από το πετρέλαιο και τις εισαγόμενες ενεργειακές πηγές.
- Ανάπτυξη της αγροτικής οικονομίας με ενεργειακές καλλιέργειες.
- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας με την κατασκευή βιομηχανικών μονάδων μεταποίησης των ενεργειακών καλλιεργειών και των υλών προς ανακύκλωση σε βιοντίζελ.
- Βελτίωση του ποσοστού της ελληνικής προστιθέμενης αξίας στο τελικό προϊόν και αύξηση των εξαγωγών της χώρας.
- Επίτευξη στόχων στην κατεύθυνση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας και της ασφάλειας στον εφοδιασμό των καυσίμων.

3.2. Βλάβες στα συστήματα μεταφοράς καυσίμου από την χρήση βιοντίζελ

Οι κατασκευαστές συστημάτων ψεκασμού καυσίμου (FIE – fuel injection equipment), στηρίζουν και θεωρούν επιθυμητή την χρήση νέων πηγών καυσίμων στους κινητήρες εσωτερικής καύσης. Στην Ευρώπη και την Αμερική, καθώς και σε διάφορες χώρες ανά την υφήλιο, πηγές καυσίμων όπως το κραμβέλαιο (RME - rapeseed methyl ester) και το σογιέλαιο (SME - soybean methyl ester), γνωστές ως μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων (FAME – fatty acid methyl or ethyl esters), χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικές πηγές και διαλυτικά για ορυκτά έλαια καυσίμων.

Η αρχή για την μαζική χρήση του βιοντίζελ στην Ευρώπη, έγινε με την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα βιοκαύσιμα ΕΕ 2003/30/ΕΚ, η οποία απαιτεί από τα κράτη μέλη να

διασφαλίσουν ότι μια ελάχιστη αναλογία βιοκαυσίμων ή άλλων εναλλακτικών καυσίμων θα τοποθετηθούν στην αγορά.

Οι κατασκευαστές FIE, γνωρίζουν τις βλάβες που μπορεί να προκύψουν από την χρήση βιοντίζελ και για αυτόν τον λόγο ήδη είναι ενεργοί με την θέσπιση προδιαγραφών για το συγκεκριμένο είδος καυσίμου. Το πρώτο βήμα έγινε με την κοινή δήλωση 20Q0, ενώ πριν από αυτήν υπήρχαν ήδη εθνικά πρότυπα για τους μεθυλεστέρες φυτικών ελαίων (VOME) στην Αυστρία, την Ιταλία, τη Γερμανία και τη Γαλλία. Τα παραπάνω εθνικά πρότυπα αντικαταστάθηκαν στην συνέχεια με το νέο Ευρωπαϊκό FAME πρότυπο EN14214, που προβλέπει τις ελάχιστες απαιτήσεις για την ποιότητα του βιοντίζελ, είτε αυτό χρησιμοποιείται ως βιοντίζελ, είτε χρησιμοποιείται ως συστατικό μείγματος. Αυτή τη στιγμή εφαρμόζεται το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 590 που επιτρέπει ποσοστό ανάμιξης του βιοντίζελ στο πετρέλαιο κίνησης έως και 5%, προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος της πρόωρης αστοχίας του συστήματος καυσίμου. Οι αυξανόμενη παραγωγή του βιοντίζελ στην Ευρωπαϊκή Ένωση, επέτρεψε στις νομοθετικές αρχές να εξετάσουν την αύξηση του μέγιστου επιπέδου ανάμιξης βιοντίζελ στο ντίζελ κίνησης από το 5% στο 10%. Έτσι έχουν ήδη ξεκινήσει οι απαραίτητες δραστηριότητες για την τυποποίηση και επικύρωση της οδηγίας για χρήση καυσίμου B10 (10% βιοντίζελ και 90% ντίζελ κίνησης), παρά το γεγονός ότι οι κατασκευαστές FIE θεωρούν ότι η βιομηχανία πρέπει προς το παρόν να μείνει στα ποιοτικά επίπεδα σταθερότητας του καυσίμου B5 (5% βιοντίζελ και 95% ντίζελ κίνησης).

Οι ανησυχίες των κατασκευαστών συστημάτων τροφοδοσίας καυσίμου (FIE) σχετικά με την ποιότητα των FAMEs, εντοπίζονται στο ότι τα FAMEs προέρχονται από ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών αποθεματικών πηγών και αντιστοίχως ευρύ είναι και το φάσμα των τελικών χαρακτηριστικών του βιοντίζελ που παράγεται από αυτά.

Τα βασικά χαρακτηριστικά της ποιότητας του καυσίμου που ανησυχούν τους κατασκευαστές FIE, είναι τα εξής:

- Ελεύθερη μεθανόλη
- Νερό
- Ελεύθερη γλυκερίνη
- Μονογλυκερίδια/διγλυκερίδια/τριγλυκερίδια
- Ελεύθερα λιπαρά οξέα
- Συνολικό επίπεδο στερεών προσμίξεων
- Αλκαλικές γαίες
- Αντοχή στην οξείδωση

Όλα τα FAMEs είναι λιγότερο σταθερά από τα ορυκτά έλαια καυσίμων. Τα FAMEs μπορούν να βιο-διασπαστούν εύκολα και αυτό είναι ένα μεγάλο εμπορικό πλεονέκτημα αν αναλογιστεί κανείς ότι η περιβαλλοντική καταστροφή στην περίπτωση ενός ατυχήματος με απώλεια ή διαρροή καυσίμου, θα είναι πολύ μικρότερη.

Από την άλλη μεριά όμως η μειωμένη θερμική οξειδωτική σταθερότητα είναι ένα θέμα που ανησυχεί ιδιαίτερα τους κατασκευαστές FIE, αφού τα προϊόντα που προκύπτουν από την γήρανση του καυσίμου, μπορεί να είναι δυνητικά βλαβερά για το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου.

Εργαστηριακές δοκιμές που έχουν πραγματοποιηθεί, έχουν δείξει ότι η αλλοίωση του βιοντίζελ μπορεί να συμβεί τόσο στην αλυσίδα εφοδιασμού του καυσίμου, όσο και στο σύστημα καυσίμου του οχήματος. Η γήρανση του καυσίμου επιτυγχάνεται με την παρουσία θερμότητας, οξυγόνου, νερού, μεταλλικών ιόντων, και άλλων ακαθαρσιών. Τα προϊόντα της οξειδωτικής γήρανσης έχει δειχθεί ότι είναι διαβρωτικά (π.χ. οργανικά οξέα όπως, μυρμηκικό οξύ, οξικό οξύ και άλλα οξέα υψηλότερου μοριακού βάρους). Ιδιαίτερο θέμα αποτελεί επίσης η σταθερότητα στην οξείδωση των FAME καυσίμων που περιέχουν αποθειωμένο ντίζελ ($S < 10$ ppm), το οποίο είναι ήδη διαθέσιμο σε ορισμένα μέρη της Ευρώπης και μελλοντικά αναμένεται να γίνει ευρέως χρησιμοποιούμενο στο μεγαλύτερο ποσοστό της ευρωπαϊκής επικράτειας.

Η σταθερότητα οξείδωσης των μειγμάτων ντίζελ έως και B5, μπορεί να μειωθεί όταν χρησιμοποιείται ντίζελ στο οποίο δεν περιέχεται θείο ή ντίζελ με θείο 15ppm. Σε ορισμένες χώρες, η εισαγωγή των μη εστεροποιημένων βιογενών καυσίμων εξετάζεται ως συστατικό πρόσμιξης. Οι κατασκευαστές FIE, διαφωνούν με αυτήν την προοπτική και ζητούν από τους καταναλωτές να στηρίξουν τις προσπάθειες τους για την διάθεση καυσίμων με καλή σταθερότητα στην οξείδωση.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι πιθανές βλάβες που μπορεί να προκύψουν στο σύστημα ψεκασμού του καυσίμου, όπως αυτές δημοσιεύθηκαν στο κείμενο κοινής δήλωσης των μεγαλύτερων κατασκευαστών FIE (DELPHI DIESEL SYSTEM, ROBERT BOSCH GmbH DIESEL SYSTEMS, SIEMENS VDO DIESEL SYSTEMS, STANADYNE CORPORATION, DENSO CORPORATION) [13].

Fuel Characteristic	Effect	Failure Mode
Fatty acid methyl esters (general)	Softening, swelling or hardening and cracking of some elastomers Including nitrite rubbers (physical effect depends upon elastomer composition) Displacement of deposits from diaset operation	Fuel leakage Filter plugging
Free methanol in FAME	Corrosion of aluminium & zinc Low flash point	Corrosion of FIE
FAME process chemicals	Entry of potassium & sodium and water hardness (alkaline earth metals) Entry of free fatty acids hastens the corrosion of non ferrous metals, e.g. zinc Salt formation with organic acids (soaps) Sedimentation	Filter plugging Corrosion of FIE Filter plugging Sticking moving parts
Free water	Reversion (Hydrolysis) of FAME to fatty acid and methanol Corrosion Sustainment of bacterial growth Increase of electrical conductivity of the fuel	Corrosion of F IB Filter plugging
Free glycerine	Corrosion of non-ferrous metals Soaking of cellulose filters Sediment or* moving parts and lacquering	Filter plugging Injector coking
Mono-, dl- and tri-glyceride	Similar to glycerine	Injector coking
Higher modulus of elasticity	Increase of injection pressure	Potential for reduced service life
High viscosity at low temperature	Generation of excessive heat locally in rotary type distributor pumps Higher stressing of components	Fuel delivery problems Pump seizures Early life failures Poor nozzle spray atomlzf ion
Solid impurities / particles	Potential lubricity problems	Reduced service life Nozzle seat wear Blocked nozzles
Ageing products		
Corrosive acids (formic & acetic)	Corrosion of all metal parts May form simple cell	Corrosion of FIE
Higher molecular organic acids	Similar to fatty acid	
Polymerisation products	Deposits, precipitation especially from fuel mixes	Filter plugging Lacquer formation by soluble polymers in hot areas

Πίνακας 3: Πιθανές βλάβες που μπορεί να προκύψουν στο σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου σύμφωνα με την ένωση FIE (κατασκευαστές συστημάτων τροφοδοσίας καυσίμου)

3.3. Επίδραση καυσίμου βιοντίζελ jatropha (JB20) στον εγχυτήρα μονοκύλινδρου ντιζελοκινητήρα

Οι συνεχείς νομοθετικές πιέσεις για μείωση των εκπομπών καυσαερίων από CI (Compression Ignition) κινητήρες, έχει ως αποτέλεσμα την εξέλιξη προηγμένων συστημάτων τροφοδοσίας και ψεκασμού του καυσίμου. Τα νέα συστήματα ψεκασμού, παράγουν υψηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις στην μύτη του εγχυτήρα (nozzle tip) και δεδομένων των συνθηκών αυτών ξεκινά ο σχηματισμός επικαθίσεων.

Τα αποτελέσματα και οι παρατηρήσεις που παρουσιάζονται στην συνέχεια προέκυψαν από δοκιμή αντοχής που διεξήχθη για ένα σύνολο 250 ωρών ανάμεσα σε δύο δείγματα καυσίμων, το πετρέλαιο κίνησης και το JB20 (20% βιοντίζελ jatropha και 80% πετρέλαιο κίνησης). Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε μονοκύλινδρο CI κινητήρα.

Συγκεκριμένα στα πλαίσια της μελέτης που έλαβε χώρα, ερευνήθηκαν οι επικαθίσεις στην μύτη του εγχυτήρα και το μέσο λίπανσης του κινητήρα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, η οπτική εξέταση έδειξε σχηματισμό και συσσώρευση επικαθίσεων στην μύτη του εγχυτήρα και για τα δύο μείγματα καυσίμων. Ωστόσο οι μετρήσεις που έγιναν με SEM (scanning electron microscopy - ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης) και EDX (energy dispersive X-ray spectroscopy - φασματοσκοπία διασποράς ενέργειας ακτίνων X), έδειξαν περισσότερες καταθέσεις άνθρακα πάνω και γύρω από την περιοχή της μύτης του εγχυτήρα στην περίπτωση του καυσίμου JB20 συγκριτικά με το πετρέλαιο κίνησης. Επιπροσθέτως μεγαλύτερη φθορά του λιπαντικού μέσου παρατηρήθηκε και στην περίπτωση που το χρησιμοποιούμενο καύσιμο ήταν το JB20 [14].

3.3.1. Εργαστηριακός εξοπλισμός και ιδιότητες καυσίμων

Οι πειραματικές δοκιμές συνολικά διήρκησαν 250 ώρες και έγιναν στις 2000 rpm με φορτίο 10 Nm, σε μονοκύλινδρο τετράχρονο ντίζελ κινητήρα φυσικής αναπνοής, χρησιμοποιώντας κάθε φορά δύο δείγματα καυσίμου, ντίζελ κίνησης και JB20. Τα βασικά χαρακτηριστικά του κινητήρα, των καυσίμων και του εργαστηριακού εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία, φαίνονται στους παρακάτω πίνακες [14].

Engine type	4-Stroke DI diesel engine
Number of cylinders	One
Aspiration	Natural aspiration
Cylinder bore × stroke (mm)	92 × 96
Displacement (L)	0.638
Compression ratio	17.7
Max. engine speed (rpm)	2400
Maximum power (kW)	7.7
Injection timing (deg.)	bTDC 17.0
Injection pressure (kg/cm ²)	200
Power take-off position	Flywheel side
Cooling system	Radiator cooling

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά κινητήρα πειραματικών δοκιμών

Parameters	Unit	Method	Test equipment	Accuracy	DF	JB20
Kinematic viscosity @ 40 °C	cSt	ASTM D7042	Anton Paar SVM 3000	±0.35%	3.317	3.533
Density @ 40 °C	kg/m ³	ASTM D7042	Anton Paar SVM 3000	±0.1 kg/m ³	822	834
Heating value	Mj/kg	ASTM 5468	C2000 basic calorimeter	±0.1% of reading	45.548	43.739
Cetane number		ASTM D6890	Advanced engine technology IQT™		51	51.9
Flash point	°C	ASTM D93	Pensky-martens NPM 440	±0.1 °C	69	74

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά χρησιμοποιούμενων καυσίμων και μετρητικού εξοπλισμού

3.3.2. Πειραματική μεθοδολογία

Κατά την διάρκεια των πειραμάτων ο κινητήρας καθημερινά έμπαινε σε διαδικασία προετοιμασίας (warm-up) και στην συνέχεια δούλευε για 8 ώρες. Η επίδραση της χρήσης ντίζελ κίνησης ή καυσίμου JB20 μετά από 250 ώρες λειτουργίας, εξετάστηκε με μετρητικά SEM και EDX, προκειμένου να ελεγχθεί ο σχηματισμός επικαθίσεων στην μύτη του εγχυτήρα και σε άλλες περιοχές του σώματος του. Με την χρήση του SEM, μπορεί κανείς να παρατηρήσει υλικά σε κλίμακες κάτω του μικρού. Όταν η χρήση του SEM συνδυάζεται με μέτρηση EDX, τότε είναι δυνατή η στοιχειακή ανάλυση σε σημειακές περιοχές του εξεταζόμενου δοκιμίου, σε αυτήν την περίπτωση του εγχυτήρα.

Η οπτική εξέταση του εγχυτήρα, έγινε με λήψη φωτογραφιών πριν την εκκίνηση του πειράματος (0 ώρες λειτουργίας), στις 60 ώρες λειτουργίας, στις 125 ώρες λειτουργίας, στις 180 ώρες λειτουργίας και στις 250 ώρες λειτουργίας.

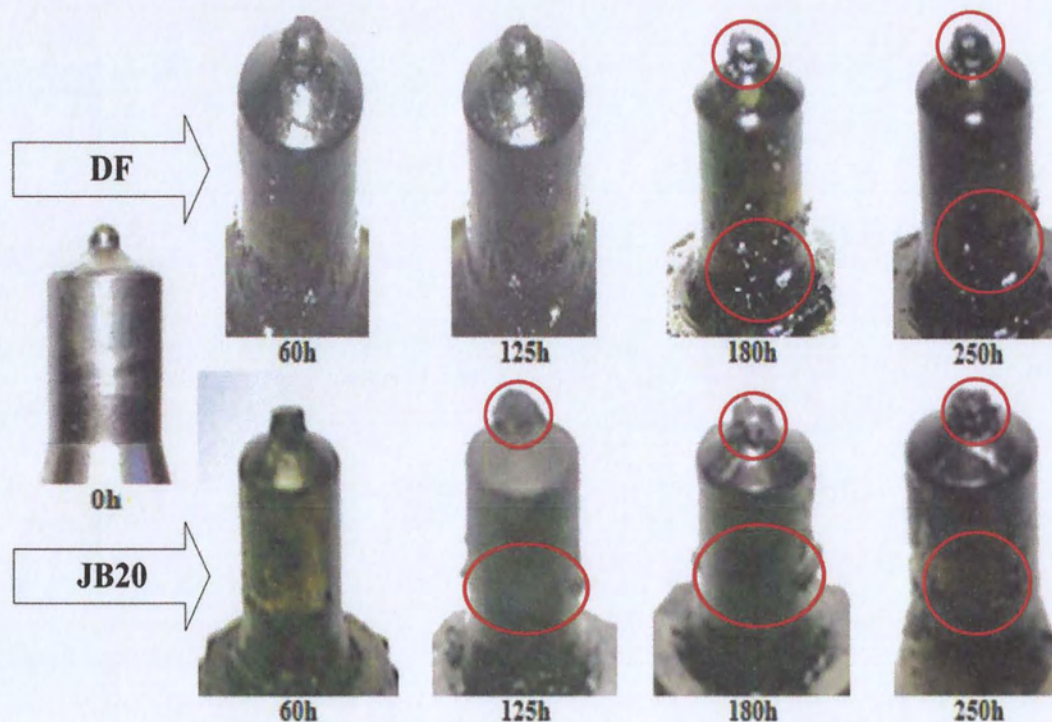
Για τον έλεγχο της επίδρασης του κάθε καυσίμου στο ιξώδες του λιπαντικού μέσου, κατά την διάρκεια της διεξαγωγής των πειραμάτων, συλλέγονταν δείγματα ανά 20 ώρες λειτουργίας

και για τις δύο περιπτώσεις καυσίμων. Παρά το γεγονός ότι οι οδηγίες του κατασκευαστή του κινητήρα όριζαν αντικατάσταση λιπαντικού μέσου ανά 200 ώρες λειτουργίες, η αντικατάσταση του έγινε μετά από 160 ώρες λειτουργίας για κάθε τύπο καυσίμου, προκειμένου να αποφευχθεί η υποβάθμιση της ποιότητας του [14].

3.3.3. Αποτελέσματα μετρήσεων και συμπεράσματα

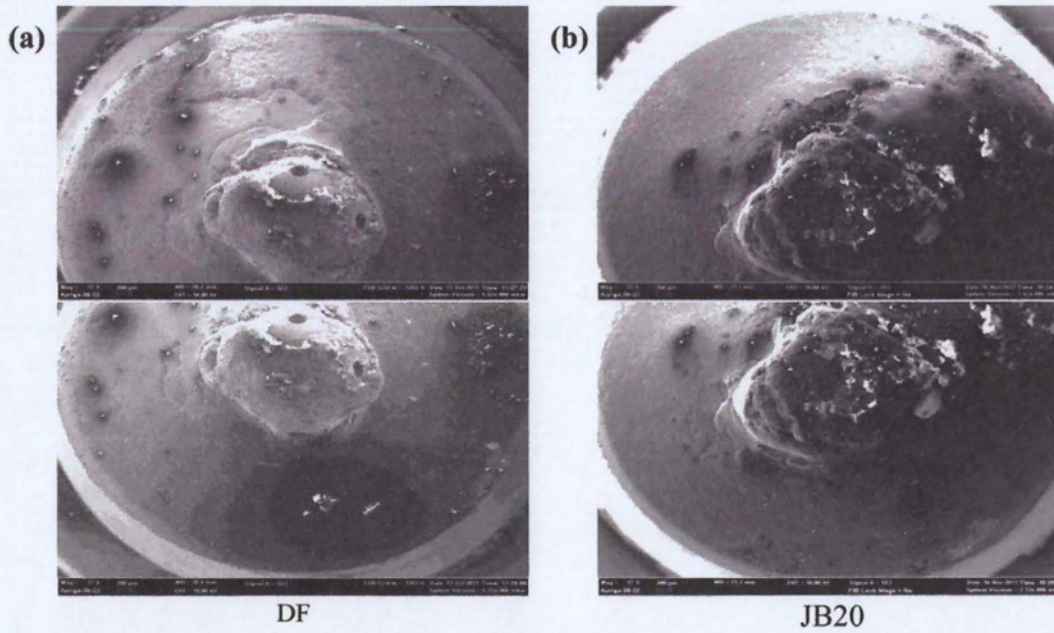
3.3.3.1. Οπτική παρατήρηση

Οι φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά την διάρκεια του πειράματος φαίνονται παρακάτω. Οπτικός έλεγχος μετά από συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, δείχνει τον σχηματισμό επικαθίσεων στο σώμα και στην μύτη του εγχυτήρα και στις δύο περιπτώσεις καυσίμου. Ωστόσο το φαινόμενο είναι εντονότερο στην περίπτωση που ως καύσιμο χρησιμοποιείται το JB20. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι οι επικαθίσεις στην περίπτωση του ντίζελ κίνησης είχαν την μορφή γράσου, ενώ στην περίπτωση του JB20 οι επικαθίσεις που σχηματίστηκαν ήταν ξερές [14].



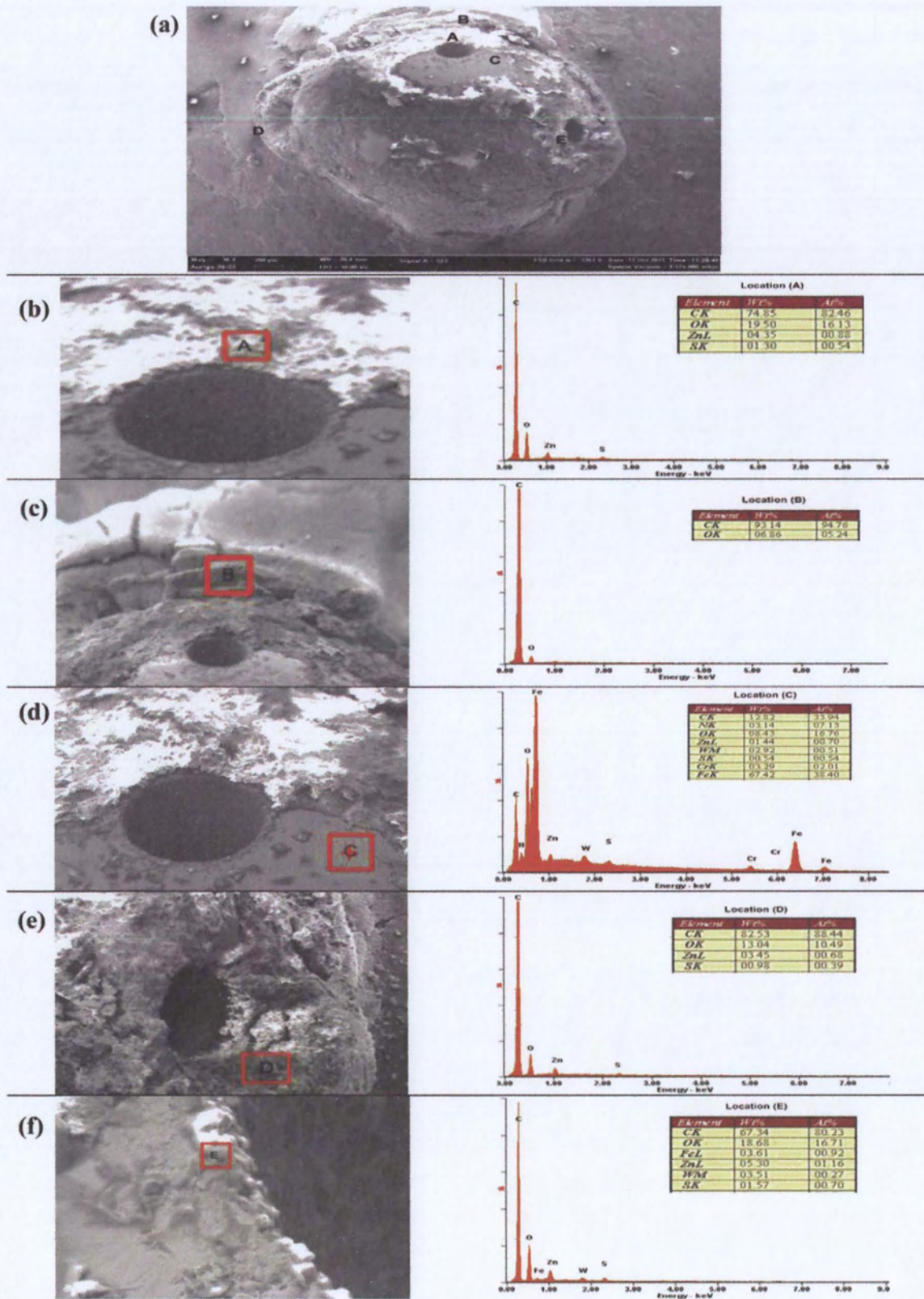
Εικόνα 10: Επικαθίσεις στους εγχυτήρες για τα δύο είδη καυσίμου σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές

3.3.3.1.1. SEM (scanning electron microscopy)

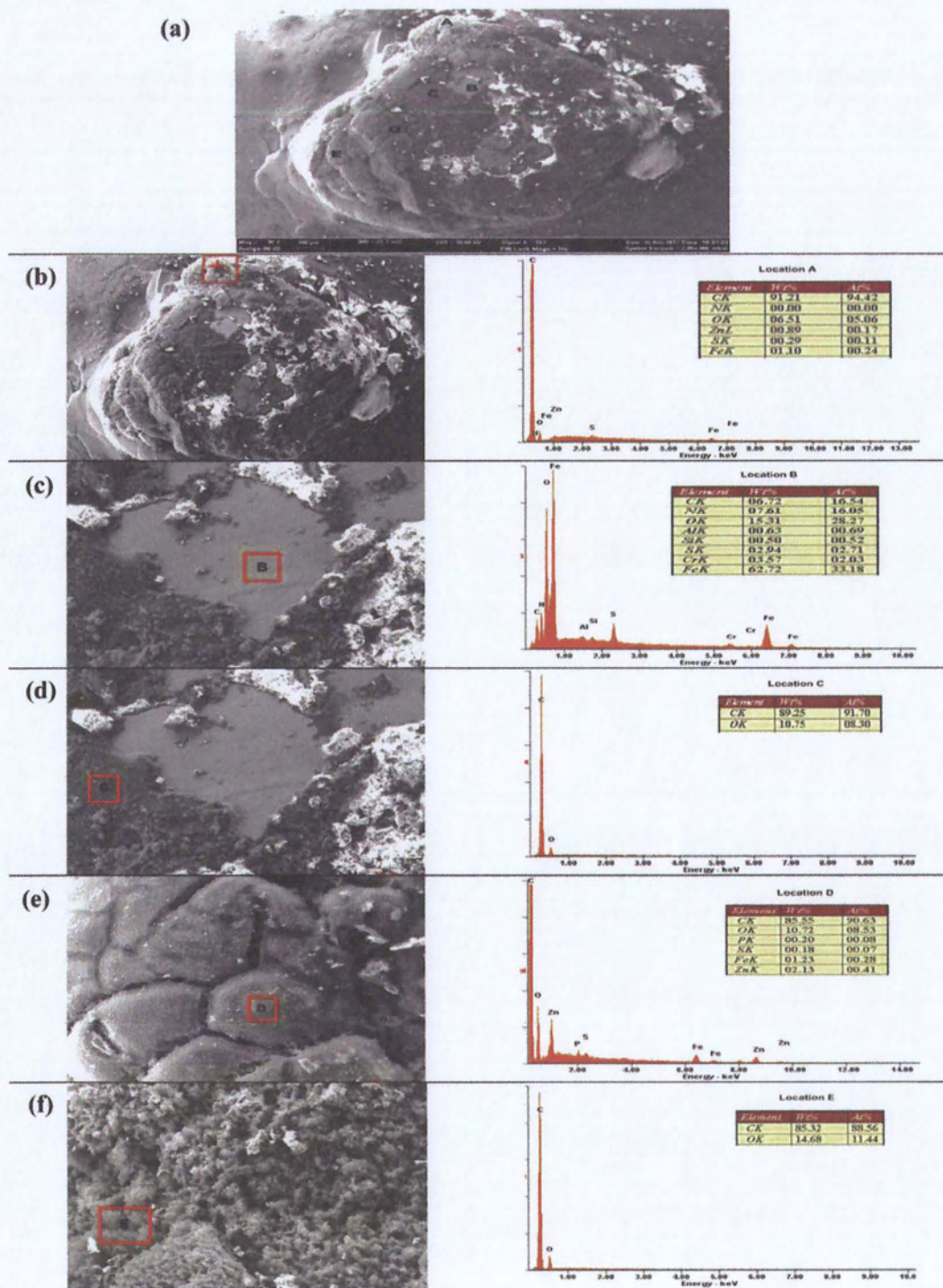


Εικόνα 11: Επικαθίσεις σε κλίμακα μικρού με τη χρήση SEM στην μύτη εγχυτήρα για καύσιμο ντίζελ κίνησης και βιοντίζελ

3.3.3.1.2. EDX (energy dispersive X-ray spectroscopy) ανάλυση



Εικόνα 12: Σημειακές χημικές αναλύσεις σε εγχυτήρα με χρήση καυσίμου ντιζελ κίνησης

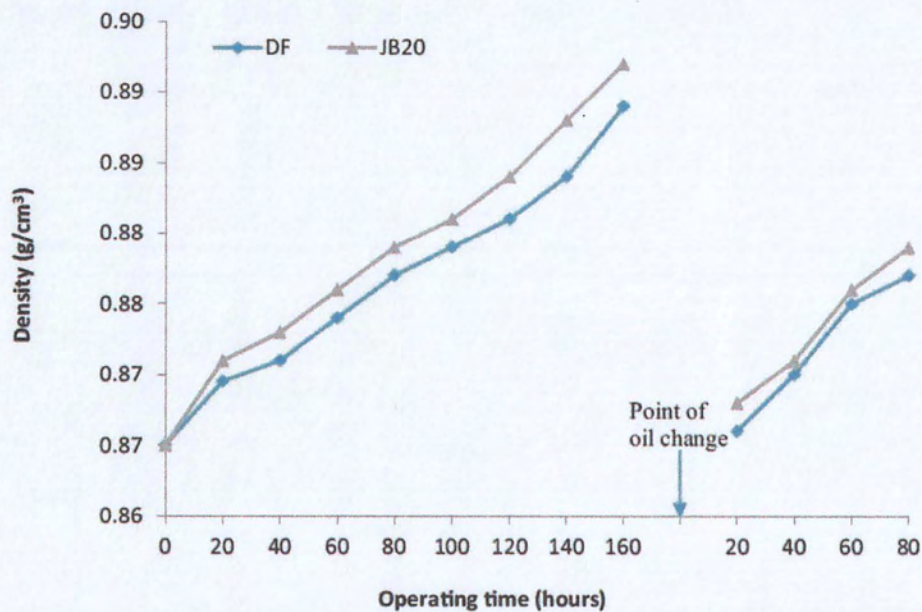


Εικόνα 13: Σημειακές χημικές αναλύσεις σε εγχυτήρα με χρήση καυσίμου βιοντιζέλ

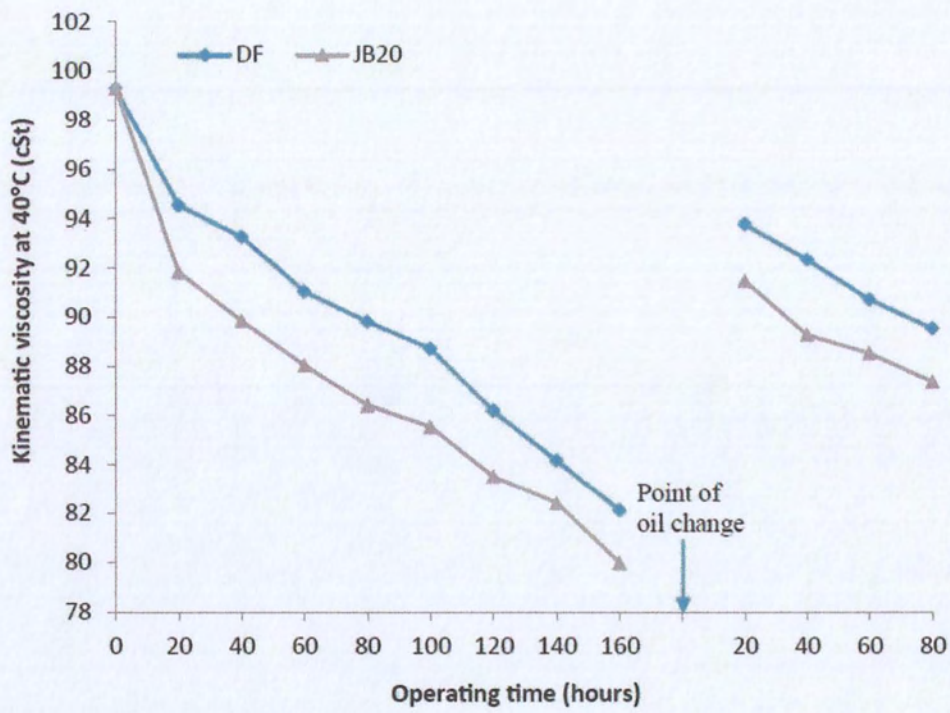
3.3.3.2. Συμπεριφορά λιπαντικού μέσου

Στους κινητήρες εσωτερικής καύσης, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην λίπανση των διάφορων μηχανικών μερών. Τα λιπαντικά μέσα αποτελούνται από ένα σύνθετο μίγμα υδρογονανθράκων και είναι ένας συνδυασμός ελαίων και προσθετικών. Το λιπαντικό χρησιμοποιείται κυρίως για την μείωση της τριβής, την μείωση της μηχανικής φθοράς των κινούμενων και περιστρεφόμενων εξαρτημάτων καθώς και για να διατηρήσει τα τελευταία καθαρά, λειτουργώντας ως απορρυπαντικό και αντιοξειδωτικό.

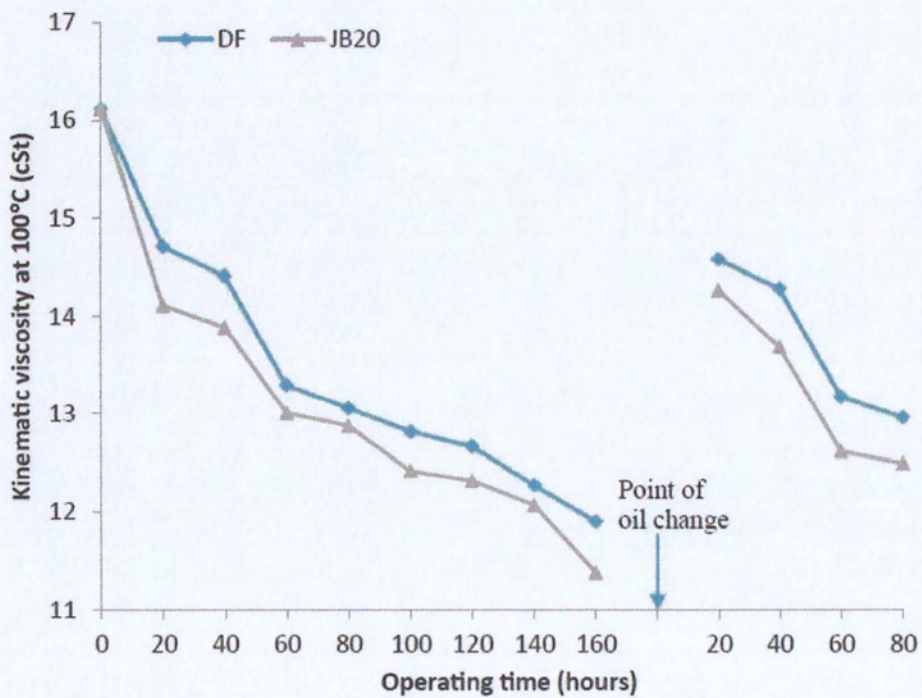
Στην συνέχεια παρουσιάζονται διαγράμματα που δείχνουν την μεταβολή του ιξώδους και της πυκνότητας του λιπαντικού μέσου σε συνάρτηση με τις ώρες λειτουργίας του κινητήρα [14].



Γράφημα 1: Μεταβολή πυκνότητας του λιπαντικού μέσου για θιοντίζελ και ντίζελ κίνησης συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας



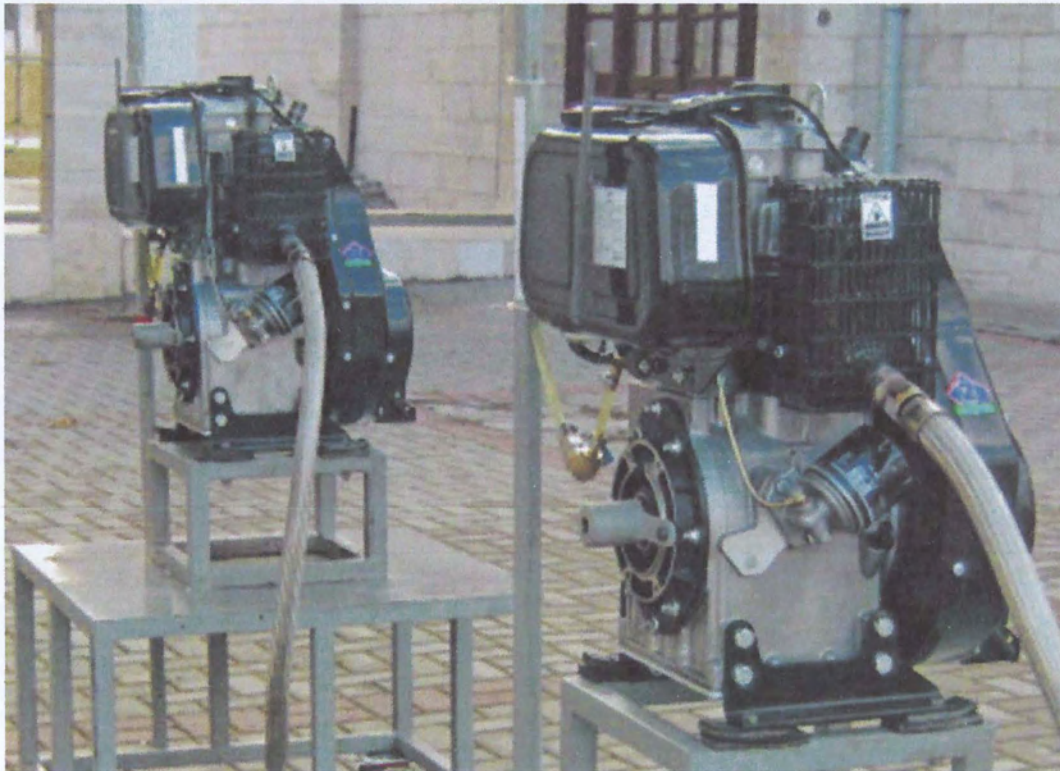
Γράφημα 2: Μεταβολή κινηματικού ιξώδους στους 40°C του λιπαντικού μέσου για τα δύο καύσιμα συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας



Γράφημα 3: Μεταβολή κινηματικού ιξώδους στους 100°C του λιπαντικού μέσου για τα δύο καύσιμα συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας

3.4. Επίδραση βιοντίζελ B100 στον εγχυτήρα και στο έμβολο της αντλίας υψηλής πίεσης

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι να γίνει μια παρουσίαση της επίδρασης του καυσίμου B100 (100% βιοντίζελ). Για τους σκοπούς της έρευνας αυτής, χρησιμοποιήθηκαν δύο πανομοιότυποι κινητήρες ντίζελ, ένας για κάθε είδος καυσίμου. Το πείραμα περιλάμβανε την λειτουργία των κινητήρων για 200 ώρες. Μετά την λήξη του προγράμματος, ο εγχυτήρας και το έμβολο της αντλίας πετρελαίου εξετάστηκαν σε όργανα SEM και EDX, όπως έγινε και στην προηγούμενη ενότητα. Όπως θα φανεί στα αποτελέσματα της μελέτης αυτής, στην περίπτωση του καυσίμου B100 παρουσιάστηκαν έντονες αλλαγές στην δομή των επιφανειών της μύτης του εγχυτήρα (injector nozzle) και του εμβόλου της αντλίας [15].



Γράφημα 4: Μονοκυλινδρικοί πετρελαιοκινητήρες

3.4.1. Εργαστηριακός εξοπλισμός και ιδιότητες καυσίμων

Οι δύο αερόψυκτοι τετράχρονοι ντιζελοκινητήρες φυσικής αναπνοής, των οποίων τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα, λειτούργησαν στο ίδιο εργαστηριακό περιβάλλον κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Στον πρώτο κινητήρα χρησιμοποιήθηκε το ντίζελ κίνησης ενώ στον δεύτερο κινητήρα το Β100. Κάθε κινητήρας είχε ρυθμιστεί για λειτουργία στις 2000 rpm χωρίς καμία επιβολή φορτίου. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντα χώρου μετρήθηκε στους 20°C και δεν χρησιμοποιήθηκε καμία επιπρόσθετη συσκευή για εξαναγκασμένη ψύξη [15].

Engine Type	ANTOR 3LD 510
Cylinder number	1
Injection type	Direct
Cylinder diameter	85 mm
Stroke	90 mm
Total cylinder volume	510 cc
Compression rate	17.5:1
Max. engine power	12 HP
Max. engine torque (1,800 rpm)	3.35 kgm
Max. engine rpm	3,000 1/min
Oil consumption	10 g/h
Lubrication oil capacity	1.75 L
Fuel tank capacity	5.5 L
Weight	60 kg

Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά κινητήρα μονοκύλινδρου πετρελαιοκινητήρα που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές

Characteristic	Biodiesel	Petroleum Diesel
Density (kg/m ³) (15°C)	860–900	840
Viscosity (mm ² /s) (40°C)	3.5–5.0	3.2
Flash point (°C)	≥ 120	58
Water content (mg/kg)	≤ 500	
Lower heating value (MJ/kg)	37.1	42.9
Cetane number	51–62	54
Sulfur (wt%)	0	0.5 (Max.)
Oxygen (wt%)	11	0

Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές

3.4.2. Πειραματική μεθοδολογία

Χρησιμοποιήθηκαν όργανα SEM και ψηφιακό οπτικό μικροσκόπιο, προκειμένου να υπολογιστεί η διάμετρος των σπών του εγχυτήρα και για να ληφθεί μια εικόνα της εσωτερικής επιφάνειας δίπλα στο άκρο της εξόδου του ακροφυσίου του εγχυτήρα. Αρχικά έγινε ανάλυση με SEM και EDX σε καινούριους αχρησιμοποίητους εγχυτήρες πριν από την έναρξη των πειραμάτων, ενώ οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν μετά από λειτουργία των κινητήρων για 200 ώρες. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στην περίπτωση των εμβόλων της αντλίας πετρελαίου, με μετρήσεις πριν και μετά από την λειτουργία των 200 ωρών [15].

3.4.3. Αποτελέσματα και συμπεράσματα

3.4.3.1. Εγχυτήρας

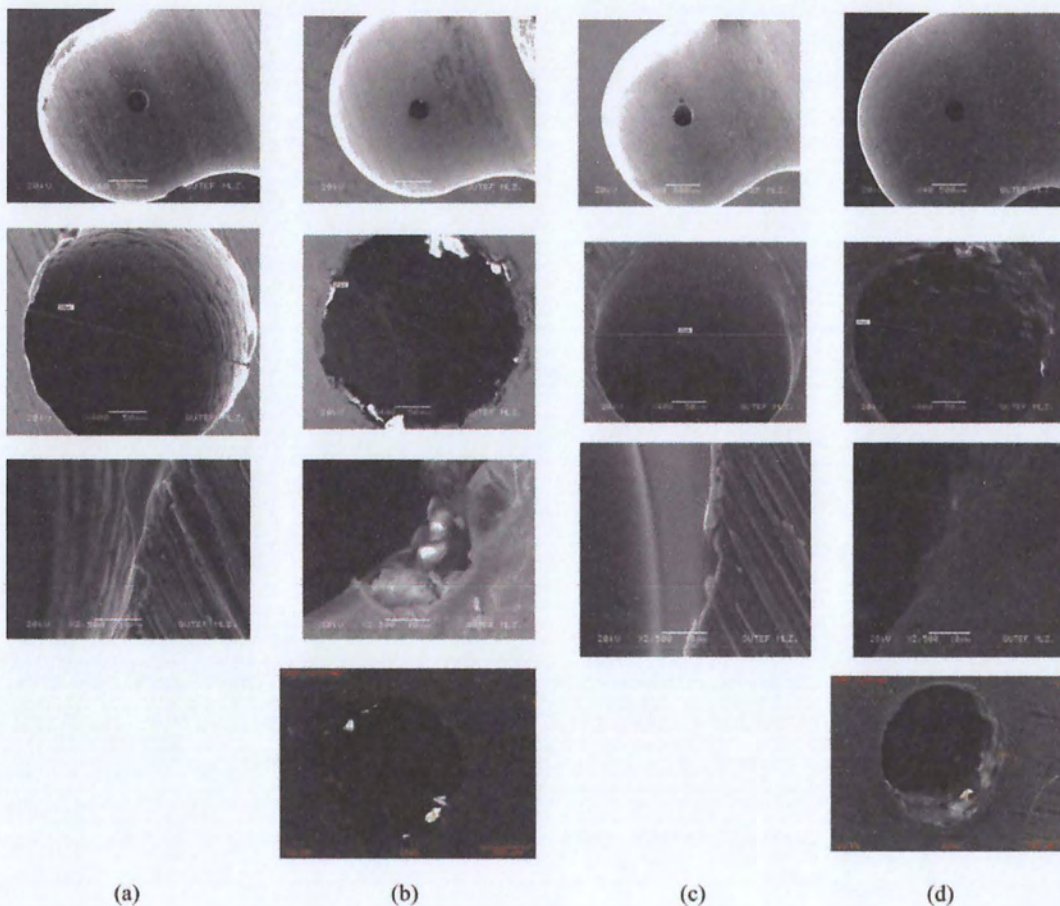
3.4.3.1.1. Ανάλυση SEM

Στην παρακάτω εικόνα (α, β) φαίνεται, πως στην περίπτωση του κινητήρα με το βιοντίζελ, οι σπές του εγχυτήρα έχουν υποστεί μείωση της διαμέτρου. Η αρχική διάμετρος των σπών μετρήθηκε στα 293 μm, ενώ στην μέτρηση που ακολούθησε μετά το πέρας των 200 ωρών, η

διάμετρος μετρήθηκε στα 272 μm . Στις φωτογραφίες που λήφθηκαν από το SEM μπορεί κανείς να παρατηρήσει την ύπαρξη μικροσωματιδίων. Τα ίχνη από την κατεργασία του μετάλλου στην μύτη του αχρησιμοποίητου εγχυτήρα έχουν εξαφανιστεί λόγω της επικάλυψης από στρώμα υλικού λόγω της χρήσης του βιοντίζελ. Έτσι, διαπιστώνεται μια μείωση της διαμέτρου της οπής του εγχυτήρα, της τάξης του 7,17%.

Στις εικόνες c και b, φαίνεται η ανάλυση SEM για τον εγχυτήρα που χρησιμοποιήθηκε με τον ντίζελ κίνησης. Στην περίπτωση αυτή, η μείωση της διαμέτρου των οπών του εγχυτήρα ήταν μικρότερη σε σχέση με την μέτρηση που έγινε για την χρήση βιοντίζελ. Η μέση διάμετρος των οπών του εγχυτήρα πριν από την έναρξη της δοκιμασίας, μετρήθηκε στα 299,5 μm . Έπειτα από λειτουργία 200 ωρών η μέση διάμετρος μειώθηκε στα 291 μm .

Επίσης όπως φαίνεται από τις εικόνες τα αρχικά σημάδια που υπήρχαν στον εγχυτήρα λόγω των μηχανουργικών διεργασιών στο στάδιο της κατασκευής του, δεν καλύφθηκαν από φερτό υλικό πλήρως, όπως συνέβει προηγουμένως με το βιοντίζελ. Τελικά η μείωση της διαμέτρου των οπών του εγχυτήρα πριν και μετά την δοκιμασία, υπολογίζεται στα 2,83%.



Εικόνα 14: Ανάλυση SEM σε μύτη εγχυτήρα, a) πριν την χρήση βιοντίζελ, b) μετά την χρήση βιοντίζελ, c) πριν την χρήση ντίζελ κίνησης, d) μετά την χρήση ντίζελ κίνησης

SEM analyses of injector nozzle: (a) before biodiesel was used; (b) after biodiesel was used; (c) before petroleum diesel was used; and (d) after

petroleum diesel was used.

3.4.3.1.2. Ανάλυση EDX

BIODIESEL

Element	Beginning (wt%)	End of the Tests (wt%)	Result (%)
C	17.524	43.521	148.4 ↑
Si	0.828	22.708	2,642.5 ↑
V	0.177	0.166	6.21 ↓
Cr	1.171	0.288	75.4 ↓
Mn	0.979	0.156	73.05 ↓
Fe	76.993	5.932	92.29 ↓
Ni	2.727	0.193	92.93 ↓

Πίνακας 8: Χημικές συστάσεις μύτης εγχυτήρα από ανάλυση EDX για καύσιμο βιοντίζελ

PETROLEUM DIESEL

Element	Beginning (wt%)	End of the Tests (wt%)	Result (%)
C	17.664	24.136	36.6 ↑
Si	0.593	0.26	56.15 ↓
V	0.077	0.094	22.08 ↑
Cr	1.503	1.506	0.2 =
Mn	0.709	0.333	53.03 ↓
Fe	77.205	72.041	6.69 ↓
Ni	2.249	1.63	27.52 ↓

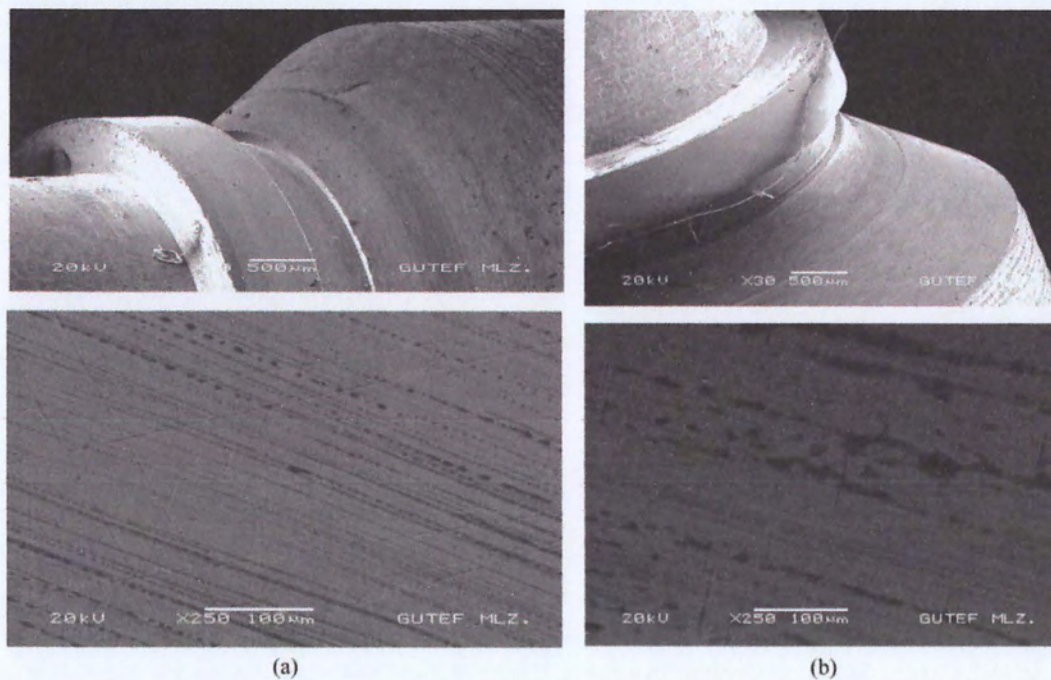
Πίνακας 9: Χημικές συστάσεις μύτης εγχυτήρα από ανάλυση EDX για καύσιμο ντίζελ κίνησης

3.4.3.2. Έμβολο αντλίας πετρελαίου υψηλής πίεσης

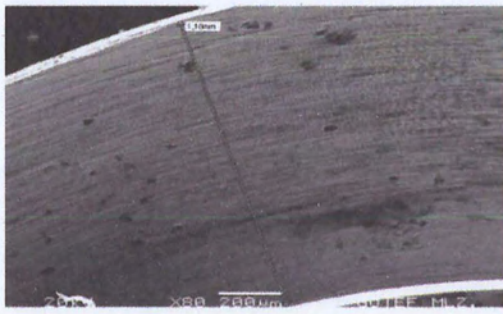
3.4.3.2.1. Ανάλυση SEM

Στις φωτογραφίες SEM από τα έμβολα της αντλίας πετρελαίου πριν από την έναρξη της δοκιμής σε μεγέθυνση 80x, διακρίνονται ίχνη από τις μηχανουργικές κατεργασίες διαμόρφωσης του εξαρτήματος κατά το στάδιο παραγωγής του. Στις αντίστοιχες φωτογραφίες SEM που λήφθηκαν μετά την λήξη της δοκιμής, είναι εμφανές ότι τα παραπάνω ίχνη έχουν μειωθεί αισθητά στο έμβολο της αντλίας που τροφοδοτούσε με βιοντίζελ. Επίσης, όπως φαίνεται και στις φωτογραφίες το ύψος του αρμού στο ίδιο έμβολο μετρήθηκε στο 1,1 mm, ενώ στο έμβολο που της αντλίας που παροχέτευε πετρέλαιο κίνησης το ίδιο ύψος μετρήθηκε στο 1,2 mm. Δηλαδή υπάρχει μια μικρή διαφορά της τάξης του 0,02 mm, η οποία είναι μικρή και για αυτό τον λόγο συμπεραίνει κανείς ότι τα επίπεδα φθοράς και τον δύο εμβόλων είναι περίπου ίδια.

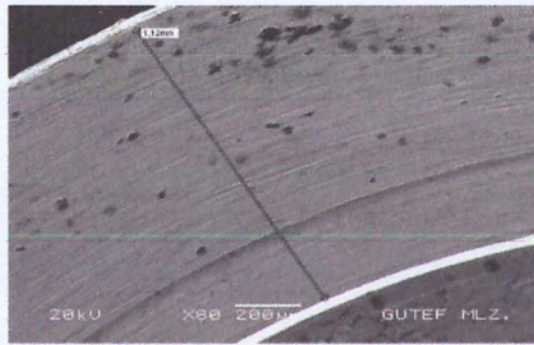
Σε φωτογραφίες SEM με μεγαλύτερη μεγέθυνση 250x, τα σημάδια από τις μεταλλουργικές κατεργασίες έχουν εξαφανιστεί εντελώς στην περίπτωση χρήσης βιοντίζελ, ενώ με την χρήση πετρελαίου κίνησης, τα σημάδια είναι ακόμα εμφανή και επιπλέον μπορεί κανείς να παρατηρήσει και μεταβολή της επιφανειακής δομής [15].



Εικόνα 15: Φωτογραφίες SEM από το πιστόνι της αντλίας κατά την εκκίνηση των πειραματικών δοκιμών, a) βιοντίζελ, b) ντίζελ κίνησης

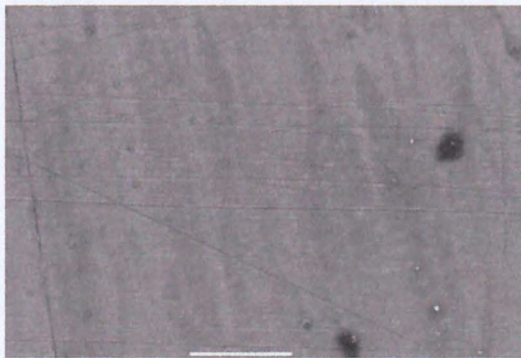


(a)

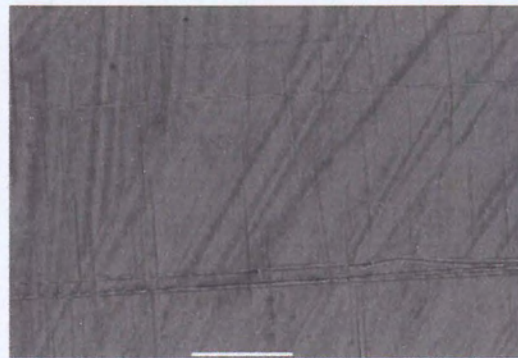


(b)

Εικόνα 16: Επιφάνειες του πιστονιού της αντλίας σε μεγέθυνση 80x μετά από 200 ώρες λειτουργίας, α) βιοντίζελ, β) ντίζελ κίνησης



(a)



(b)

Εικόνα 17: Επιφάνειες του πιστονιού της αντλίας σε μεγέθυνση 250x μετά από 200 ώρες λειτουργίας, α) βιοντίζελ, β) ντίζελ κίνησης

3.4.3.2.2. Ανάλυση EDX

THE ENGINE WITH BIODIESEL

Element	Beginning (wt%)	End of the Tests (wt%)	Result (%)
C	2.141	12.982	506.4 ↑
Si	0.538	0.468	13.0 ↓
V	0.317	0.57	79.8 ↑
Cr	1.026	1.237	20.6 ↑
Mn	0.418	0.539	28.9 ↑
Fe	92.856	82.567	11.1 ↓
Ni	2.703	1.637	39.4 ↓

Πίνακας 10: Χημικές συστάσεις πιστονιού αντλίας από ανάλυση EDX για καύσιμο βιοντίζελ

THE ENGINE WITH PETROLEUM DIESEL

Element	Beginning (wt%)	End of the Tests (wt%)	Result (%)
C	2.067	5.227	152.9 ↑
Si	1.51	0.364	75.9 ↓
V	1.224	0.448	63.4 ↓
Cr	2.037	0.702	65.5 ↓
Mn	1.616	0.919	43.1 ↓
Fe	90.738	91.661	1.0 ≈
Ni	2.875	0.678	76.4 ↓

Πίνακας 11: Χημικές συστάσεις πιστονιού αντλίας από ανάλυση EDX για καύσιμο ντίζελ κίνησης

3.5. Επισκευή συστημάτων τροφοδοσίας καυσίμου κινητήρα Ruggerini RF91 έπειτα από εκτενή χρήση διαφόρων μειγμάτων βιοντίζελ (B20 – B100)

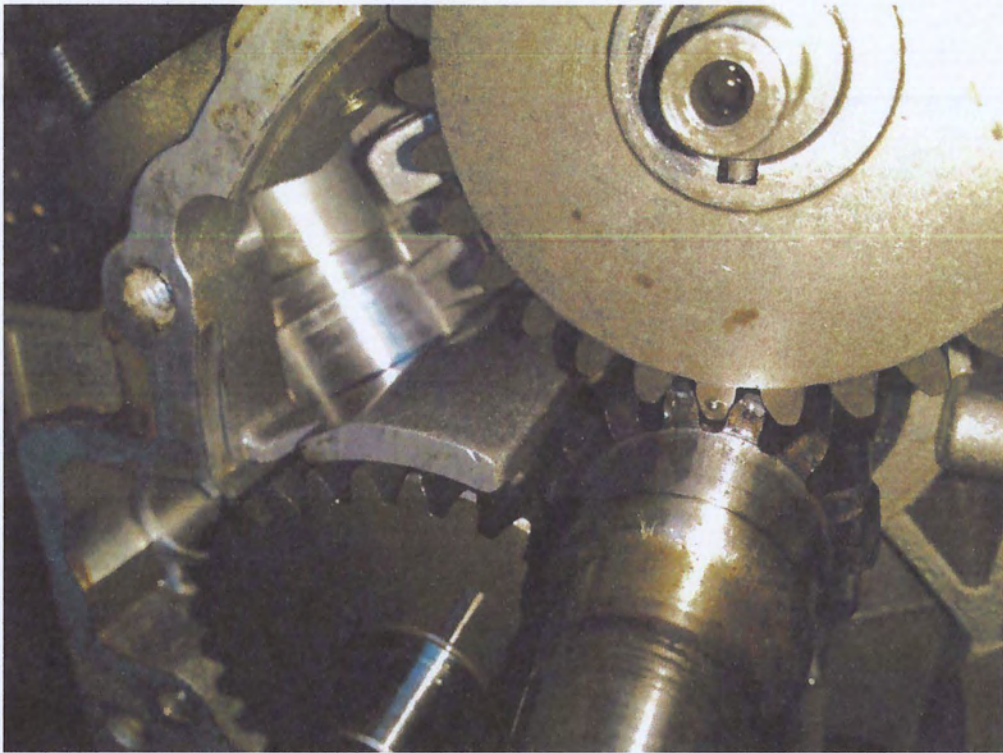
Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός του Εργαστηρίου Θερμοδυναμικής & Θερμικών Μηχανών. Ο κινητήρας που χρησιμοποιήθηκε για την ανάκτηση των απαιτούμενων μετρήσεων είναι ο πετρελαιοκινητήρας Ruggerini RF91. Ωστόσο πριν από την εκκίνηση των πειραμάτων ο κινητήρας έχριζε επισκευής καθώς είχε συμμετάσχει σε προηγούμενη χρονική στιγμή σε σειρά πειραμάτων για την κατασκευή δυναμοδεικτικού διαγράμματος με την χρήση διαφόρων μειγμάτων βιοντίζελ (B20-B100). Η εκτενής καύση βιοντίζελ σε συνδυασμό με το ότι ο κινητήρας μετά την λήξη των μετρήσεων έμεινε σε κατάσταση μη λειτουργίας για μεγάλο χρονικό διάστημα δημιούργησε πρόβλημα στα συστήματα καυσίμου.

3.5.1. Διάγνωση προβλήματος

Αρχικά ο κινητήρας αδυνατούσε να τεθεί σε λειτουργία. Ως πρώτη πιθανή αιτία του προβλήματος προτάθηκε το DPF (Diesel Particulate Filter), χωρίς όμως να διαπιστωθεί πως αυτό ήταν η αιτία του προβλήματος αφού η βλάβη παρέμεινε και μετά την αναγέννησή του. Έπειτα οι υποψίες για την εύρεση της βλάβης εστιάστηκαν στα συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου. Έτσι, η γραμμή καυσίμου που συνδέει την αντλία υψηλής πίεσης με τον εγχυτήρα (σωληνάκι υψηλής πίεσης) λύθηκε από την μεριά του εγχυτήρα και στη συνέχεια τέθηκε σε λειτουργία ο εκκινητής (μίζα). Όπως διαπιστώθηκε, δεν υπήρχε τροφοδοσία καυσίμου στην ελεύθερη μεριά της σωληνογραμμής. Αφού ελέγχθηκε ότι η διατομή της σωληνογραμμής δεν ήταν φραγμένη, ήταν πλέον φανερό ότι η βλάβη οφειλόταν στην αντλία πετρελαίου.

3.5.2. Αποσυναρμολόγηση αντλίας πετρελαίου

Σε πρώτο στάδιο για να γίνει η επισκευή της αντλίας πετρελαίου πρέπει φυσικά να γίνει η εξαγωγή της από τον υπόλοιπο κινητήρα. Ωστόσο η εξαγωγή της αντλίας από το μπλοκ του κινητήρα δεν έγινε σύμφωνα με τις προβλεπόμενες οδηγίες του κατασκευαστή, καθώς ο μοχλός των πετρελαίων που συνδέεται με τον κανόνα της αντλίας είχε κολλήσει. Για την εξαγωγή της αντλίας απαιτείται ο μοχλός των πετρελαίων να ρυθμιστεί στα μισά της διαδρομής του προκειμένου η αντλία να απελευθερωθεί από το μπλοκ. Για να επιτευχθεί η εξαγωγή της αντλίας ανοίχθηκε το πλαϊνό καπάκι του κινητήρα και εφαρμόστηκε δύναμη στον κανόνα ώστε να μετακινηθεί στο απαιτούμενο σημείο.



Εικόνα 18: Κινητήρας με ανοιχτό το πίσω καπάκι για την εξαγωγή της αντλίας πετρελαίου



Εικόνα 19: Αντλίας πετρελαίου τύπου Bosch κινητήρα Ruggeneri RF91

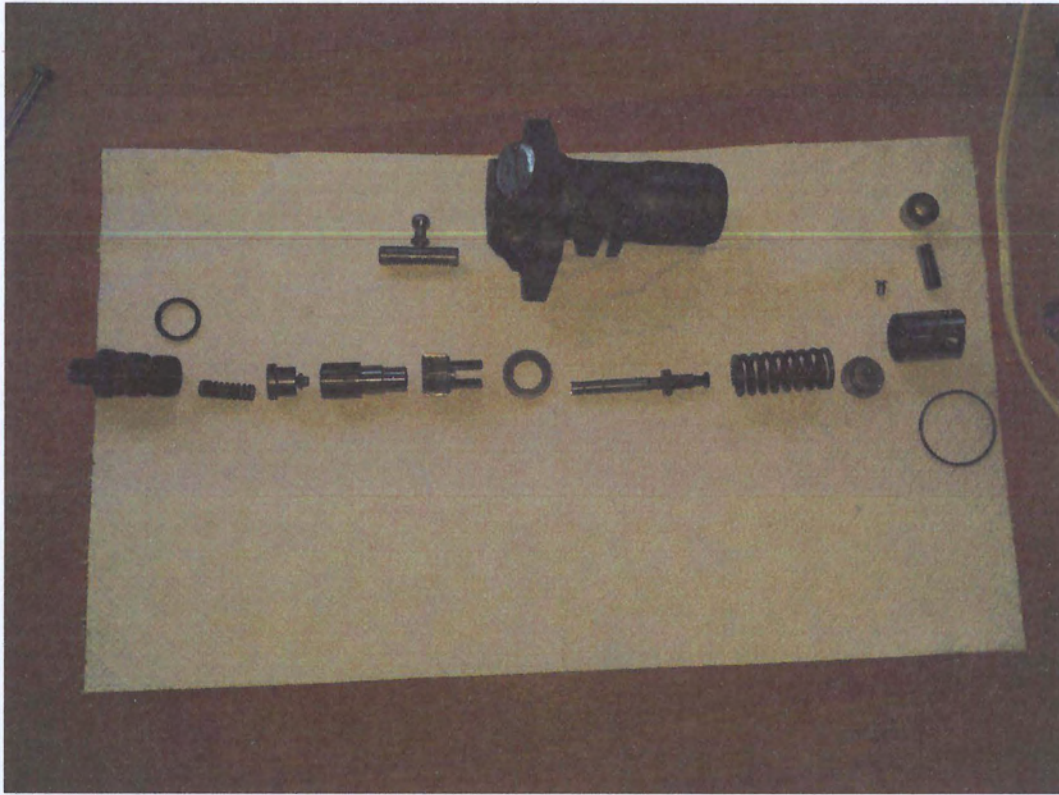
3.5.3. Αποσυναρμολόγηση αντλίας πετρελαίου υψηλής πίεσης

Σε πρώτο στάδιο αποσυναρμολογήθηκε η βαλβίδα παροχής μαζί με το σώμα της. Στα εσωτερικά τοιχώματα της αντλίας που εδράζεται το σώμα της βαλβίδας παροχής, είναι εμφανή σημάδια οξείδωσης.



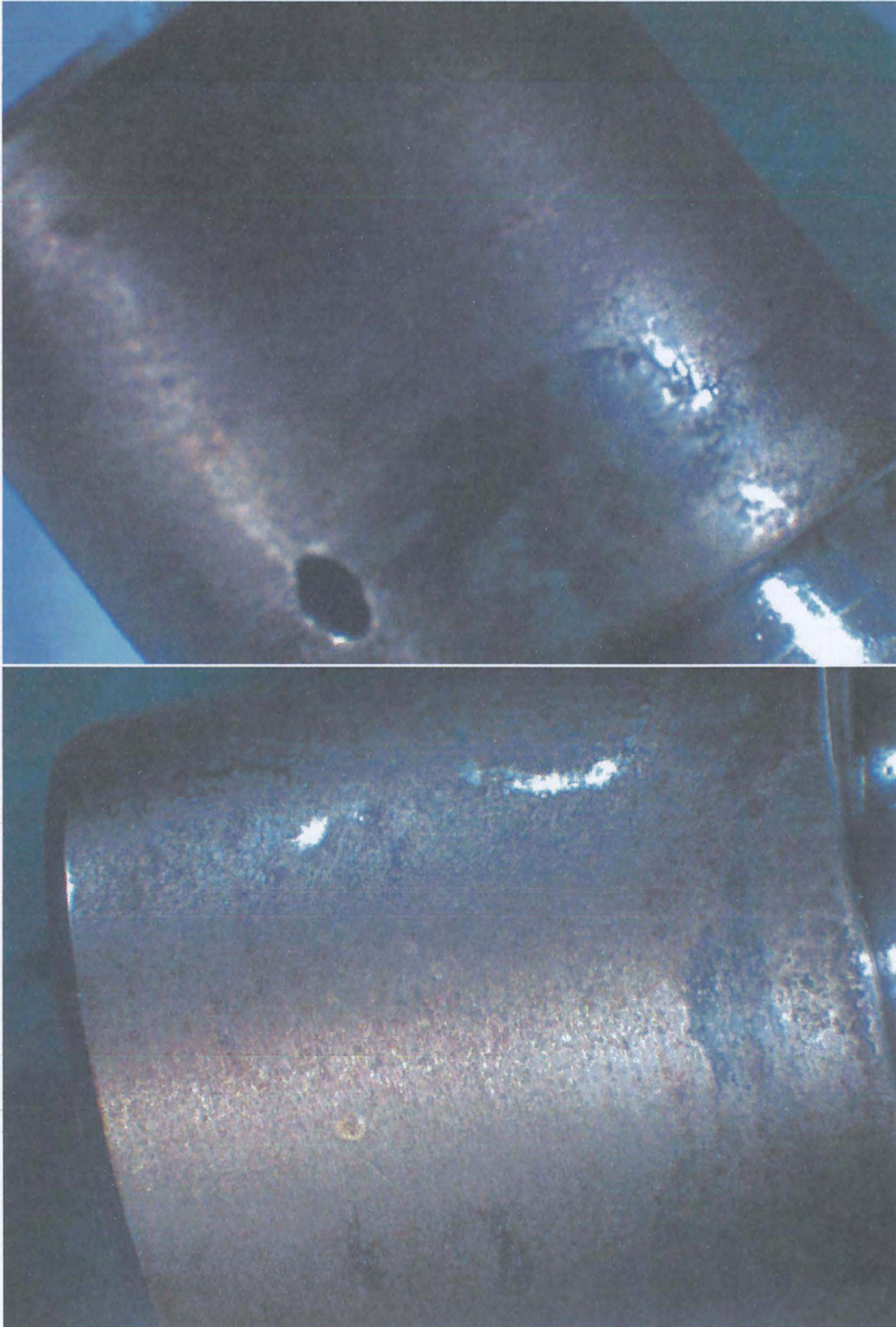
Εικόνα 20: Επικαθίσεις στο εσωτερικό σώμα της αντλίας πετρελαίου

Στην συνέχεια η επισκευή προχώρησε με την πλήρη αποσυναρμολόγηση όλων των εξαρτημάτων της αντλίας από το σώμα της. Κατά την αποσυναρμολόγηση διαπιστώθηκε ότι το έμβολο της αντλίας καθώς και ο γρναζωτός κανόνας ήταν δεν κινούνταν ελεύθερα όπως θα έπρεπε αλλά τα δύο εξαρτήματα ήταν κολλημένα. Η αστοχία αποδίδεται σε επικαθίσεις οξείδωσης που βρέθηκαν στα διάφορα μέρη της αντλίας καθώς και σε κόκκινες ζελατίνες που είχαν καλύψει τις επιφάνειες πολλών εξαρτημάτων. Δυστυχώς δεν ήταν δυνατός ο χημικός προσδιορισμός της σύστασης των ζελατινών αυτών καθώς δεν υπήρχε διαθέσιμος εργαστηριακός εξοπλισμός ικανός να πραγματοποιήσει σημειακή χημική ανάλυση (EDX) και επομένως η μελέτη περιορίστηκε στην οπτική παρατήρηση.

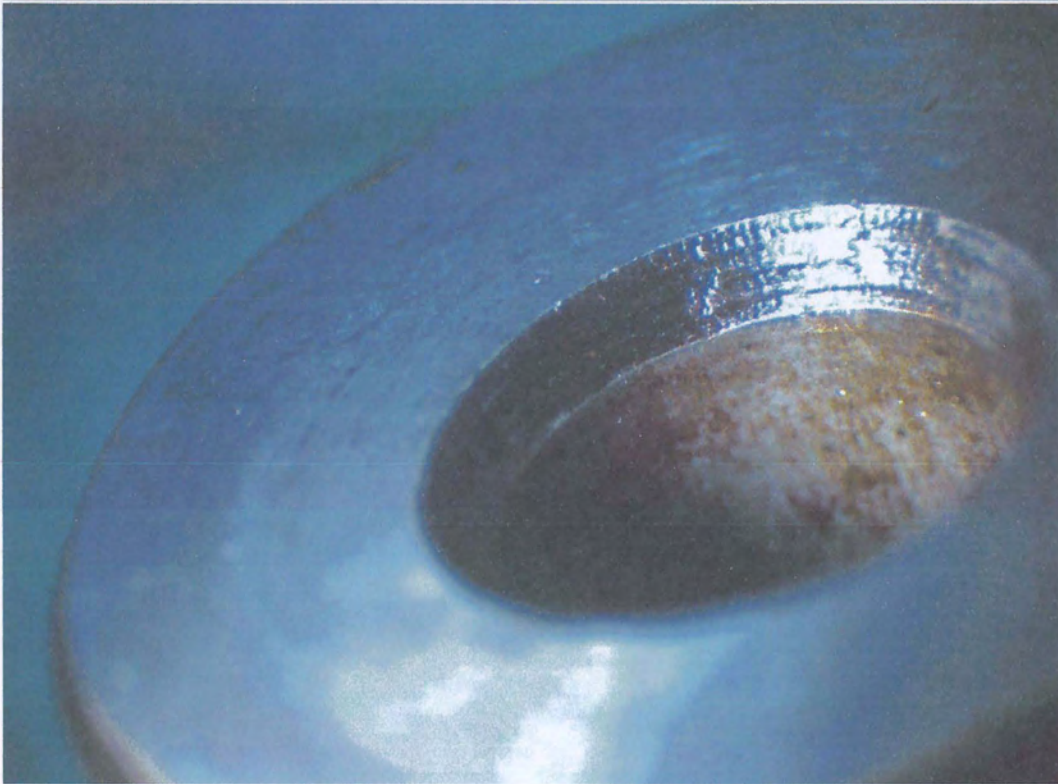
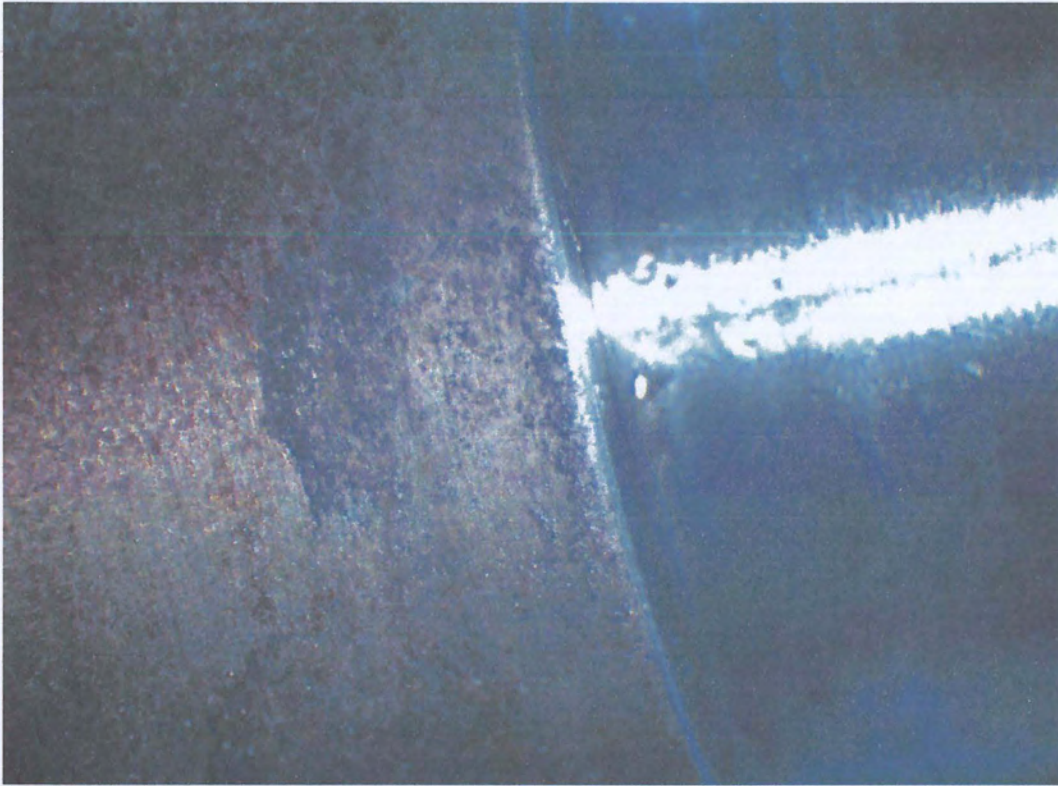


Εικόνα 21: Διασπορά αντλίας πετρελαίου τύπου Bosch

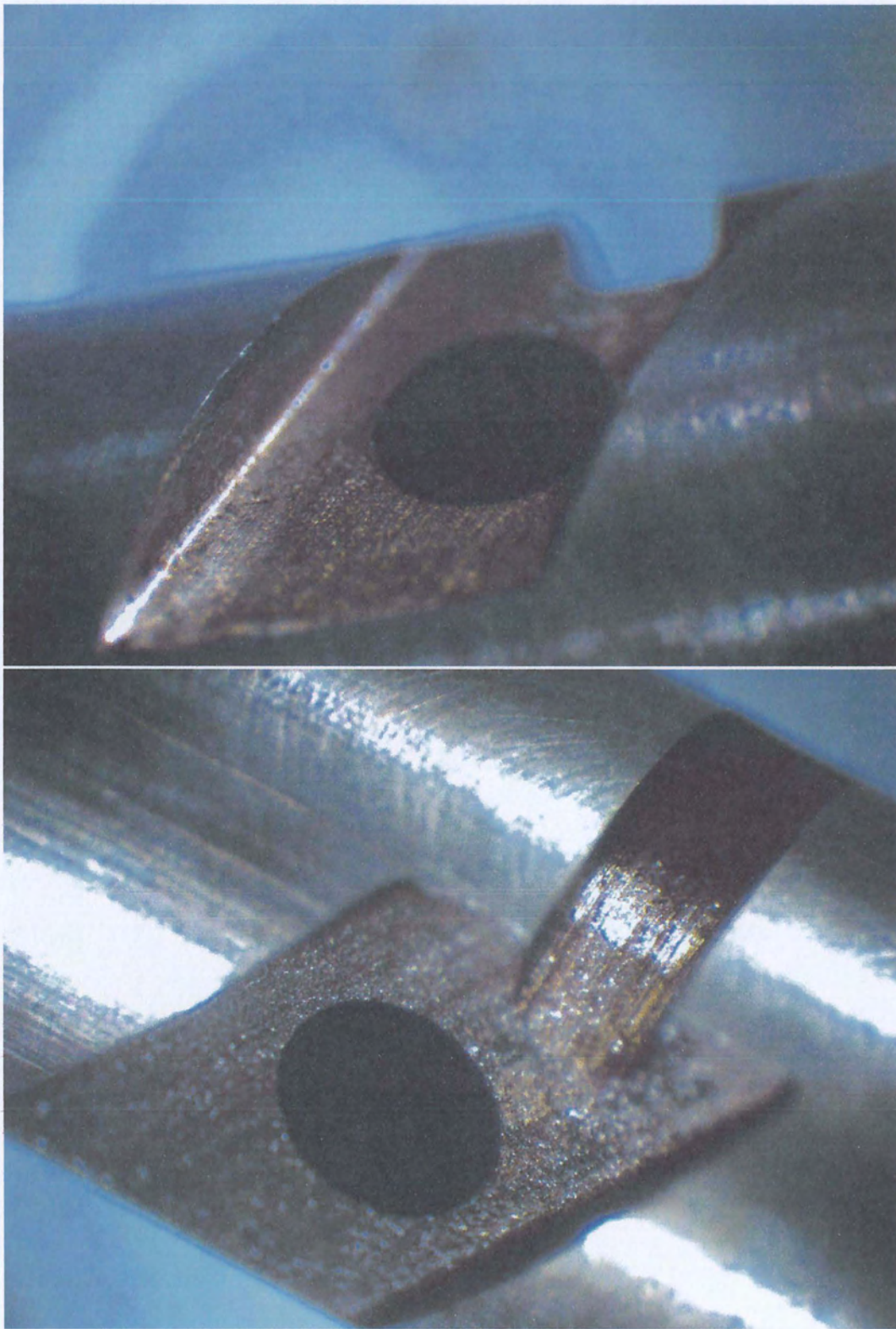
3.5.4. Οπτική παρατήρηση εξαρτημάτων αντλίας πετρελαίου σε οπτικό μικροσκόπιο



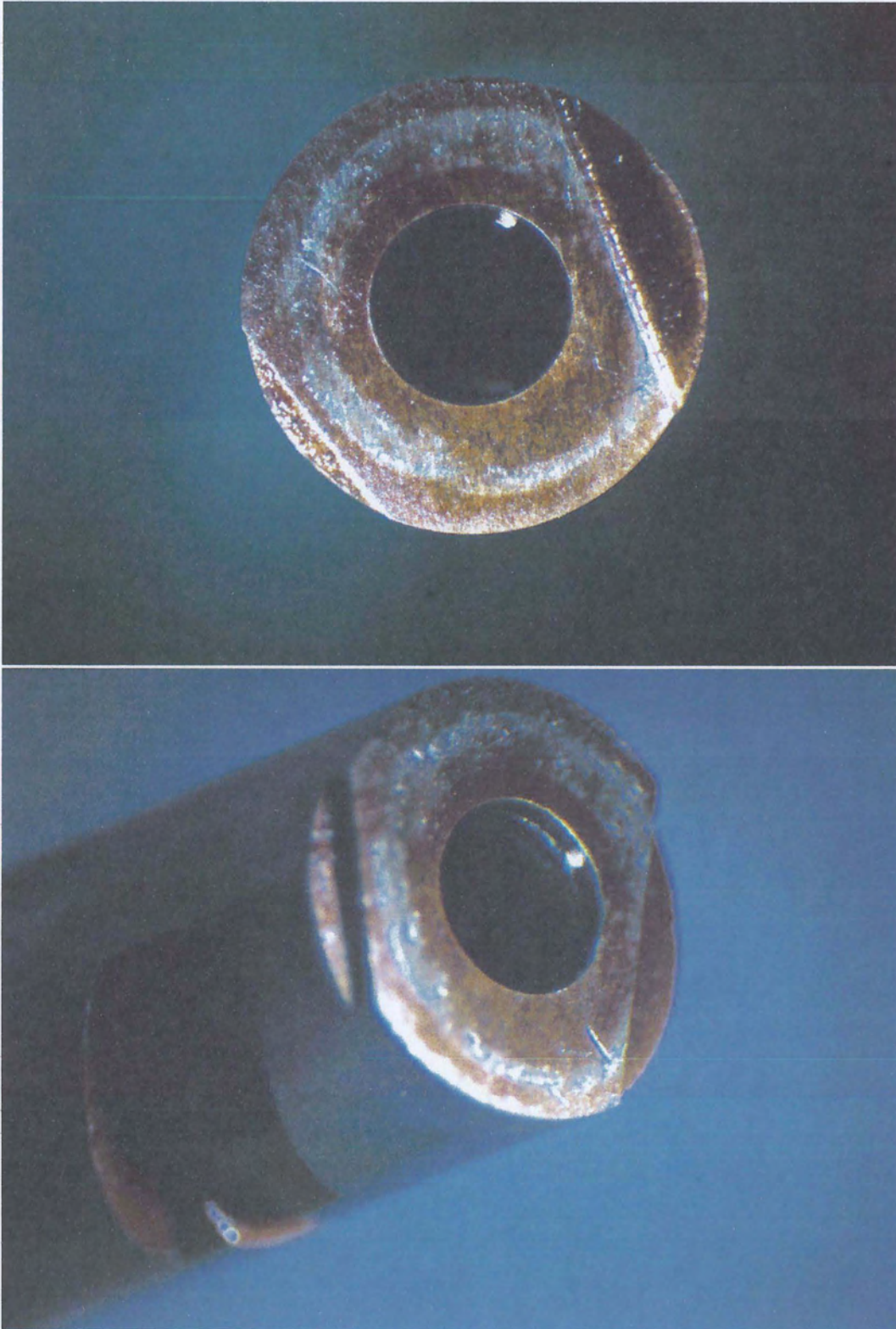
Εικόνα 22: Κύλινδρος αντλίας πετρελαίου με εμφανή σημάδια εκτεταμένης οξείδωσης



Εικόνα 23: Κύλινδρος αντλίας πετρελαίου με εμφανή σημάδια εκτεταμένης οξείδωσης



Εικόνα 24: Σχηματισμός επικαθίσεων στην διαμορφωμένη περιοχή του εμβόλου της αντλίας

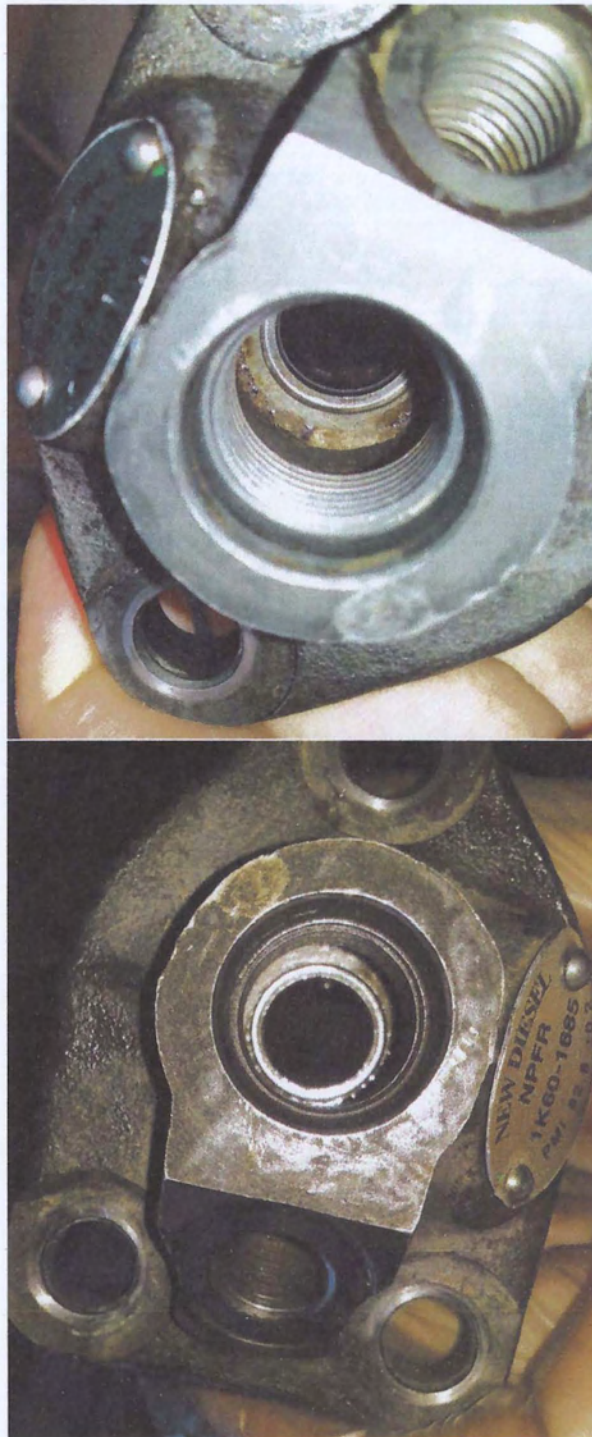


Εικόνα 25: Σημάδια οξείδωσης και σχηματισμός επικαθίσεων στο άνω τμήμα του εμβόλου της αντλίας, το δαχτυλίδι που έχει σχηματιστεί προήλθε κατά την αποσυναρμολόγηση της αντλίας

3.5.5. Επιδιόρθωση εξαρτημάτων αντλίας

Τα εξαρτήματα της αντλίας πετρελαίου που αποσυναρμολογήθηκαν καθώς και το σώμα της αντλίας τοποθετήθηκαν σε συσκευή καθαρισμού υπερήχων. Η ηλεκτρική ενέργεια υψηλής συχνότητας, που παράγεται από μία γεννήτρια υπερήχων, μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια από ένα σύστημα πιεζοηλεκτρικών μετασχηματιστών κι εν συνεχεία μεταδίδεται στο λουτρό υπερήχων. Η διαδικασία αυτή παράγει εκατομμύρια κενές φυσαλίδες, οι οποίες καταρρέουν πάνω στην επιφάνεια των εργαλείων, χάρη στη διαφορά πίεσης, εξαιτίας την υπερηχητικής δραστηριότητας. Έτσι, παράγονται υψηλής ενέργειας υγροί πίδακες, που αφαιρούν ακαθαρσίες από επιφάνειες, ακόμα κι από τις μικρότερες οπές και εσοχές. Για την επίτευξη ικανοποιητικού βαθμού καθαρισμού, πρέπει το υγρό που χρησιμοποιείται, να περιέχει κάποιο χημικό καθαριστικό κατάλληλο για χρήση σε λουτρό υπερήχων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ως καθαριστικό μέσο χρησιμοποιήθηκε κηροζίνη καθώς και σπρέι καθαρισμού καρμπουράτερ.

Μετά τον πρώτο καθαρισμό οι επιφάνειες ήταν εμφανώς πιο καθαρές, ενώ για ακόμα καλύτερο αποτέλεσμα οι επιφάνειες λειάνθηκαν με γυαλόχαρτα γυαλίσματος (υψηλού grit) και στην συνέχεια επαναλήφθηκε ο καθαρισμός με την συσκευή υπερήχων. Έπειτα η αντλία συναρμολογήθηκε, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στην σωστή τοποθέτηση του οδοντωτού κανόνα και του γραναζιού στροφής του εμβόλου. Όλα τα κινούμενα μέρη της αντλίας διαπιστώθηκε πως πλέον μπορούσαν να κινηθούν ελεύθερα χωρίς καμία αντίσταση.

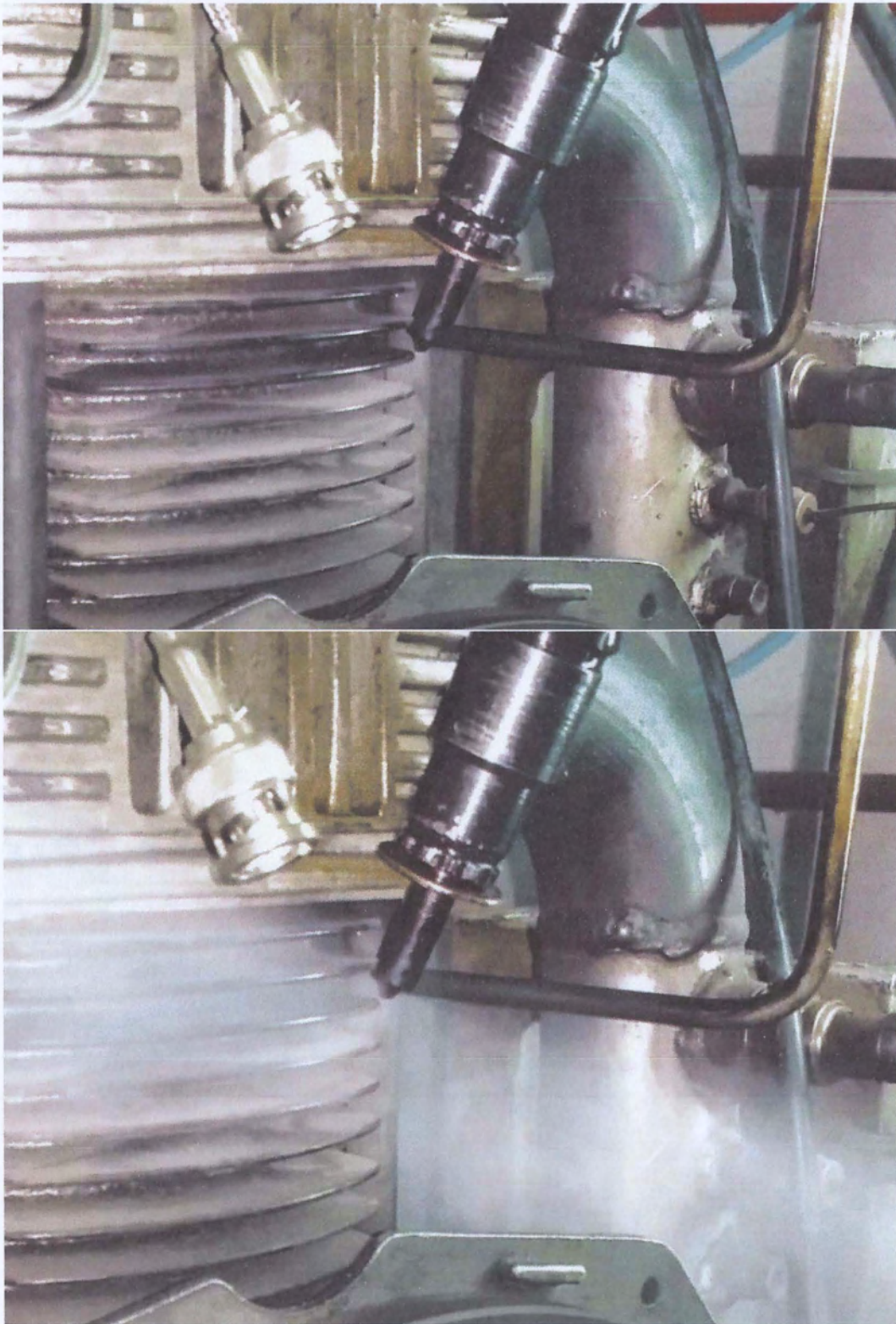


Εικόνα 26: Εσωτερικό σώμα αντλίας πριν και μετά τον καθαρισμό με συσκευή υπερήχων

3.5.6. Δοκιμή καλής λειτουργίας

Μετά την επισκευή της, η αντλία πετρελαίου τοποθετήθηκε στην θέση της και συνδέθηκε με την σωλήνωση υψηλής πίεσης, της οποίας το άλλο άκρο ήταν ελεύθερο και όχι συνδεδεμένο στον εγχυτήρα (μπεκ). Με αυτή την διάταξη τέθηκε σε λειτουργία το μοτέρ εκκίνησης (μίζα) και διαπιστώθηκε πως υπήρχε παροχή καυσίμου σε υψηλή πίεση, πράγμα που δεν συνέβαινε πριν την επισκευή.

Ωστόσο αφού συνδέθηκε η σωλήνωση υψηλής πίεσης στον εγχυτήρα ο κινητήρας αδυνατούσε να τεθεί σε λειτουργία. Ο έλεγχος που ακολούθησε έδειξε ότι ο εγχυτήρας έπασχε από πρόβλημα παρόμοιο με αυτό της αντλίας. Έτσι η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και εδώ, ο εγχυτήρας λύθηκε και τα εξαρτήματά του εισήχθησαν σε συσκευή καθαρισμού με υπερήχους. Έπειτα από την συναρμολόγηση του εγχυτήρα έγινε έλεγχος για την ποιότητα του σύννεφου ψεκασμού που παρήγαγε και τελικά τοποθετήθηκε και πάλι στον κινητήρα. Η προσπάθεια για την έναρξη του κινητήρα αυτή την φορά ήταν επιτυχής και με αυτόν τον τρόπο ολοκληρώθηκε η επισκευή του, όσον αφορά το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου.



Εικόνα 27: Έλεγχος ποιότητας συννέφου ψεκασμού του εγχυτήρα

4. Πειραματικό μέρος

4.1. Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την ανάκτηση των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία περιλαμβάνει έναν μονοκύλινδρο πετρελαιοκινητήρα, στον στρόφαλο του οποίου είναι συνδεδεμένη μια ηλεκτρογεννήτρια που συνδέεται με ηλεκτρικές αντιστάσεις. Στην κυλινδροκεφαλή του κινητήρα έχει πραγματοποιηθεί διάνοιξη οπής, στην οποία εγκαταστάθηκε αισθητήρας μέτρησης πίεσης του θαλάμου καύσης. Επίσης μπροστά από το βολάν του κινητήρα έχει γίνει ιδιοκατασκευή για την προσαρμογή του συστήματος μέτρησης της γωνίας στροφάλου. Οι αισθητήρες μετρήσεων συνδέονται με on line κάρτες ανάκτησης δεδομένων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπου και τελικά τα δεδομένα αποθηκεύονται και επεξεργάζονται καταλλήλως.

4.1.1. Κινητήρας εσωτερικής καύσης

Ο κινητήρας από τον οποίο ανακτήθηκαν τα δεδομένα είναι ένας τετράχρονος, αερόψυκτος, μονοκύλινδρος πετρελαιοκινητήρας φυσικής αναπνής που συχνά βρίσκει εφαρμογή σε αλιευτικές βάρκες, μικρές μπετονιέρες, αντλίες νερού, σκαπτικές μηχανές κ.α. . Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κινητήρα.

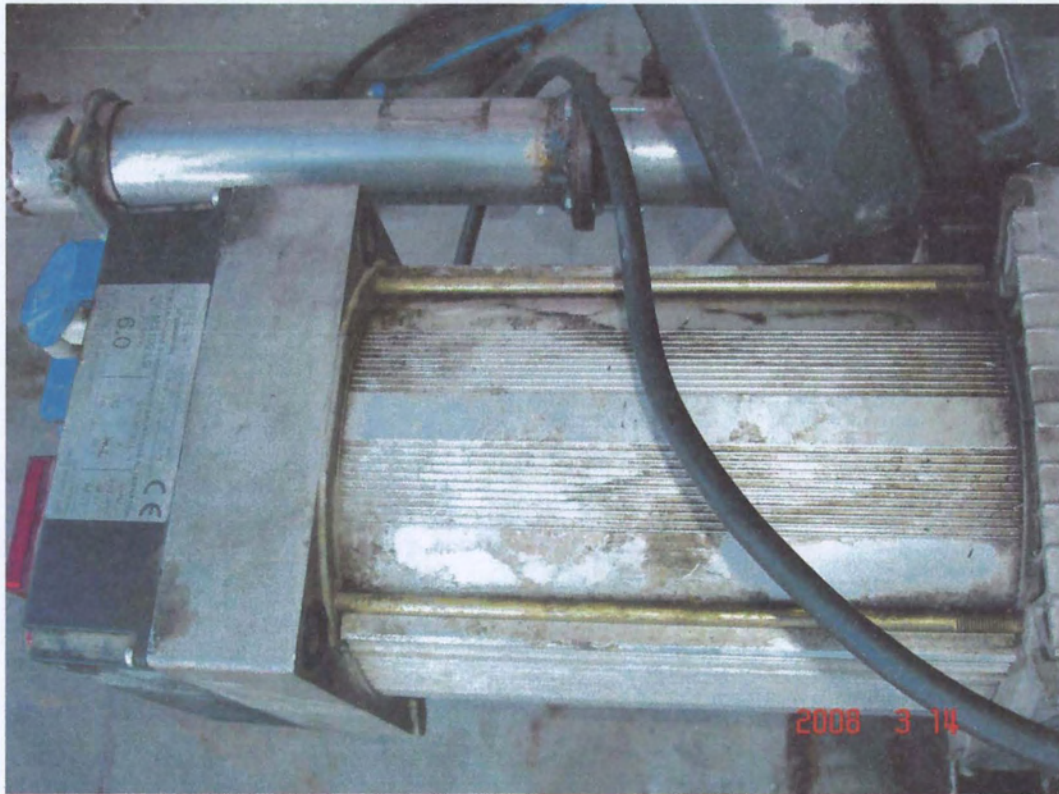
ENGINE SPECIFICATIONS	
Engine	Ruggerini RF 91
Max R.P.M	3600 rpm
Cylinder No.	1
Compration Ratio	18.5:1
Bore	90mm
Stroke	75mm
Displacement	477cm ²
Power (DIN 70020-N)	11hp (8.1kW)
Power (DIN 6270-NB)	10.2hp (7.5kW)
Power (DIN 6270-NA)	9.5hp (7kW)
Max Torque	25Nm/2500rpm
Oil capacity	2L
Weight	48kg

Πίνακας 12: Τεχνικά χαρακτηριστικά κινητήρα RF91

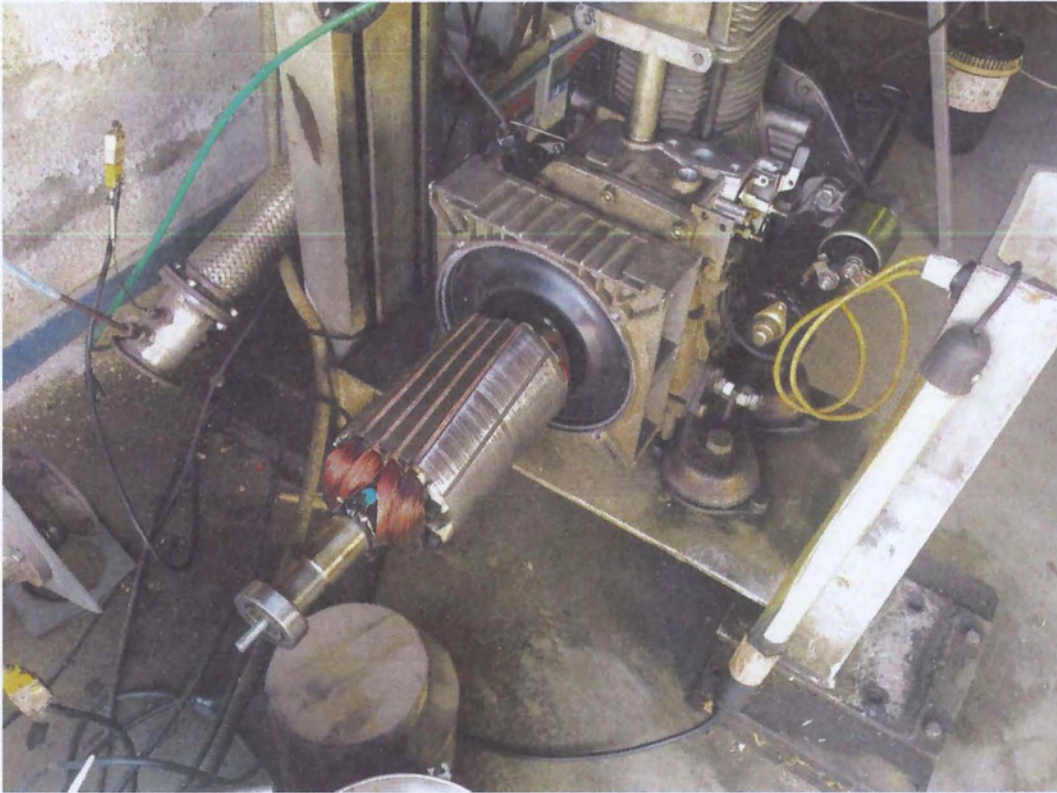
4.1.2. Ηλεκτρογεννήτρια

Στον στρόφαλο του κινητήρα είναι κομπλαρισμένη μια ηλεκτρογεννήτρια τύπου NSM MS100LG (single-phase synchronous brushless alternator), μέγιστης ισχύος 6kVA. Η ηλεκτρογεννήτρια συνδέεται με τέσσερις ηλεκτρικές αντιστάσεις των 1.5kW έκαστος. Με την ενεργοποίηση κάθε μίας εκ' των τεσσάρων αντιστάσεων, αυξάνεται το φορτίο που

επιβάλλεται, αφού κάθε ηλεκτρική αντίσταση καταναλώνει την ισχύ που παράγεται από την ηλεκτρογεννήτρια. Έτσι το επιβαλλόμενο φορτίο μπορεί να μεταβάλλεται από 0kW (καμία ενεργή αντίσταση), ως και 6kW (τέσσερις ενεργές αντιστάσεις).



Εικόνα 28: Ηλεκτρογεννήτρια Nuova Saccardo Motori



Εικόνα 29: Ρότορας ηλεκτρογεννήτριας Nuova Saccardo Motori

4.1.3. Αισθητήρας μέτρησης πίεσης θαλάμου καύσης

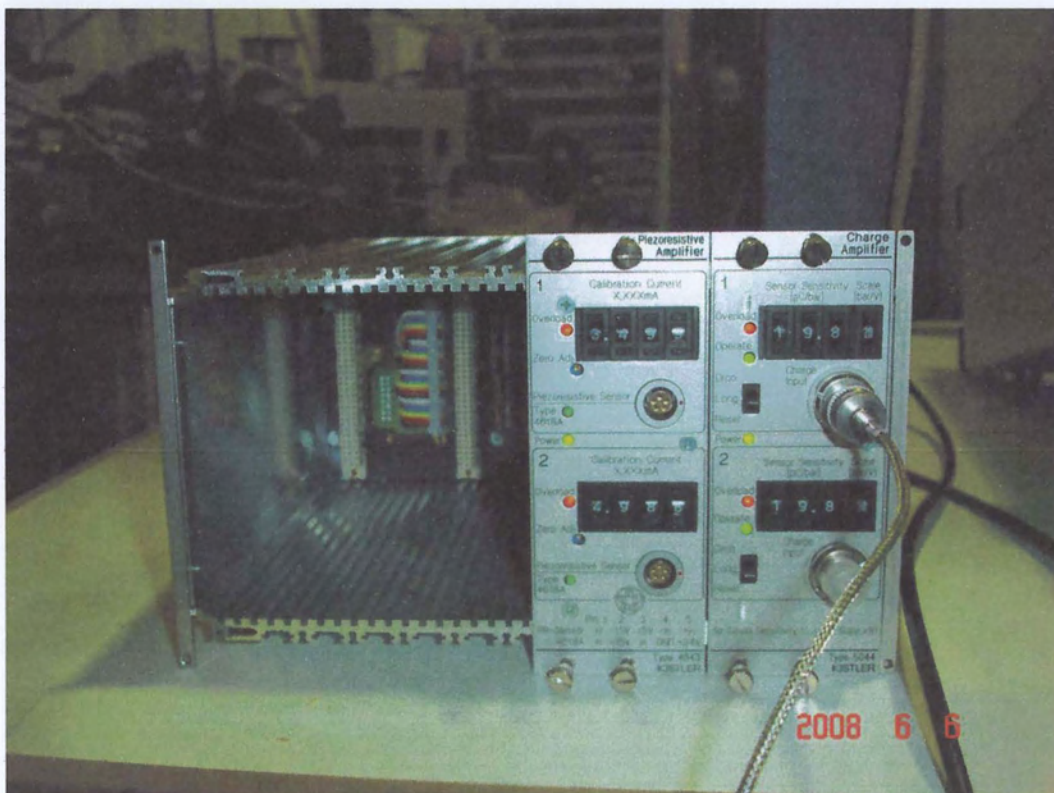
Η μέτρηση της πίεσης στον θάλαμο καύσης επιτυγχάνεται με την χρήση ενός πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα, ο οποίος τοποθετήθηκε στον κινητήρα σε αυτοσχέδια οπή που ανοίχθηκε στην κυλινδροκεφαλή του κινητήρα. Ο πιεζοηλεκτρικός αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες των εργαστηριακών πειραμάτων είναι ο Kistler 6052B με ικανότητα μέτρησης από 0-250bar πίεσης. Ο αισθητήρας συνδέεται στην συνέχεια με ενισχυτή σήματος, ο οποίος μετατρέπει το ηλεκτρικό φορτίο (20cr/bar) σε τάση. Στην συνέχεια τάση αυτή διαβάζεται είτε από παλμογράφο τύπου Agilent 3000 Oscilloscopes, είτε με κάρτα On-line ανάκτησης δεδομένων που έχει εγκατασταθεί σε ηλεκτρονικό υπολογιστή [16].



Εικόνα 30: Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας Kistler 6052B

4.1.4. Ενισχυτής σήματος αισθητήρα μέτρησης πίεσης

Ο ενισχυτής σήματος όπως ήδη αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι ο Kistler AG 5044A. Με την χρήση του ενισχυτή το ηλεκτρικό φορτίο που έρχεται από τον αισθητήρα πίεσης μετατρέπεται σε ηλεκτρική τάση και ενισχύεται στην τιμή που θα επιλεγεί από το αντίστοιχο όργανο του ενισχυτή. Για τις ανάγκες των πειραμάτων που διεξήχθησαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, η ενίσχυση του σήματος επιλέχθηκε στα 20V/bar [17].



Εικόνα 31: Ενισχυτής Σήματος KISTLER AG 5044A συνδεδεμένος με τον αισθητήρα

4.1.5. Αισθητήρας μέτρησης της γωνίας στροφάλου

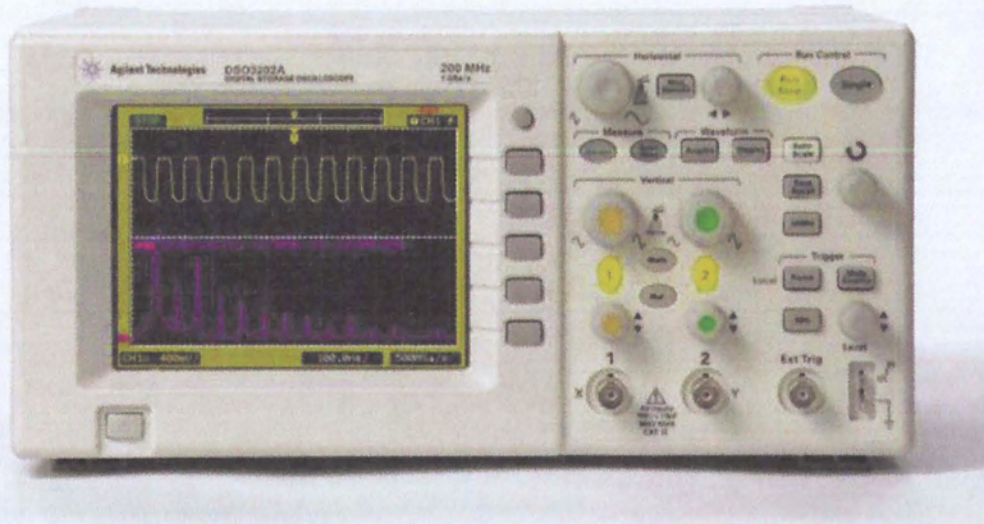
Μπροστά από το βολάν του κινητήρα έχει τοποθετηθεί δίσκος που περιμετρικά φέρει 360 οπές (μια οπή για κάθε μια μοίρα από τις 360 ενός κύκλου). Εκατέρωθεν τον πλευρών του δίσκου έχει εγκατασταθεί ένας πομπός laser (5mW Focusing Red (650nm) Laser Module) και ένας δέκτης για την καταγραφή του σήματος που είτε μεταδίδεται όταν η δέσμη του laser συναντάει μια οπή στον δίσκο, είτε διακόπτεται όταν δεν συναντάει οπή. Στην συνέχεια το ψηφιακό σήμα του δέκτη μετατρέπεται από ηλεκτρονική μονάδα σε τάση. Η τάση διαβάζεται είτε τον παλμογράφο Agilent 3000 series Oscilloscopes, είτε από την on-line κάρτα ανάκτησης δεδομένων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή [18].

4.1.6. Ανάκτηση δεδομένων

4.1.6.1. Παλμογράφος

Για την απεικόνιση και την ανάκτηση των ηλεκτρικών τάσεων χρησιμοποιήθηκε ο παλμογράφος Agilent 3000 Series Oscilloscopes. Ορισμένα από τα χαρακτηριστικά που τον καθιστούν κατάλληλο για χρήση στο πείραμα είναι:

- Είναι παλμογράφος διπλής δέσμης, δηλαδή μπορούν να απεικονιστούν ταυτόχρονα δύο κυματομορφές.
- Απεικονίζει σήματα με συχνότητα έως 200MHz.
- Η μέγιστη ευαισθησία του είναι 1mV/div.
- Επιτρέπει την παρατήρηση οποιασδήποτε συνιστώσας του σήματος εισόδου.
- Επιτρέπει την ταυτόχρονη σταθερή απεικόνιση δύο σημάτων με διαφορετικές συχνότητες.
- Παρέχει δυνατότητα σύνδεσης με ηλεκτρονικό υπολογιστή, και μέσω του ειδικού λογισμικού Agilent DSO3000, την ρύθμιση του παλμογράφου μέσω του υπολογιστή και την αποθήκευση 4000 δεδομένων ανά μέτρηση στον υπολογιστή.

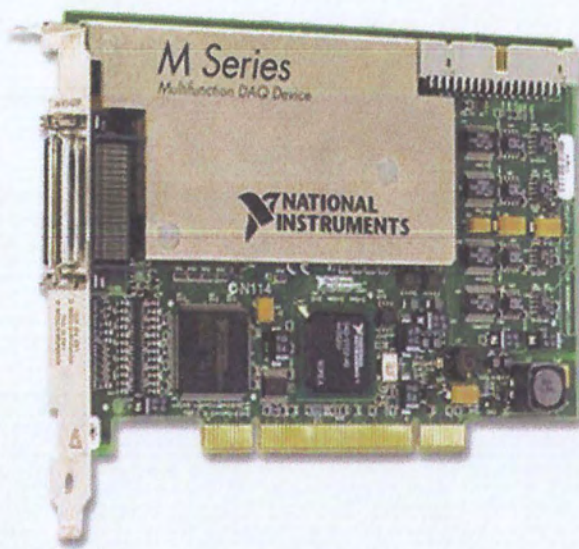


Εικόνα 32: Παλμογράφος Agilent 3000 Series Oscilloscopes

4.1.6.2. On-line κάρτα ανάκτησης

Για την ανάκτηση των σημάτων του πιεζοηλεκτρικού αισθητή και του laser πομπού δέκτη μέσω του λογισμικού Labview χρησιμοποιήθηκε η κάρτα NI-PCI-6259 με τεχνικά χαρακτηριστικά [19]:

- 16-Bit, 1 MS/s (Multichannel), 1.25 MS/s (1-Channel), 32 Analog Inputs
- Four 16-bit analog outputs (2.8 MS/s); 48 digital I/O; 32-bit counters
- NIST-traceable calibration certificate and more than 70 signal conditioning options
- NI-MCal calibration technology for increased measurement accuracy
- Correlated DIO (32 clocked lines, 10 MHz); analog and digital triggering
- Get improved measurement accuracy, resolution, and sensitivity by choosing high-accuracy M Series.
- NI-DAQmx driver software and NI LabVIEW SignalExpress LE interactive data-logging software



Εικόνα 33: Κάρτα NI-PCI-6259

4.1.7. Γωνία στροφάλου

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, υπάρχουν δύο τρόποι για την ανάκτηση και επεξεργασία των σημάτων (πίεση [P] και γωνία στροφάλου [θ]) που λαμβάνονται από την πειραματική διάταξη. Ο πρώτος και πιο έγκυρος τρόπος είναι μέσω της on-line κάρτας ανάκτησης, που μπορεί να λαμβάνει ταυτόχρονα χωρίς πρόβλημα και του λογισμικού Labview.

Εναλλακτικά μπορεί να επιλεγεί η χρήση του ηλεκτρονικού παλμογράφου για την ανάκτηση των σημάτων, ωστόσο σε αυτήν την περίπτωση είναι αναγκαίο να γίνουν κάποιες παραδοχές που οδηγούν σε μη πραγματικές θεωρήσεις. Η βάση του προβλήματος έγκειται στο γεγονός ότι ο παλμογράφος αδυνατεί να διαβάσει ταυτόχρονα δύο διαφορετικά σήματα, δηλαδή στην προκειμένη περίπτωση την πίεση και την γωνία στροφάλου. Επομένως πρέπει να γίνει ένας χειροκίνητος χρονισμός των δύο αυτών σημάτων. Ο χρονισμός αυτός μπορεί να γίνει αν λάβει κανείς υπ' όψιν από την θεωρία των χαρακτηριστικών λειτουργίας ενός Diesel κινητήρα, ότι η μέγιστη τιμή της πίεσης στον θάλαμο καύσης εμφανίζεται περίπου στις 5° μετά το ANΣ. Φυσικά ακολουθώντας αυτήν την παραδοχή θα πρέπει να κατανοεί κανείς ότι πλέον αντιμετωπίζει την γωνιακή ταχύτητα του στροφάλου ως σταθερή, κάτι που δεν ισχύει σε πραγματικές συνθήκες [20], [21].

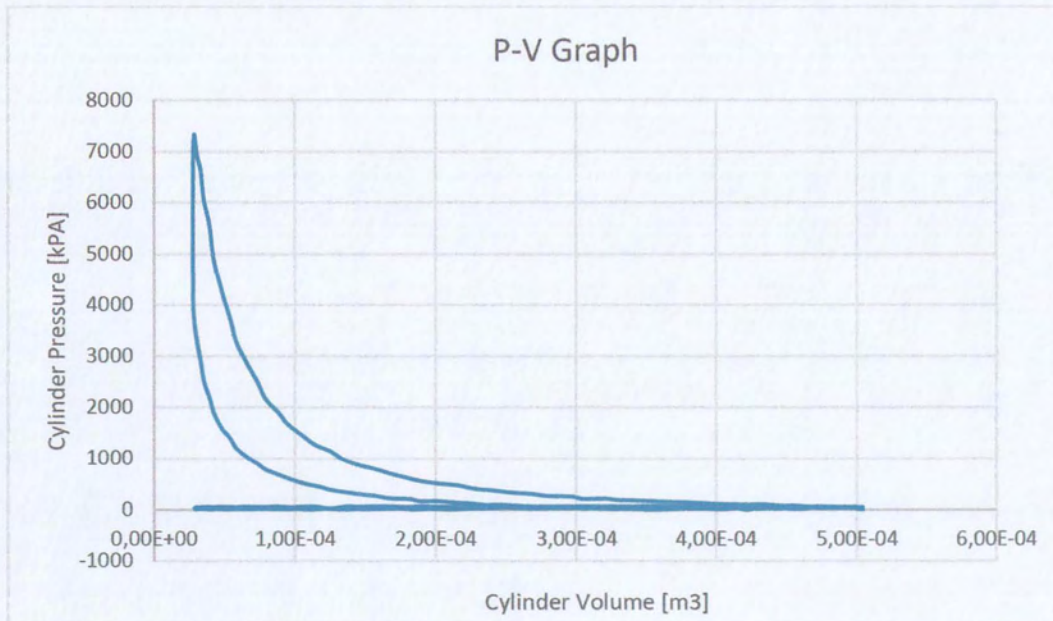
4.1.8. Όγκος κυλίνδρου συναρτήσει γωνίας στροφάλου

Ο όγκος του κυλίνδρου συναρτήσει της γωνίας στροφάλου δίνεται από τον τύπο:

$$V(\theta) = V_c + \frac{V_c}{2}(r_c - 1)[R + 1 - \cos\theta - (R^2 - \sin^2\theta)^{1/2}]$$

4.1.9. Κατασκευή διαγράμματος P-V

Γίνεται εξαγωγή των δεδομένων καταγραφής από το λογισμικό Labview και στην συνέχεια εισαγωγή τους στο Excel. Έπειτα με απλή εντολή του λογισμικού κατασκευάζεται διάγραμμα του οποίου ο κατακόρυφος άξονας αναπαριστά την πίεση του κυλίνδρου (P), ενώ ο οριζόντιος άξονας τον όγκο του κυλίνδρου (V) [22].



Γράφημα 5: Διάγραμμα Πίεσης Κυλίνδρου-Όγκου Κυλίνδρου με διορθωμένες τις αρνητικές τιμές της πίεσης

4.1.10. Μέθοδος υπολογισμού ισχύος κινητήρα

Ο υπολογισμός της ισχύος του κινητήρα γίνεται με την βοήθεια του τύπου:

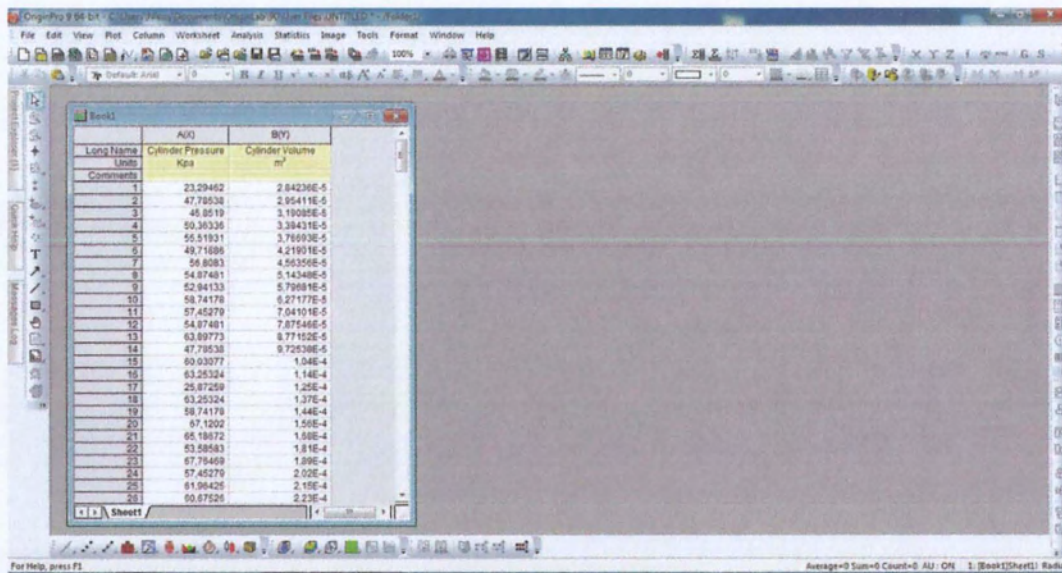
$$\dot{P}_{fourstroke} = \frac{p_{ind} \times V_d \times N_e \times n}{2}$$

Ο όρος p_{ind} στον τύπο της ισχύος αντιστοιχεί στην ενδεικνύμενη πίεση και ισχύει ότι:

$$p_{ind} = \frac{\oint p dV}{V_d}$$

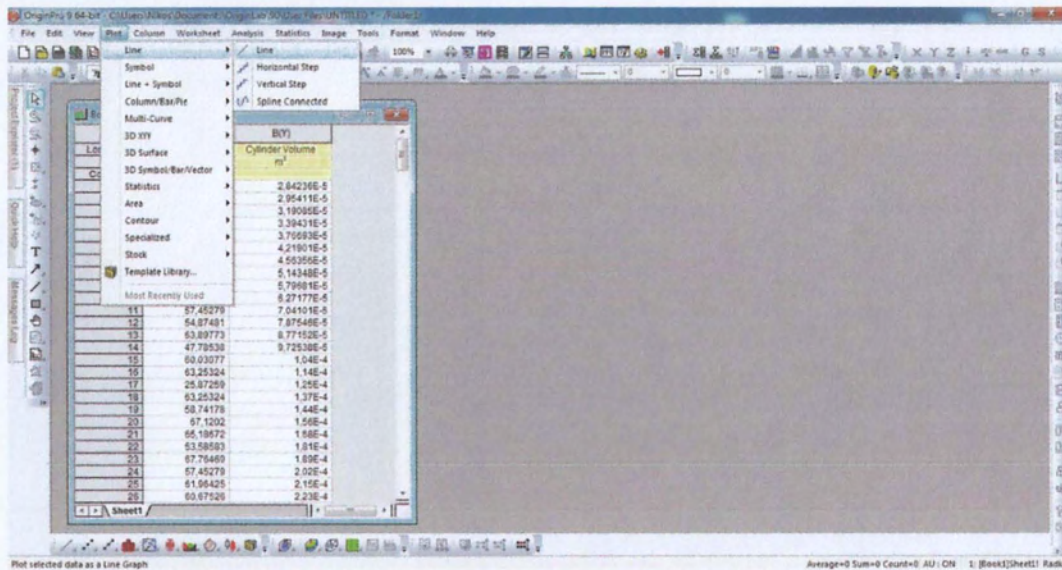
Η ενδεικνύμενη πίεση υπολογίστηκε με την χρήση του λογισμικού OriginPro. Παρακάτω παρουσιάζεται λεπτομερώς η διαδικασία που ακολουθήθηκε με εικόνες από τον περιβάλλοντα χώρο του λογισμικού.

Αρχικά γίνεται εισαγωγή των δεδομένων που ανακτήθηκαν από το λογισμικό Labview στο λογισμικό OriginPro.

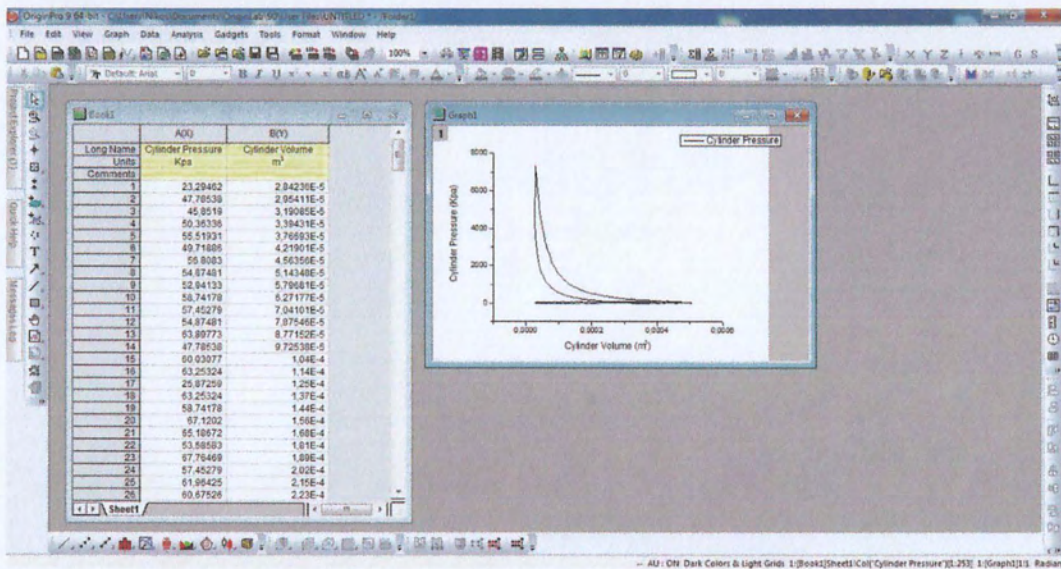
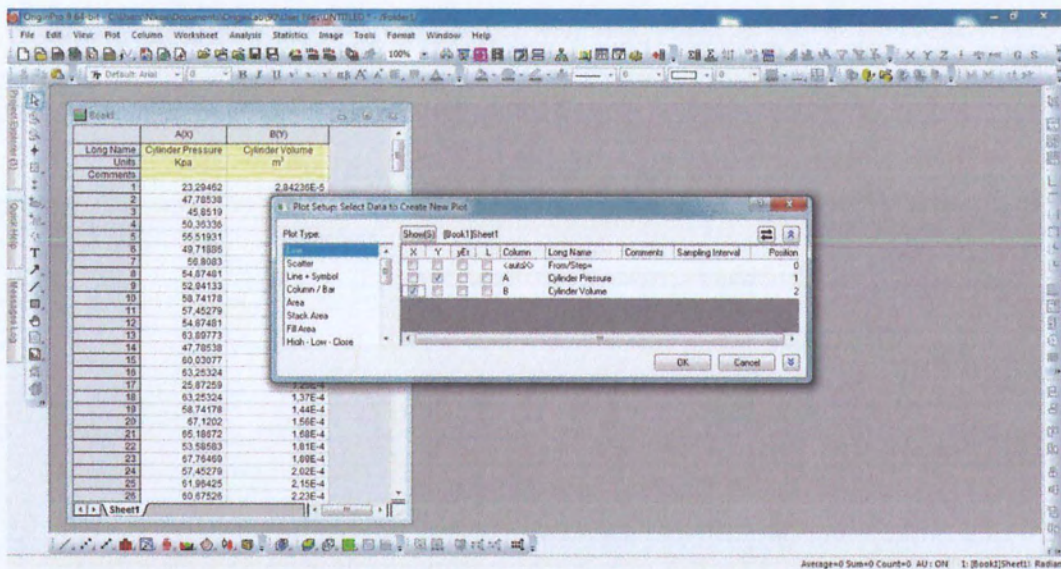


Εικόνα 34: Εισαγωγή των δεδομένων που ανακτήθηκαν από το λογισμικό Labview στο λογισμικό OriginPro

Έπειτα έχοντας εισάγει τα δεδομένα στο πρόγραμμα, κατασκευάζεται το διάγραμμα πίεσης-όγκου (P-V) του κυλίνδρου.

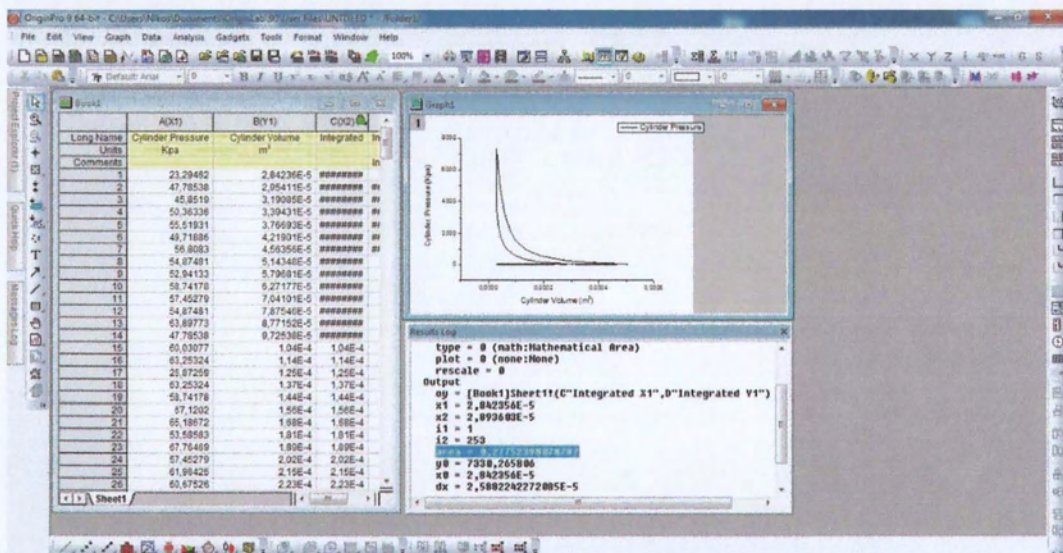
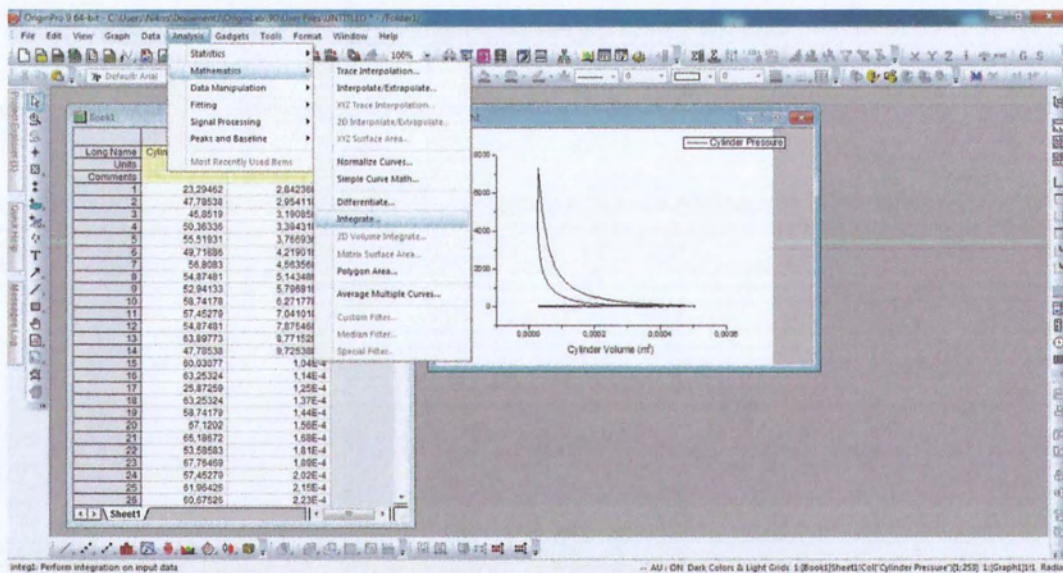


Εικόνα 35: Υπολογισμός του επικαμπύλιου ολοκληρώματος σε λογισμικό OriginPro



Εικόνα 36:Υπολογισμός του επικαμπύλιου ολοκληρώματος σε λογισμικό OriginPro

Έχοντας κατασκευάσει το διάγραμμα ακολουθεί ο υπολογισμός του επικαμπύλιου ολοκληρώματος. Ουσιαστικά για τον υπολογισμό του ολοκληρώματος, αρκεί κανείς να υπολογίσει την επιφάνεια που περικλείεται από την καμπύλη του διαγράμματος P-V. Ο υπολογισμός αυτός μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση της εντολής integrate.

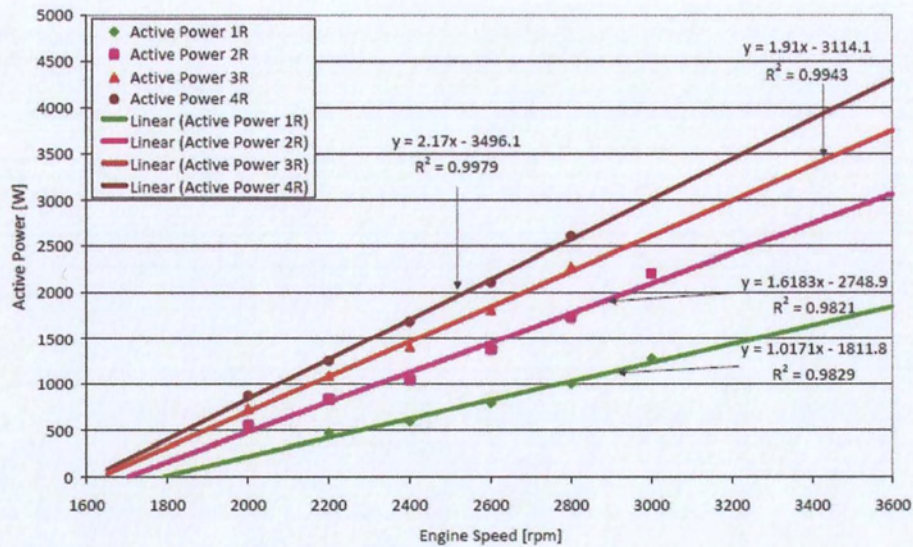


Εικόνα 37:Υπολογισμός του επικαμπύλιου ολοκληρώματος σε λογισμικό OriginPro

4.1.11. Υπολογισμός παραγόμενης ισχύος από την γεννήτρια (P_{el})

Στο παρακάτω γράφημα γίνεται αναπαράσταση των μετρήσεων για την ενεργό ισχύ που παράγει η ηλεκτρογεννήτρια. Στο γράφημα έχει γίνει αναπαράσταση τεσσάρων εξισώσεων, όπου κάθε μία από αυτές αντιπροσωπεύει τις ενεργοποιημένες αντιστάσεις (δηλαδή μία ω και τέσσερις ενεργοποιημένες αντιστάσεις).

Η ισχύς υπολογίζεται αντικαθιστώντας τον αριθμό των στροφών του κινητήρα στην κατάλληλη εξίσωση κάθε φορά [23].



Γράφημα 6: Χαρακτηριστικές καμπύλες ηλεκτρογεννήτριας

4.1.12. Υπολογισμός απωλειών ισχύος λόγω τριβών ($P_{friction}$)

Έχοντας ήδη βρει την ισχύ που παράγει η ηλεκτρογεννήτρια (P_{el}), η ισχύς του στροφάλου μπορεί να υπολογισθεί με την χρήση του τύπου:

$$P_{el} = \eta \times P_{shaft}, \text{ όπου } \eta = 0.92$$

Ο συντελεστής “ η ” στον τύπο υπολογισμού της P_{el} , χρησιμοποιείται επειδή πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι τριβές και οι ηλεκτρικές απώλειες της ηλεκτρογεννήτριας.

Τελικά η ισχύς που χάνεται σε τριβές υπολογίζεται κάνοντας:

$$P_{friction} = P_{fourstroke} - P_{shaft}$$

4.2. Αποτελέσματα

Οι υπολογισμοί για διαφορετικά σημεία λειτουργίας παρατίθενται στους παρακάτω πίνακες. Οι μετρήσεις και οι υπολογισμοί έγιναν για διαφορετικές τιμές της ηλεκτρικής αντίστασης της ηλεκτρομαγνητικής πέδης αλλά και για διαφορετικά σημεία λειτουργίας του κινητήρα LOW RPM και HIGH RPM.

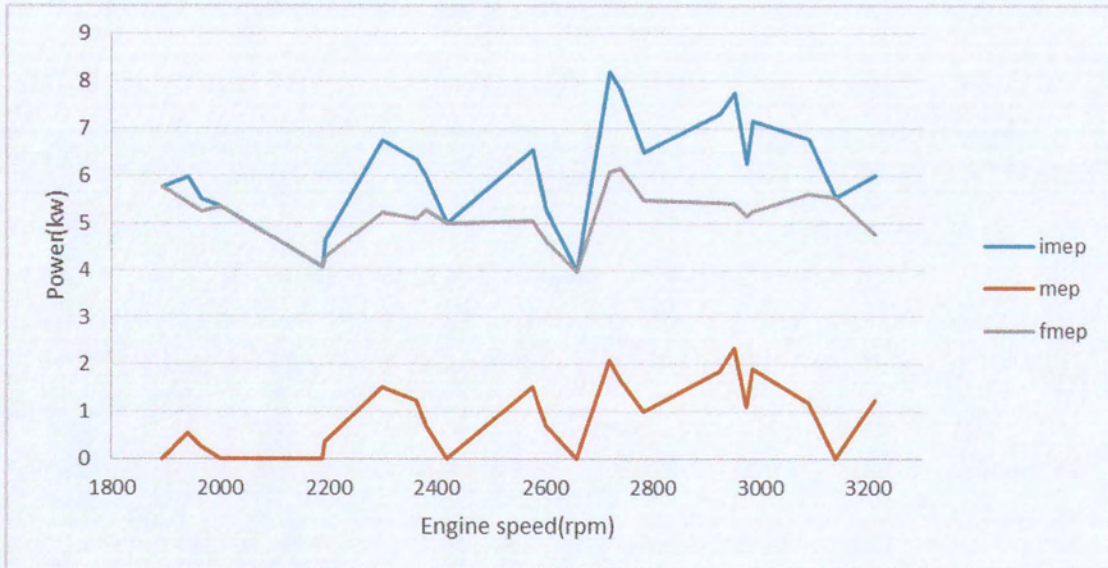
4.2.1. Αποτελέσματα καλής λειτουργίας κινητήρα

4.2.1.1. Μέση ενδεικνυόμενη ισχύς και μέση ενδεικνυόμενη πίεση - ροπή

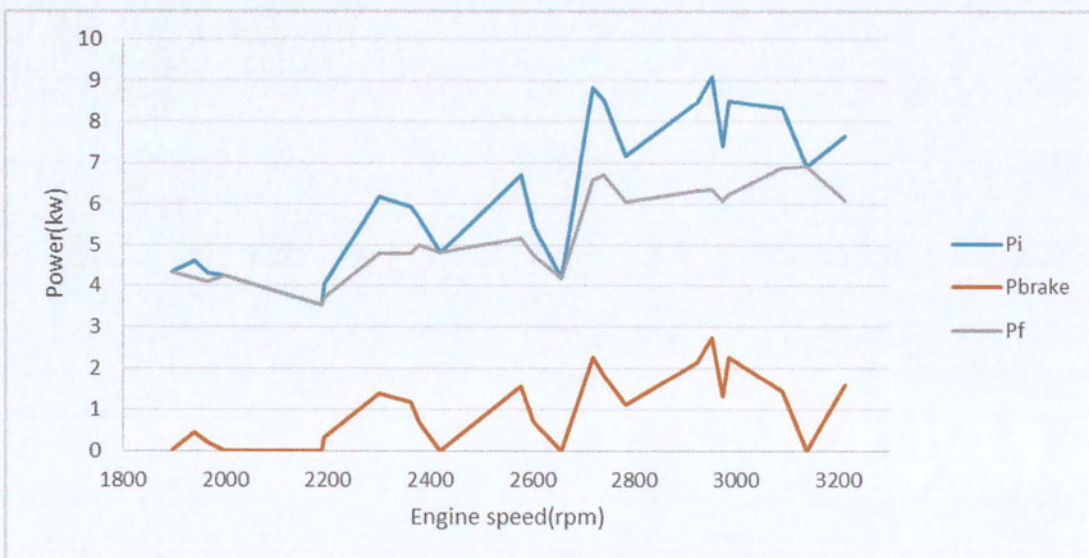
N (rpm/min)	Wc,i(kj)	Pi(kw)	Pel(kw)	Pbrake(kw)	Pf(kw)	Pel(w)real	imep(bar)	mep(bar)	fmep(bar)	T(Nm)	Tind(Nm)
1893	0.2744857	4.3300119	0	0	4.330012	0	5.754417	0	5.754417	0	21.54713
1940	0.2854317	4.6144786	3	0.424567	4.189911	390.602	5.983892	0.550564	5.433328	2.061559	22.40639
1965	0.2624808	4.2981238	1.5	0.203045	4.095079	186.8015	5.502743	0.259952	5.242791	0.973377	20.60475
2000	0.2552543	4.2542384	0	0	4.254238	0	5.351243	0	5.351243	0	20.03746
2188	0.1943526	3.5436952	0	0	3.543695	0	4.074477	0	4.074477	0	15.25668
2192	0.2207542	4.0324441	1.5	0.31087	3.721575	286	4.627971	0.35678	4.271191	1.335945	17.32921
2300	0.3221021	6.1736243	4.5	1.390109	4.783516	1278.9	6.752665	1.520491	5.232175	5.693402	25.28502
2363	0.302036	5.9475914	3	1.168634	4.778958	1075.143	6.331991	1.244164	5.087827	4.658709	23.70982
2380	0.2849202	5.6509181	1.5	0.661846	4.989072	608.898	5.973171	0.699588	5.273582	2.619574	22.36624
2420	0.2385121	4.8099938	0	0	4.809994	0	5.000253	0	5.000253	0	18.7232
2577	0.3122405	6.7053647	3	1.545064	5.1603	1421.459	6.545922	1.508325	5.037597	5.647848	24.51088
2602	0.2522772	5.4702116	1.5	0.706067	4.764144	649.582	5.288831	0.682656	4.606175	2.55617	19.80376
2658	0.1894709	4.1967798	0	0	4.19678	0	3.972136	0	3.972136	0	14.87346
2720	0.3901257	8.8428486	4.5	2.262065	6.580783	2081.1	8.178735	2.09218	6.086555	7.834064	30.62487
2740	0.3737382	8.5336888	3	1.831785	6.701904	1685.242	7.835182	1.681848	6.153334	6.297596	29.33845
2783	0.3088917	7.163714	1.5	1.10738	6.056334	1018.789	6.475718	1.001028	5.47469	3.748299	24.248
2925	0.3481813	8.4869194	3	2.157204	6.329716	1984.628	7.299399	1.85536	5.444039	6.947303	27.33223
2953	0.3697	9.0977008	4.5	2.745793	6.351907	2526.13	7.750524	2.3392	5.411324	8.759016	29.02145
2975	0.2989445	7.4113327	1.5	1.319644	6.091689	1214.073	6.267181	1.115919	5.151262	4.178503	23.46714
2986	0.3413458	8.4938216	3	2.264504	6.229317	2083.344	7.156097	1.907859	5.248238	7.143881	26.79565
3091	0.3234155	8.3306447	1.5	1.447887	6.882758	1332.056	6.7802	1.178416	5.601784	4.412519	25.38812
3140	0.2637758	6.9021338	0	0	6.902134	0	5.529891	0	5.529891	0	20.7064
3213	0.2857097	7.649877	1.5	1.582763	6.067114	1456.142	5.989721	1.239276	4.750445	4.640408	22.42821

Πίνακας 13: Συγκεντρωτικά μετρήσεων για διάφορα σημεία λειτουργίας

4.2.1.2. Χαρακτηριστικές καμπύλες



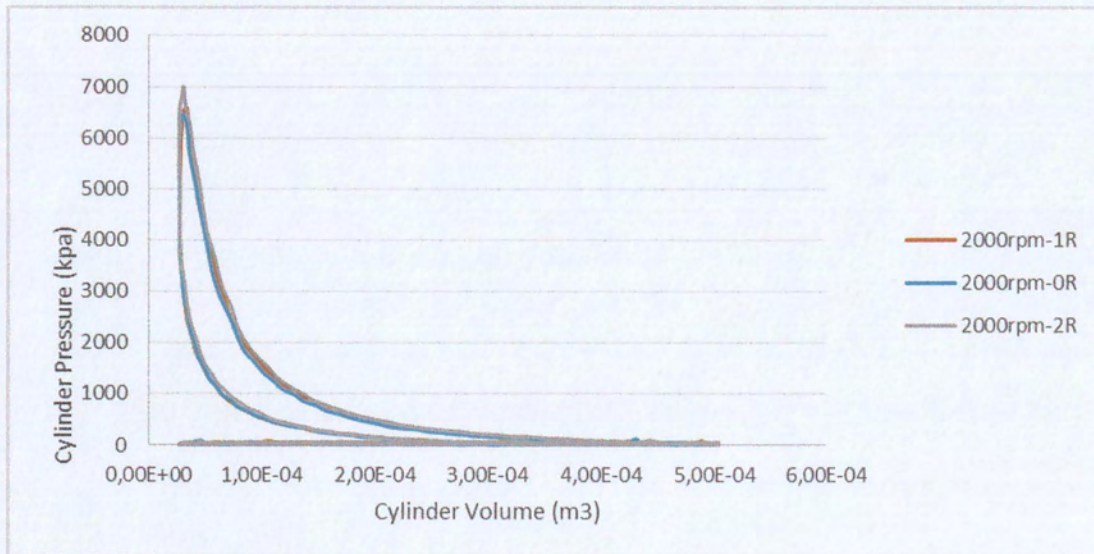
Γράφημα 7: Διάγραμμα μέσων πιέσεων σε συνάρτηση τις στροφές του κινητήρα



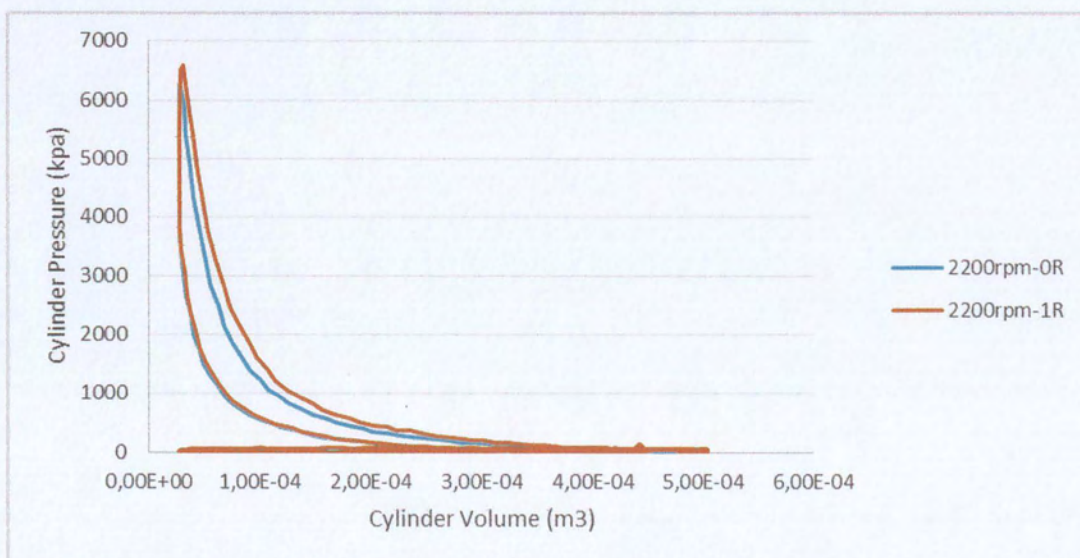
Γράφημα 8: Χαρακτηριστική Καμπύλη Κινητήρα RF91 βάσει μετρήσεων

Διάγραμμα 1: Χαρακτηριστική Καμπύλη Κινητήρα RF91 βάσει μετρήσεων.

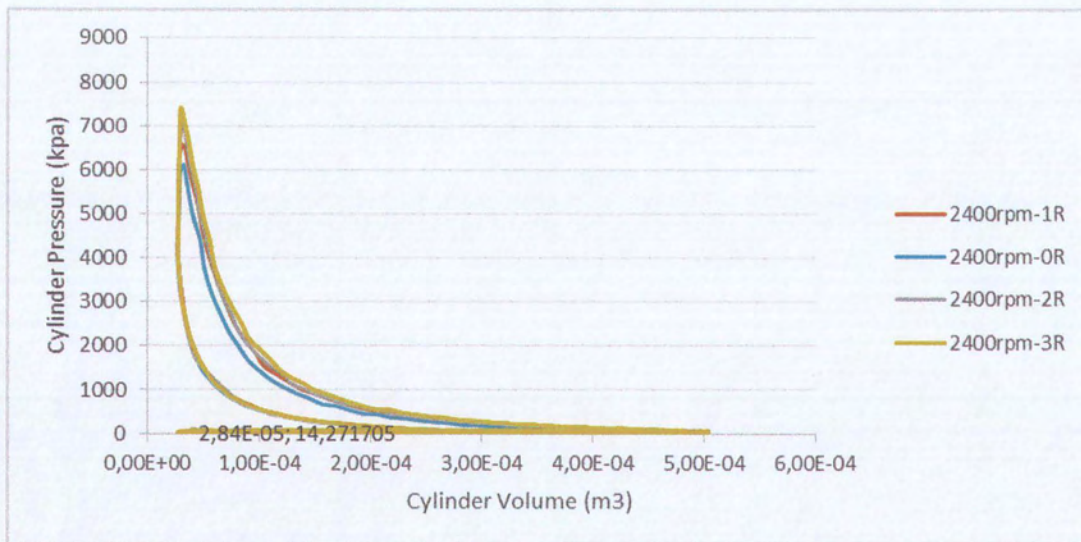
4.2.1.3. Δυναμοδεικτικά διαγράμματα



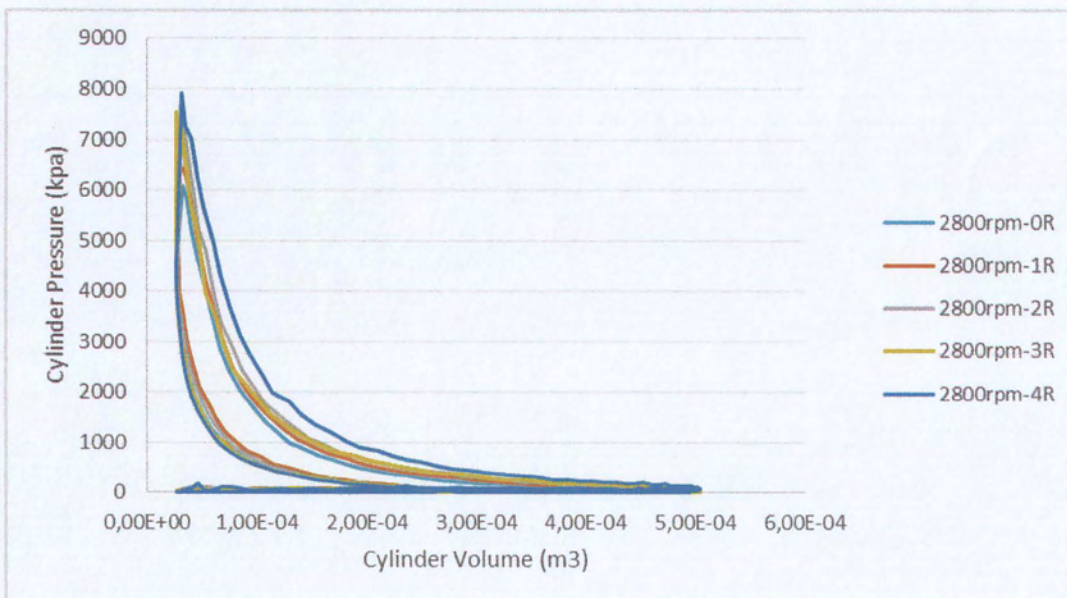
Γράφημα 9: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2000rpm



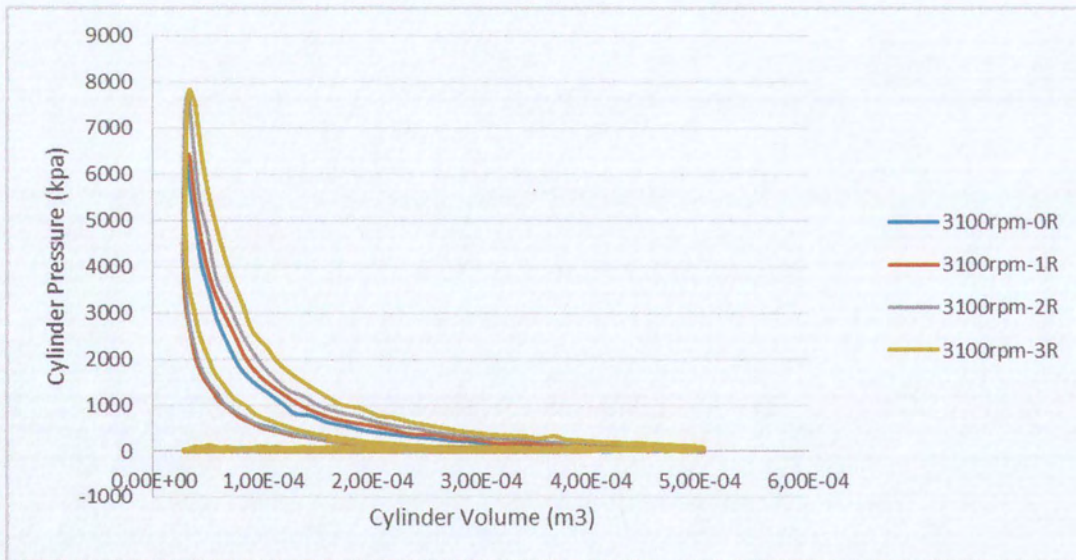
Γράφημα 10: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2200rpm



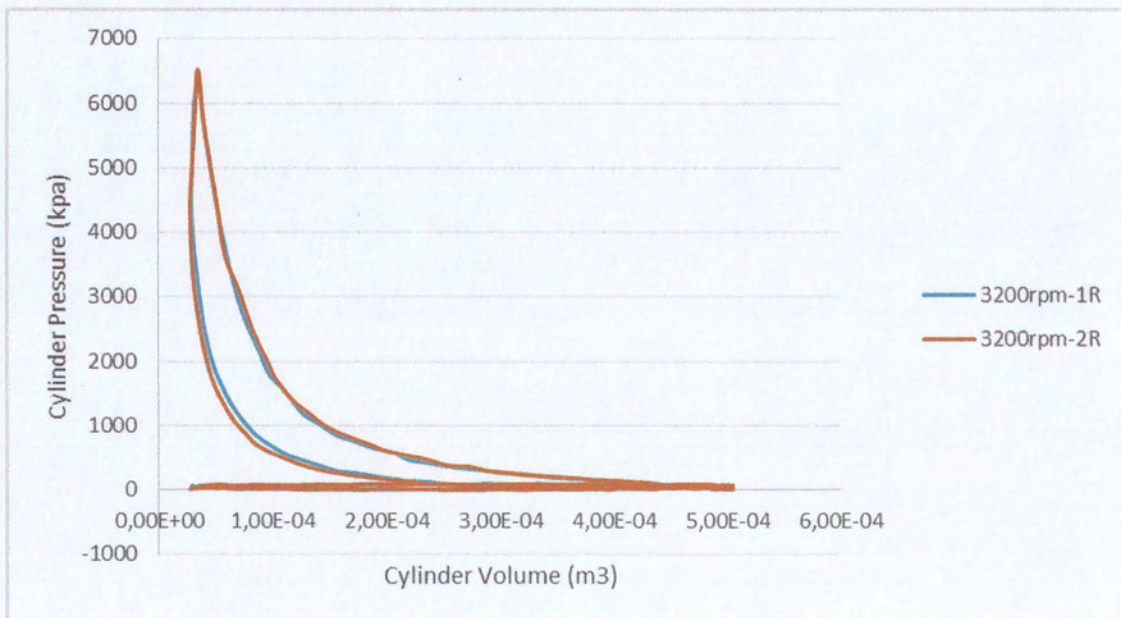
Γράφημα 11: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2400rpm



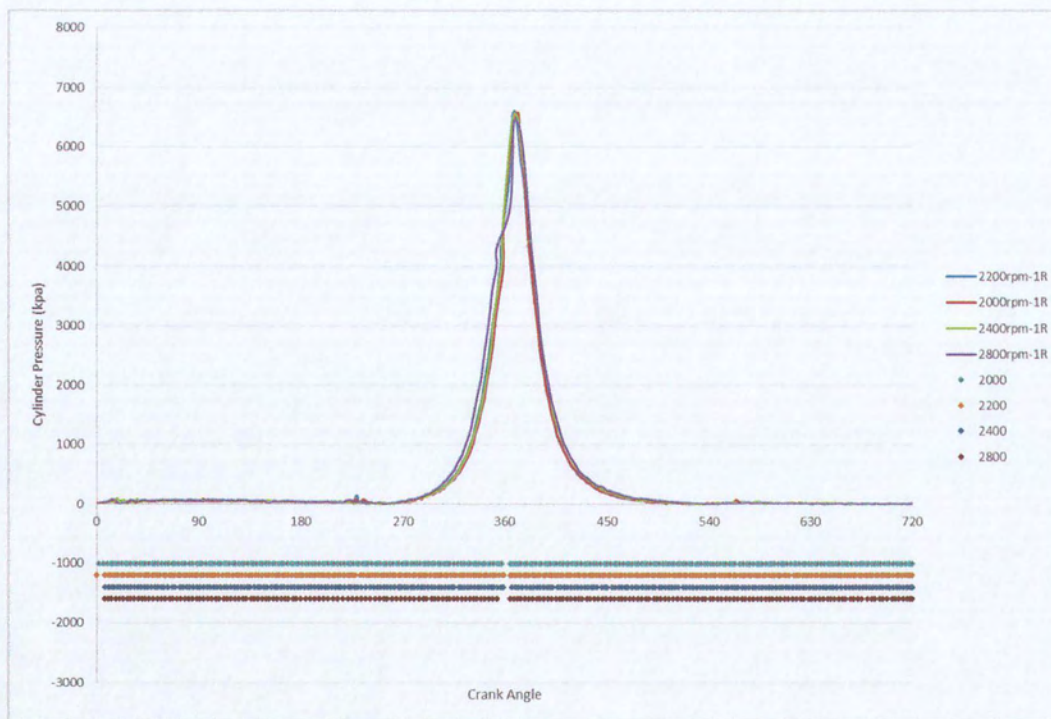
Γράφημα 12: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2800rpm



Γράφημα 13: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 3100rpm



Γράφημα 14: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 3100rpm



Γράφημα 15: Διάγραμμα πίεσης-Γωνίας στροφάλου

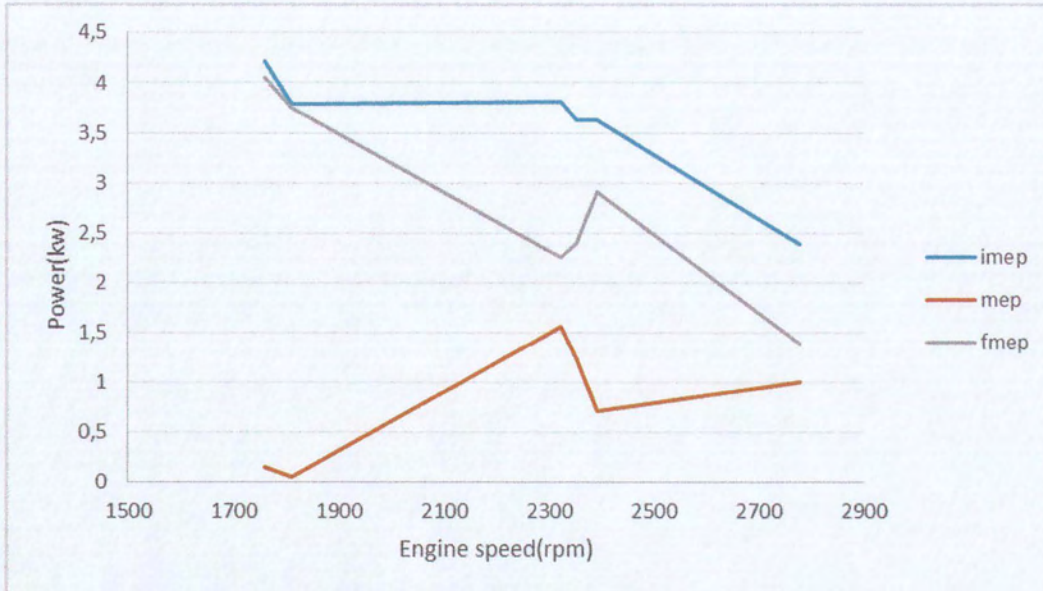
4.2.2. Αποτελέσματα κακής λειτουργίας κινητήρα

4.2.2.1. Μέση ενδεικνυόμενη ισχύς και μέση ενδεικνυόμενη πίεση - ροπή

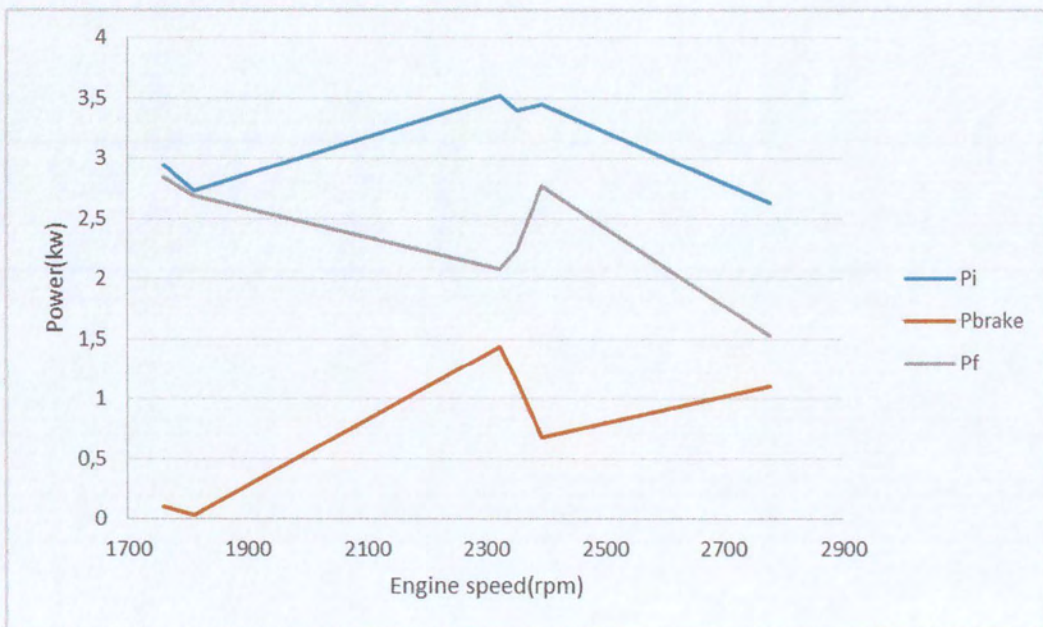
N (rpm/min)	Wc,i(kj)	Pi(kw)	Pel(kw)	Pbrake(kw)	Pf(kw)	Pel(w)real	imep(bar)	mep(bar)	fimep(bar)	T(Nm)	Tind(Nm)
1810	0.1808052	2.7271451	1.5	1.582763	1.144382	1456.142	3.790465	2.199887	1.590579	8.237365	14.19321
1759	0.2008052	2.9434696	3	0.106184	2.837285	97.6897	4.209753	0.151865	4.057888	0.568651	15.76321
2393	0.1728053	3.4460257	1.5	0.676218	2.769808	622.1203	3.622753	0.710897	2.911856	2.661918	13.56522
2352	0.1733372	3.3974093	3	1.149284	2.248125	1057.342	3.633904	1.229286	2.404617	4.603001	13.60697
2322	0.1818356	3.5185189	4.5	1.435783	2.082736	1320.92	3.812067	1.555569	2.256498	5.824751	14.27409
2778	0.1135847	2.6294858	1.5	1.101852	1.527634	1013.704	2.381231	0.997824	1.383407	3.736301	8.916399

Πίνακας 14: Συγκεντρωτικά μετρήσεων για διάφορα σημεία λειτουργίας

4.2.2.2. Χαρακτηριστικές καμπύλες

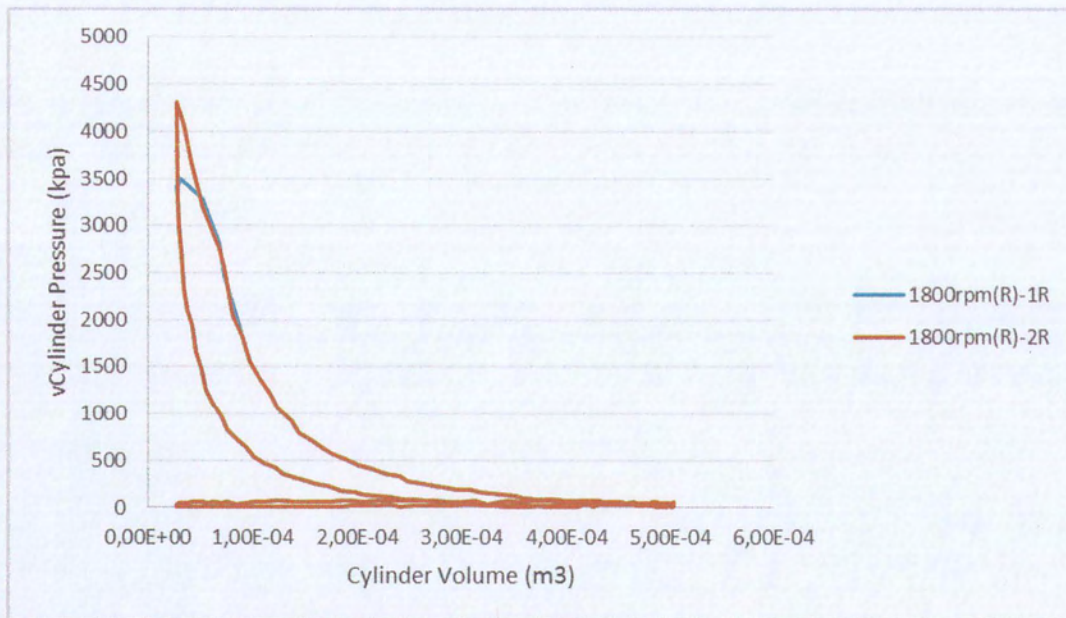


Γράφημα 16: Διάγραμμα μέσων πιέσεων σε συνάρτηση τις στροφές του κινητήρα

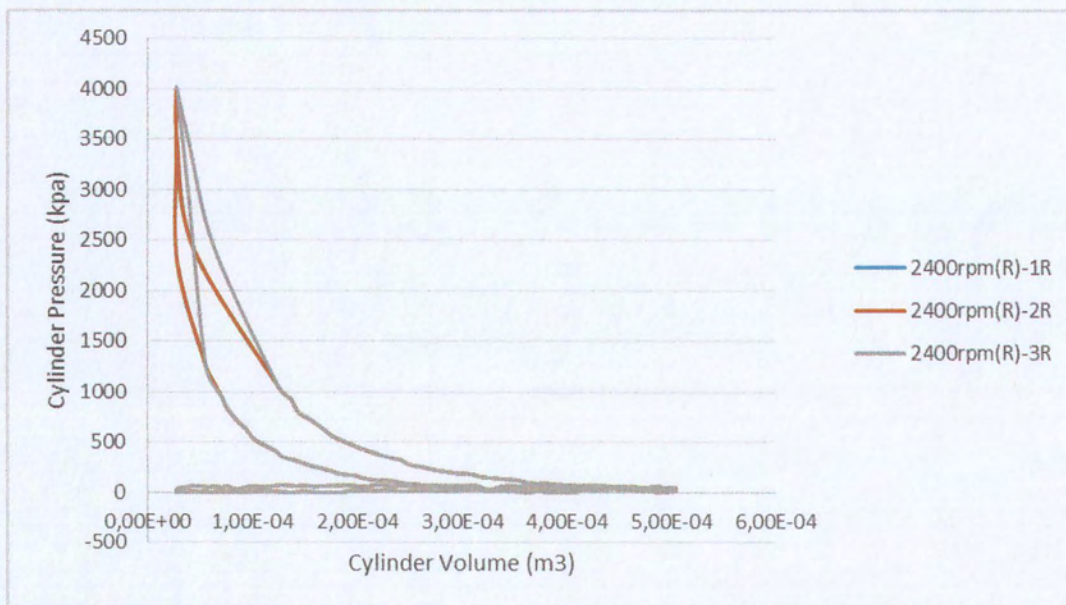


Γράφημα 17: Χαρακτηριστική Καμπύλη Κινητήρα RF91 βάσει μετρήσεων

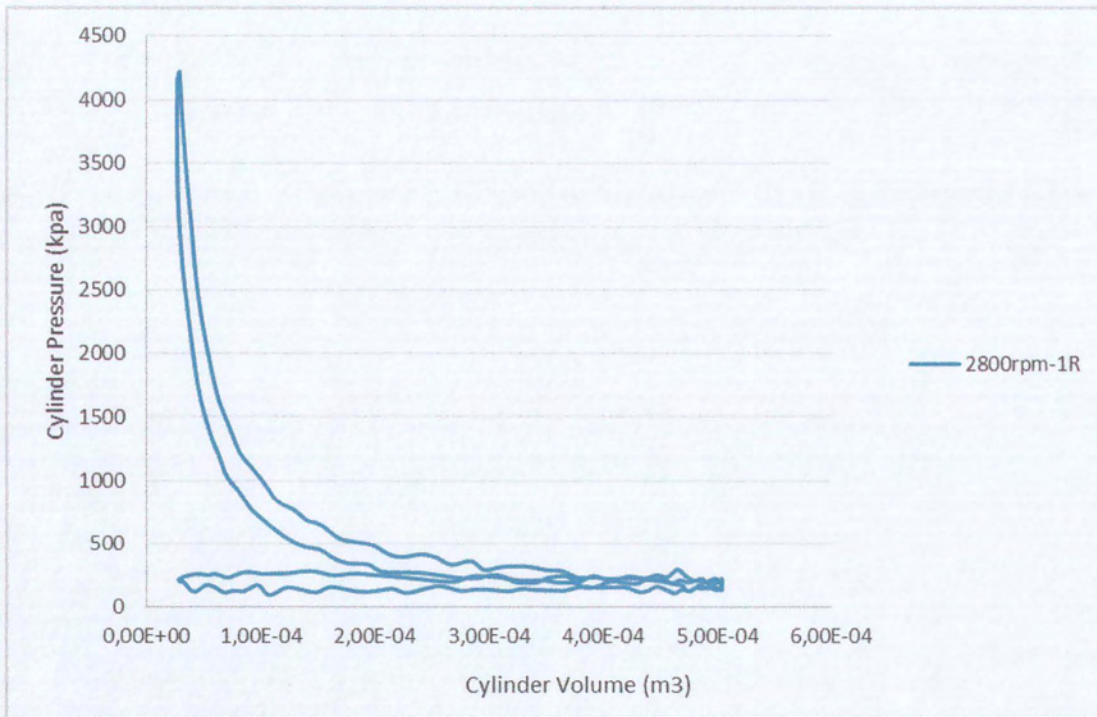
4.2.2.3. Δυναμοδεικτικά διαγράμματα



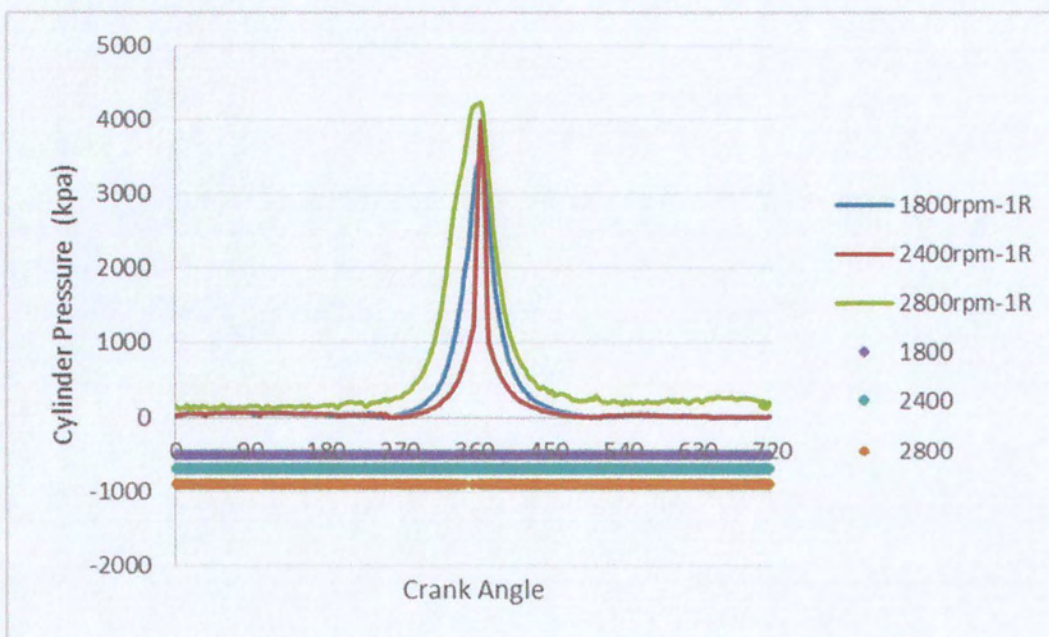
Γράφημα 18: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 1800rpm επισκευή



Γράφημα 19: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2400rpm επισκευή

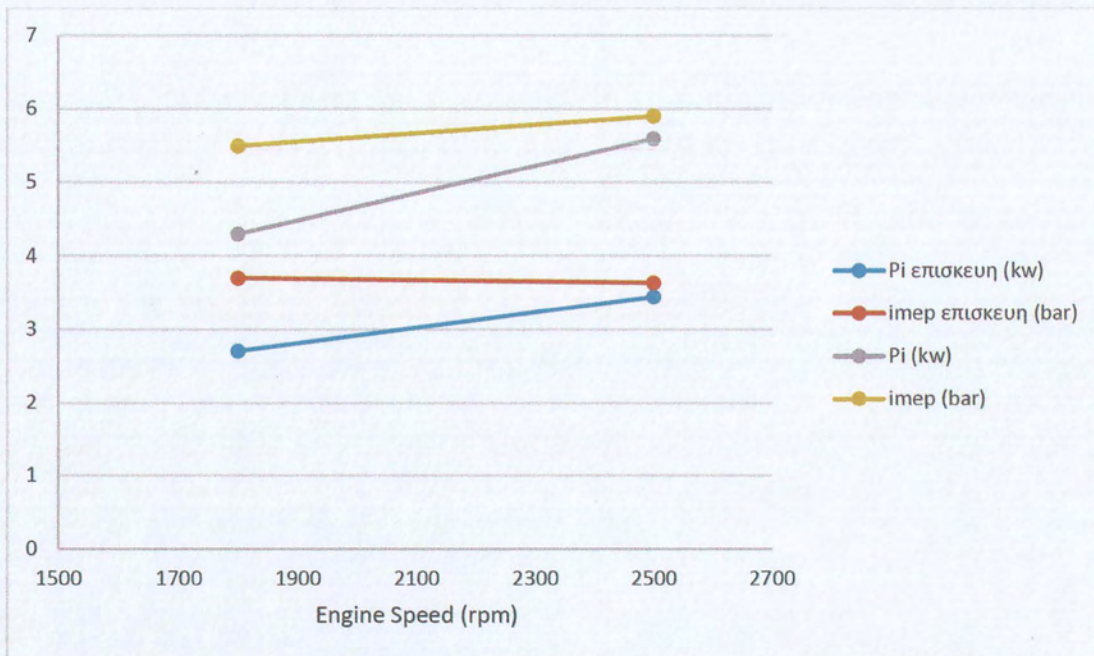


Γράφημα 20: : Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2800rpm επισκευή

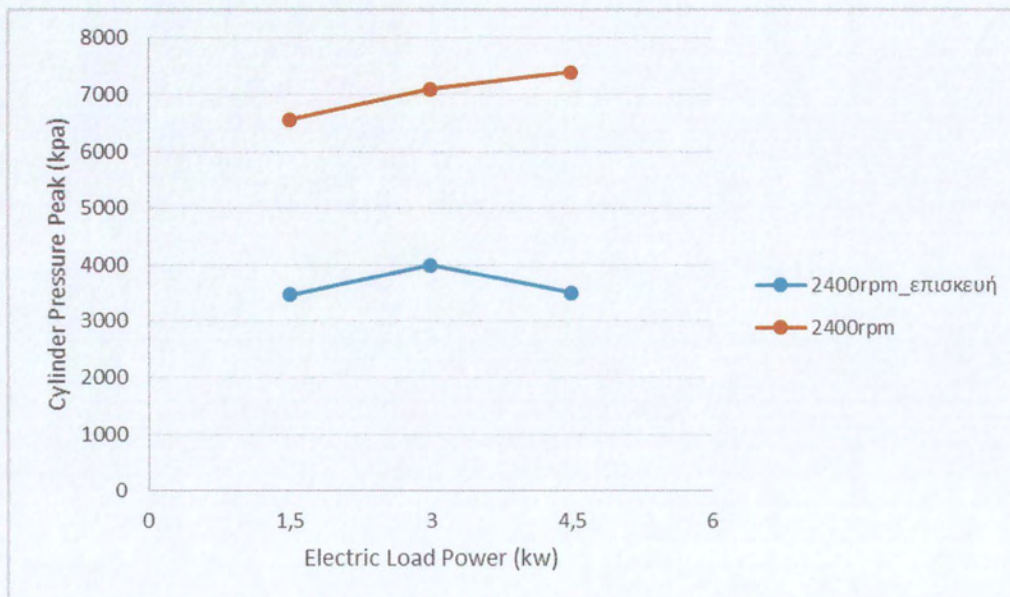


Γράφημα 21: Διάγραμμα πίεσης-Γωνίας στροφάλου

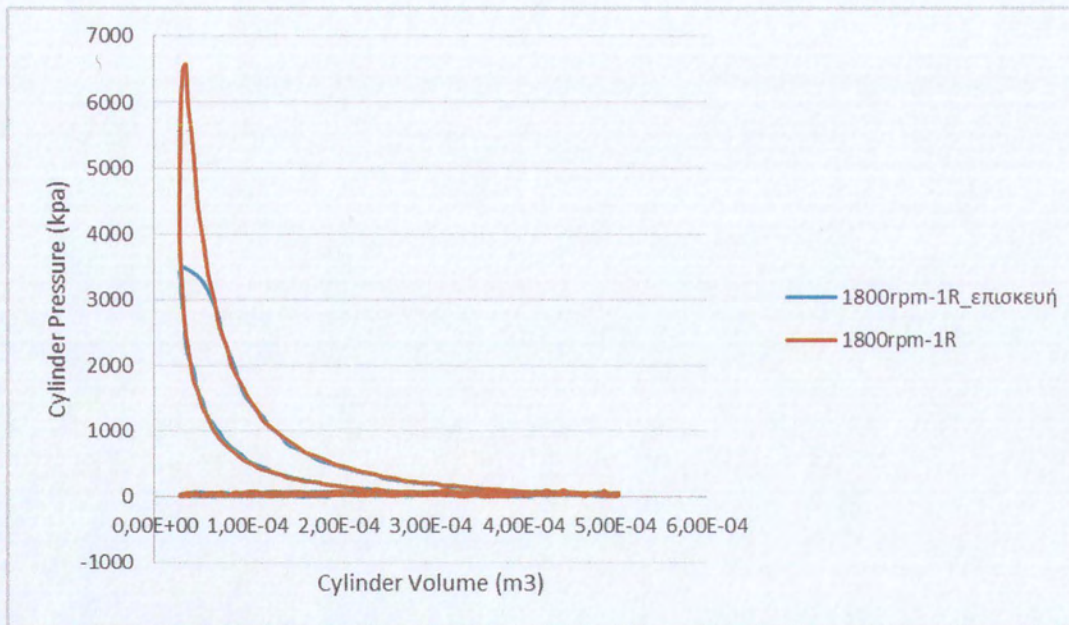
4.2.3. Σύγκριση αποτελεσμάτων



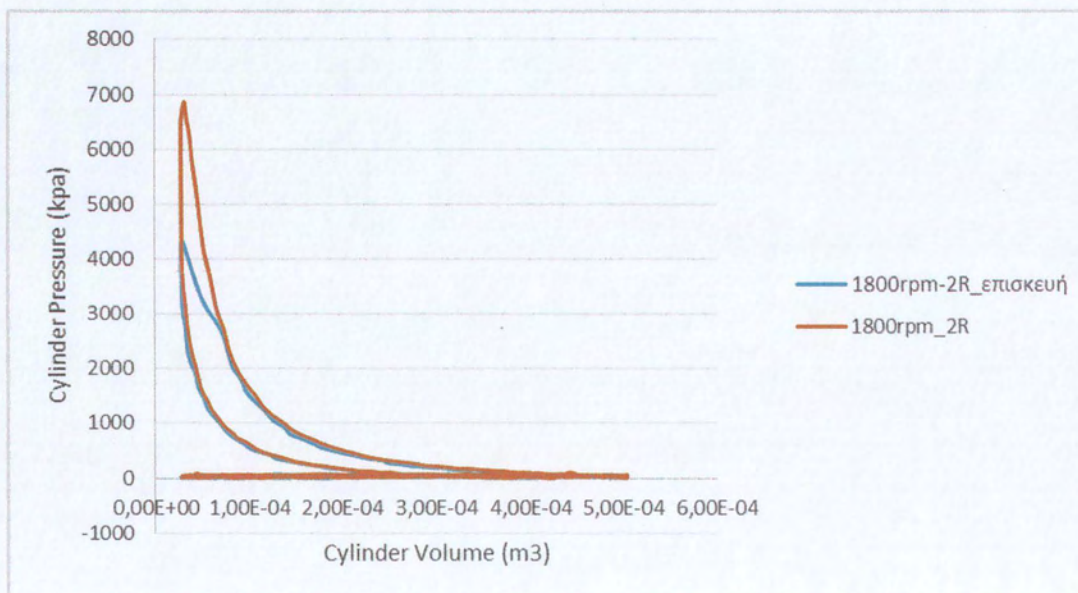
Γράφημα 22: Διάγραμμα μεταβολής της μέσης ενδεικνύμενης ισχύος και imep ανάλογα τις στροφές του κινητήρα



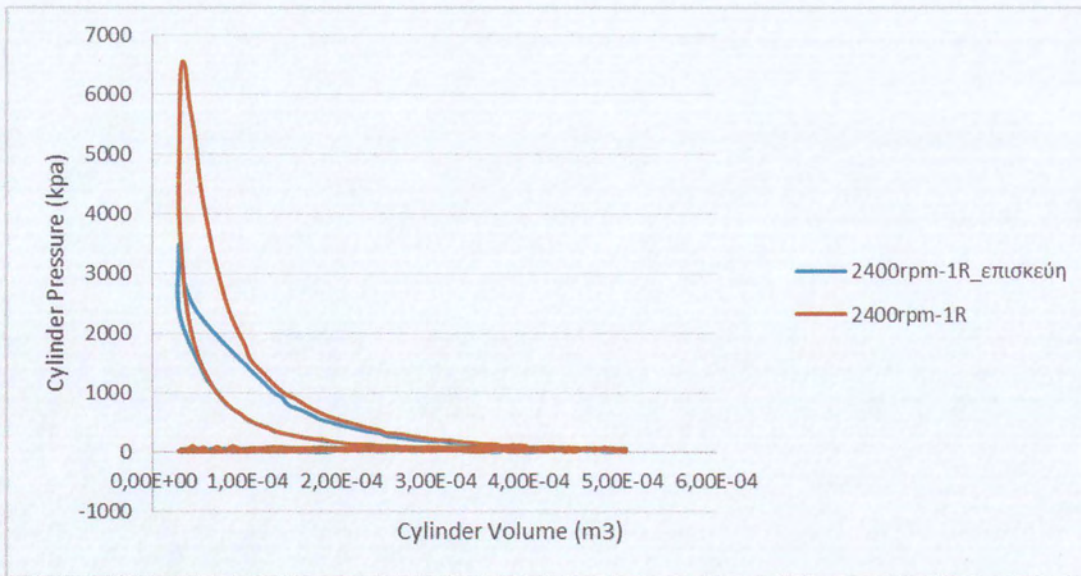
Γράφημα 23: Διάγραμμα μεταβολής του μεγίστου της πίεσης ανάλογα με το φορτίο που εφαρμόζεται στην πέδη



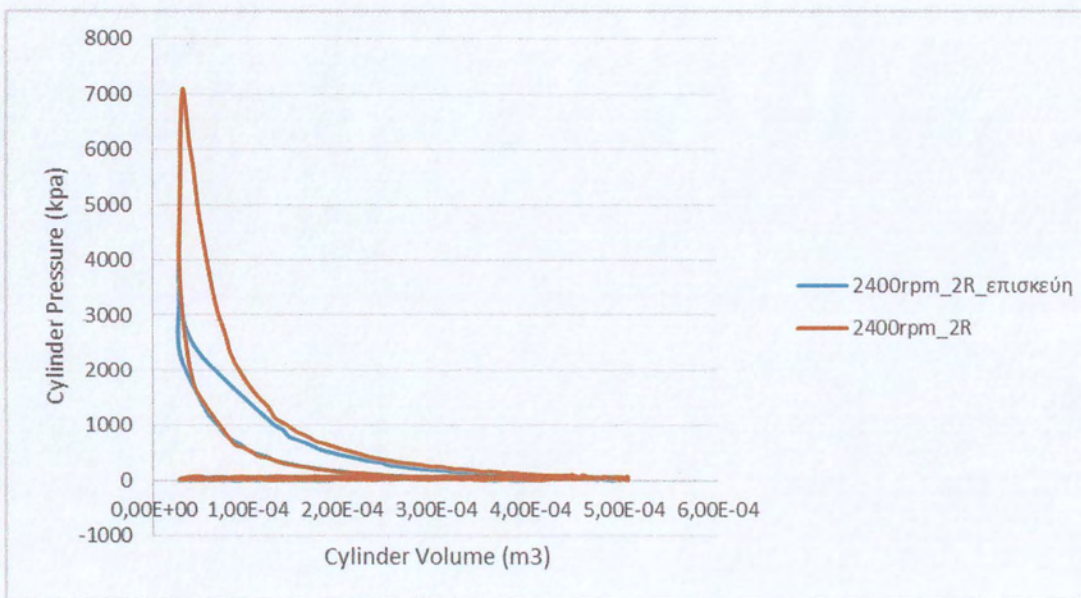
Γράφημα 24: Συγκριτικό διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 1800rpm 1R



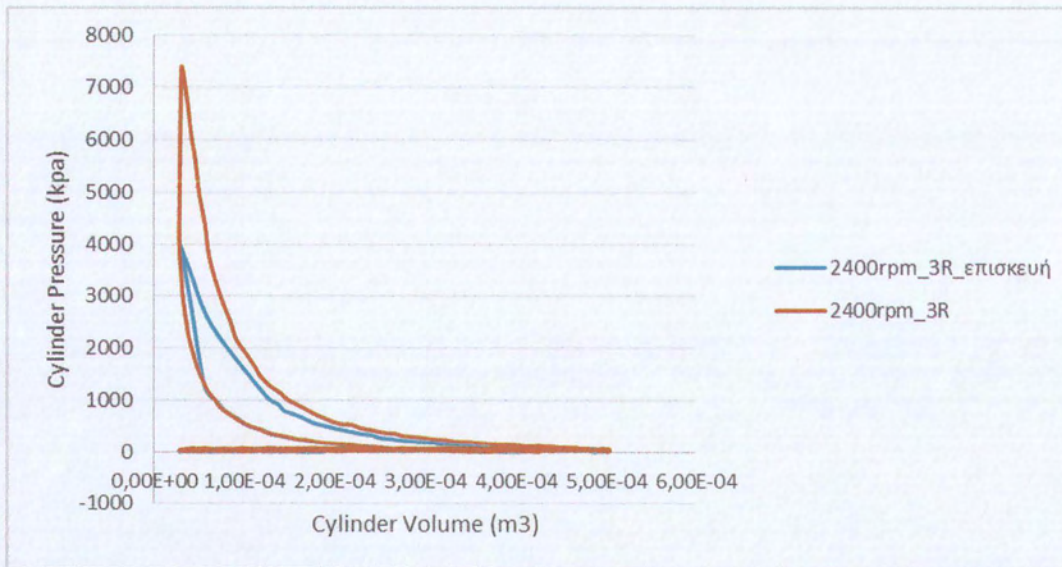
Γράφημα 25: Συγκριτικό διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 1800rpm 2R



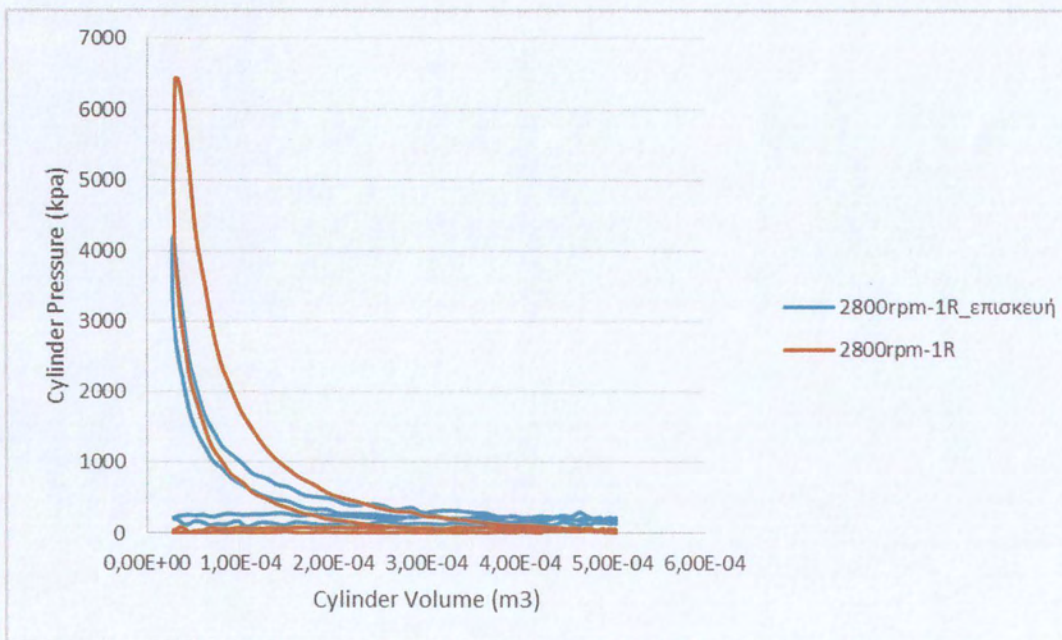
Γράφημα 26: Συγκριτικό διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2400rpm 1R



Γράφημα 27: Συγκριτικό διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2400rpm 2R



Γράφημα 28: : Συγκριτικό διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2400rpm 3R



Γράφημα 29: Συγκριτικό διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2800rpm 3R

5. Συμπεράσματα – παρατηρήσεις

5.1. Επιπτώσεις χρήσης μειγμάτων βιοντίζελ στα συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου

5.1.1. Σύγκριση βιοντίζελ JB20 και ντίζελ κίνησης

Η οπτική παρατήρηση σε εγχυτήρα στον οποίο χρησιμοποιήθηκε βιοντίζελ JB20, έδειξε ότι οι επικαθίσεις που σχηματίστηκαν ήταν εντονότερες και ξερές σε σχέση με τις επικαθίσεις που σχηματίστηκαν στον εγχυτήρα που χρησιμοποιήθηκε ντίζελ κίνησης, στον οποίο ήταν λιγότερες αλλά είχαν μορφή γράσου.

Οι αναλύσεις EDX που έγιναν σε διάφορες περιοχές της μύτης του εγχυτήρα, έδειξαν ότι παρατηρείται σημαντική αύξηση του ποσοστού του άνθρακα σε σχέση με την αρχική κατάσταση στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε το καύσιμο JB20.

Μετρήσεις που αφορούν το κινηματικό ιξώδες του λιπαντικού μέσου του κινητήρα έδειξαν ότι στην περίπτωση του βιοντίζελ JB20, το κινηματικό ιξώδες παρουσίασε πιο απότομη και μεγαλύτερης τάξεως πτώση σε σχέση με την συμπεριφορά που έδειξε στην περίπτωση του ντίζελ κίνησης.

5.1.2. Σύγκριση βιοντίζελ B100 και ντίζελ κίνησης

Η χρήση καυσίμου B100 επέφερε μείωση της αρχικής διαμέτρου των οπών του εγχυτήρα σε ποσοστό 7,17% μετά από 200 ώρες λειτουργίας λόγω επικαθίσεων, ενώ στην περίπτωση του ντίζελ κίνησης το ίδιο ποσοστό ανήλθε στα 2,83%.

Τα ίχνη από την κατεργασία διαμόρφωσης (κατεσκευή) στην μύτη καινούριου εγχυτήρα έχουν εξαφανιστεί εντελώς στην περίπτωση χρήσης καυσίμου B100 λόγω επικαθίσεων, ενώ στην περίπτωση του ντίζελ κίνησης, τα ίδια ίχνη δεν καλύφθηκαν πλήρως από φερό υλικό.

Οι αναλύσεις EDX στη μύτη του εγχυτήρα έδειξαν αύξηση του ποσοστού του άνθρακα και πυριτίου κατά 148,4% και 2.642,5% αντίστοιχα σε σχέση με την αρχική κατάσταση του εγχυτήρα στην περίπτωση του B100, ενώ τα ίδια ποσοστά στην περίπτωση του ντίζελ κίνησης βρέθηκαν μόλις στα 36,6% και 56,15% αντίστοιχα.

Τα έμβολα των αντλιών πετρελαίου παρουσίασαν ίδια περίπου επίπεδα φθοράς, τόσο για το ντίζελ κίνησης, όσο και για το B100, αν και στο έμβολο της αντλίας που χρησιμοποιούσε B100 οι επικαθίσεις που σχηματίστηκαν ήταν πιο εκτεταμένες.

Κατά την χρήση καυσίμου B100 στην επιφάνεια του εμβόλου της αντλίας παρατηρήθηκε αύξηση 506,4% του ποσοστού άνθρακα, ενώ στην περίπτωση του καυσίμου ντίζελ κίνησης το ποσοστό ανήλθε στα 152,9%.

5.2. Παρατηρήσεις δυναμόμετρησης πετρελαιοκινητήρα Rugggerini RF91

Από την αναπαράσταση των αποτελεσμάτων σε διαγράμματα παρατηρούμε ότι αποτελούν λογικές τιμές καθώς προσεγγίζουν ικανοποιητικά αντίστοιχα της βιβλιογραφίας. Ακόμη η μεταβολή της τιμής της μέγιστης πίεσης ανάλογα με το φορτίο του κινητήρα αλλά και ανάλογα με τις στροφές λειτουργίας είναι μία από τις πιο προφανείς παρατηρήσεις που μπορούν να γίνουν επί των διαγραμμάτων. Βάσει και του αντίστοιχου διαγράμματος παρατηρείται η εξάρτηση της τιμής της μέγιστης πίεσης από το εκάστοτε σημείο λειτουργίας. Το γεγονός ότι η καμπύλη μεταβολής στις υψηλές στροφές παρουσιάζει μεγαλύτερο ρυθμό μεταβολής, καταδεικνύει τον σημαίνοντα ρόλο της ταχύτητας του κινητήρα. Το γεγονός αυτό δίνει και μία αποτύπωση της εξάρτησης της πίεσης στον κύλινδρο από τις τριβές της μηχανής, οι οποίες εξαρτώνται άμεσα από την ταχύτητα του κινητήρα. Από τα διαγράμματα Πίεσης Κυλίνδρου-Όγκου Κυλίνδρου εκτός από την μεταβολή του μεγίστου της πίεσης ανάλογα με το σημείο λειτουργίας παρατηρούμε την αύξηση του μεγέθους της περιοχής που περικλείει η καμπύλη στον βρόγχο υψηλής πίεσης. Η φυσική σημασία αυτής της μεταβολής έχει αναφερθεί και την βιβλιογραφία, αφού το εμβαδόν της περιοχής που περικλείεται από την καμπύλη είναι στην ουσία το έργο που αποδίδει το αέριο που εκτονώνεται στο έμβολο του κινητήρα.

5.2.1. Σύγκριση παλαιών και νέων μετρήσεων για τον έλεγχο απόδοσης κινητήρα

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν πριν και μετά την χρήση βιοντίζελ γίνεται φανερό πως η πίεση που αναπτύσσεται στον κύλινδρο παρουσιάζει μειώσεις της τάξεως από 35% ως ακόμη και 55% στις υψηλότερες στροφές, γεγονός που υποδεικνύει πρόβλημα συμπίεσης του κινητήρα.

5.2.2. Προτάσεις επισκευής κινητήρα

Τα δεδομένα που λήφθηκαν από τον κινητήρα έδειξαν ότι στην παρούσα του κατάσταση, αδυνατεί να ανεβάσει πίεση στον θάλαμο καύσης και η ισχύς του εμφανίζεται σημαντικά μικρότερη από όσο υπολογίστηκε σε από μετρήσεις που είχαν ληφθεί σε μετρήσεις του 2011. Είναι πολύ πιθανό ο κινητήρας να υπέστη βλάβη κατά την διάρκεια παλαιών μετρήσεων, επειδή λειτουργούσε για παρατεταμένα χρονικά διαστήματα με μικρότερη από την προβλεπόμενη παροχή ρεύματος αέρα για τις ανάγκες της ψύξης του. Έτσι μπορεί να έχει στραβώσει το καπάκι της κυλινδροκεφαλής και εκεί να οφείλεται η αδυναμία του κινητήρα να ανεβάσει πίεση. Επίσης ένας άλλος παράγοντας που θα μπορούσε να επιδεινώσει το φαινόμενο αυτό ακόμα

περισσότερο, είναι η κακή κατάσταση της φλάντζας της κυλινδροκεφαλής λόγω παλαιότητας, αφού δεν έχει αλλάξει ποτέ από την απόκτηση του κινητήρα. Μια φλάντζα μπορεί με τον καιρό και λόγω υψηλών θερμοκρασιών να θρυματιστεί σε ορισμένα σημεία της και να αποκολληθούν τμήματά της. Έτσι χάνεται η στεγανότητα του θαλάμου καύσης και χάνεται πίεση.

Επίσης, ευθίγη για την απόκλιση των αποτελεσμάτων ανάμεσα στα δεδομένα των δύο μετρήσεων θα μπορούσε να αποδοθεί και στον πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα που μετράει την πίεση στο εσωτερικό του θαλάμου. Είναι πολύ πιθανόν με την πάροδο του χρόνου να έχουν σχηματιστεί επικαθίσεις από τα προϊόντα της καύσης στην επιφάνεια μέτρησης του αισθητήρα και έτσι τα δεδομένα που λαμβάνονται να είναι εσφαλμένα.

Επόμενος οι ενέργειες που θα πρέπει να γίνουν, προκειμένου ο κινητήρας να ανακτήσει την χαμένη του απόδοση, είναι:

- Πλάνισμα κυλινδροκεφαλής
- Αντικατάση του σετ φλαντζών του κινητήρα
- Εξαγωγή του πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα από την κυλινδροκεφαλή προκειμένου να καθαριστεί σε συσκευή καθαρισμού με υπερήχους με την βοήθεια κατάλληλου καθαριστικού μέσου.

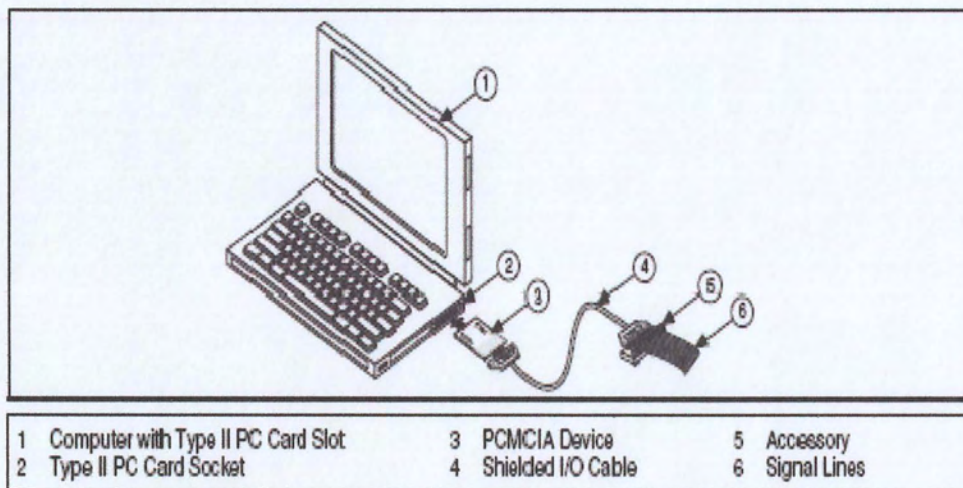
6. Παράρτημα

A. Η ανάπτυξη του κώδικα ανάκτησης στο Labview

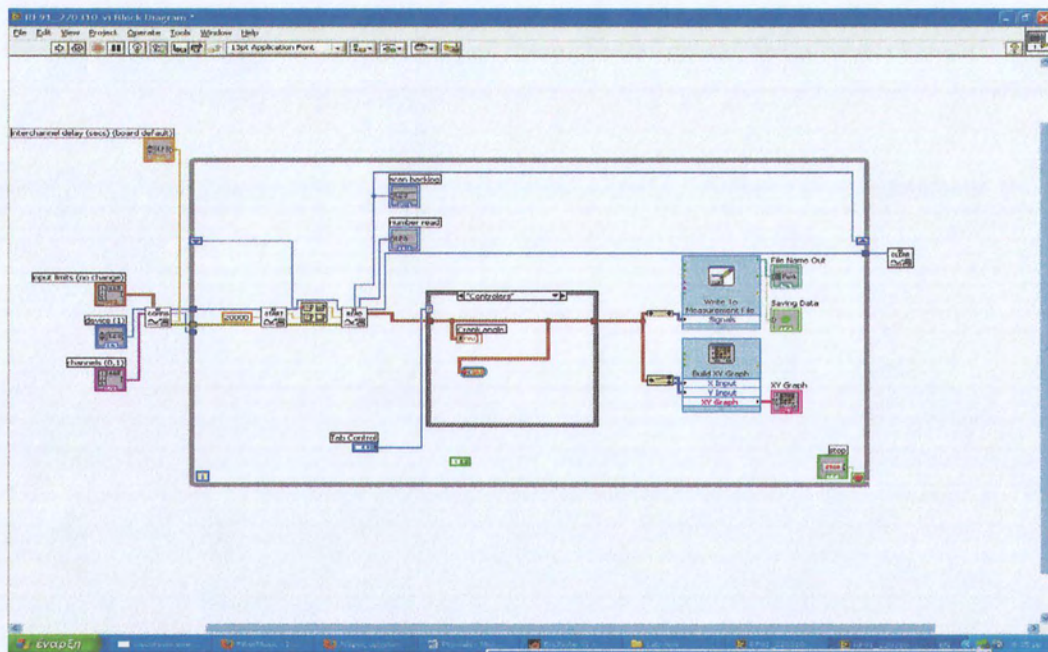
Ο κώδικας ανάκτησης έχει δύο βασικούς στόχους. Πρώτον τη μετατροπή των "παλμών" του σήματος του optointerupter σε μοίρες γωνίας στροφάλου και δεύτερον την ανάκτηση της πίεσης του κυλίνδρου σε αντιστοιχία με την γωνία στροφάλου. Από κει και πέρα είναι δυνατή η εκτέλεση όλων των υπολογισμών βάσει και των τύπων που αναφέρονται στο πρώτο μέρος. Η αρχική μορφή του κώδικα απ όπου μπορούμε να πούμε ότι και ξεκινάει το προγραμματιστικό κομμάτι της εργασίας αυτής ήταν πολύ απλή και μπορούσε να προβάλει σε γραφήματα την πίεση καθώς και το σήμα του opto-interupter χωρίς όμως να αντιλαμβάνεται την εξέλιξη της γωνίας στροφάλου [24].

I. Προγραμματισμός με την κάρτα TDAQ744

Βάσει λοιπόν αυτού του κώδικα και με την χρήση της κάρτας TDAQ744 εγκατεστημένη στο Laptop του εργαστηρίου έγιναν οι πρώτες μετρήσεις. Για την επαλήθευση της συνολικής διάταξης έγιναν συγκριτικές μετρήσεις με το Labview και τον παλμογράφο. Αυτό που έπρεπε να διερευνηθεί ήταν αν παρουσιάζεται το φαινόμενο του buffer overwrite.

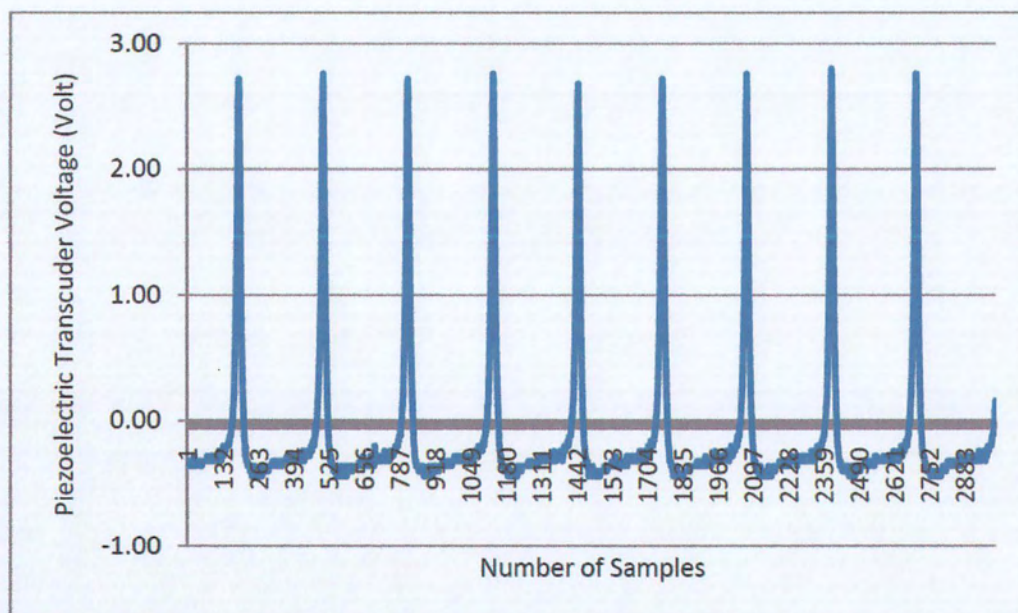


Εικόνα 38: Διάταξη για την ανάκτηση και την επεξεργασία σημάτων

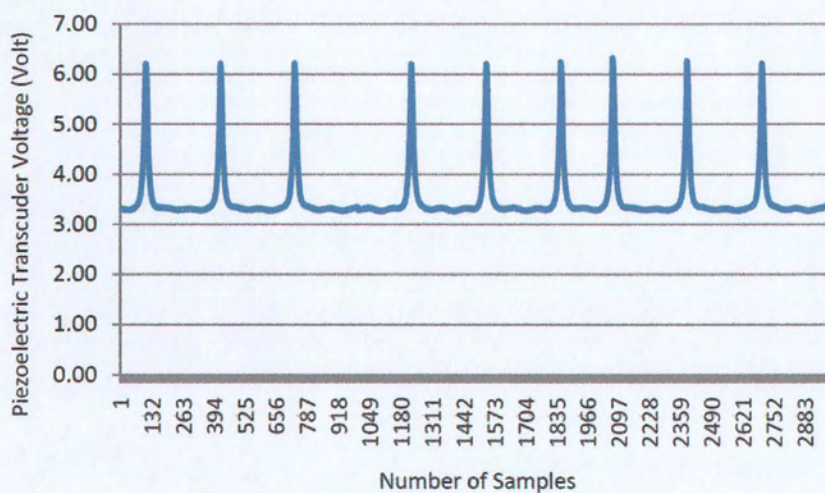


Εικόνα 39: Κώδικας ανάκτησης με χρήση της κάρτας TDAQ744

Αρχικά γνωρίζαμε ότι το σήμα της πίεσης που λαμβάνουμε έχει συχνότητα 13Hz- 25Hz ενώ οι παλμοί που λαμβάνουμε από τον οπτικό δέκτη έχουν συχνότητα 9,5kHz-18kHz. Για την διερεύνηση του αν παρουσιάζεται το συγκεκριμένο πρόβλημα στο λογισμικό Labview πραγματοποιήθηκαν συγκριτικές μετρήσεις με το λογισμικό και με τον παλμογράφο για το ίδιο σημείο λειτουργίας και για δύο διαφορετικά sampling rates. Αρχικά ανακτήσαμε την πίεση με sampling rate 5ks/s και μετά με 10ks/s. Τα παρακάτω διαγράμματα δίνουν μια πρώτη εικόνα του προβλήματος.



Γράφημα 30: Διάγραμμα σήματος πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα από παλμογράφο (5ks/s)



Γράφημα 31 : Διάγραμμα σήματος πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα από λογισμικό Labview (5ks/s)

Αρχικά παρατηρούμε το σφάλμα που εμφανίζεται στην πίεση αναφοράς της μέτρησης. Ενώ σε απόλυτα μεγέθη η μορφολογία του διαγράμματος της πίεσης είναι φυσικά παραδεκτή παρατηρούμε ότι υπάρχει μία μετατόπιση προς τα πάνω κατά 3 volt. Το συγκεκριμένο σφάλμα απαλείφεται με τον επανακαθορισμό της πίεσεως αναφοράς ώστε να ισούται με την πίεση στην θύρα εισαγωγής. Μία άλλη διαφορά είναι αυτή των «κενών» που φαίνονται να δημιουργούνται στην ανάκτηση της πίεσης. Όπως θα δούμε και παρακάτω αυτό το φαινόμενο οφείλεται στον χρόνο που περνάει μέχρι το επόμενο πακέτο δεδομένων (buffer)

να περάσει προς επεξεργασία. Έτσι μέρος των δεδομένων που δεν έχει επεξεργαστεί ακόμη διαγράφεται και επανεγγράφεται με καινούργια δεδομένα.

Χρόνος (sec)	Σήμα Πίεσης (volt)
0.199	3.321838
0.1992	3.318481
0.1994	3.328552
0.1996	3.34137
0.1998	3.349915
0.23	3.277588
0.2302	3.27179
0.2304	3.279724
0.2306	3.293152
0.2308	3.299561

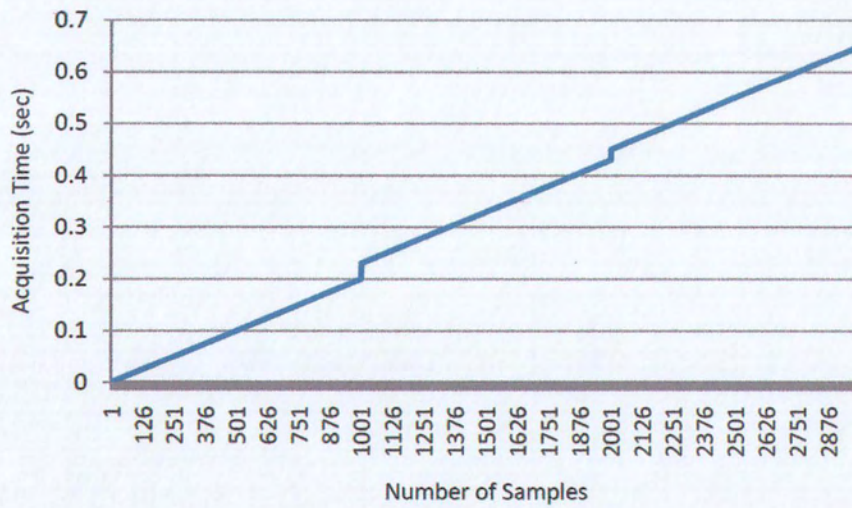
Πίνακας 15: Δεδομένα σήματος πίεσης με εμφανές το φαινόμενο του buffer overwrite (5ks/s)

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα και ένω το χρονικό «βήμα» είναι της τάξεως των 0,0002 sec, στο συγκεκριμένο σημείο παρατηρούμε ένα «άλμα» της τάξεως των 0,0302 sec.

Χρόνος(sec)	Σήμα πίεσης (volt)
0.4294	3.284302
0.4296	3.293152
0.4298	3.295288
0.45	3.294983
0.4502	3.280029
0.4504	3.2724
0.4506	3.272095

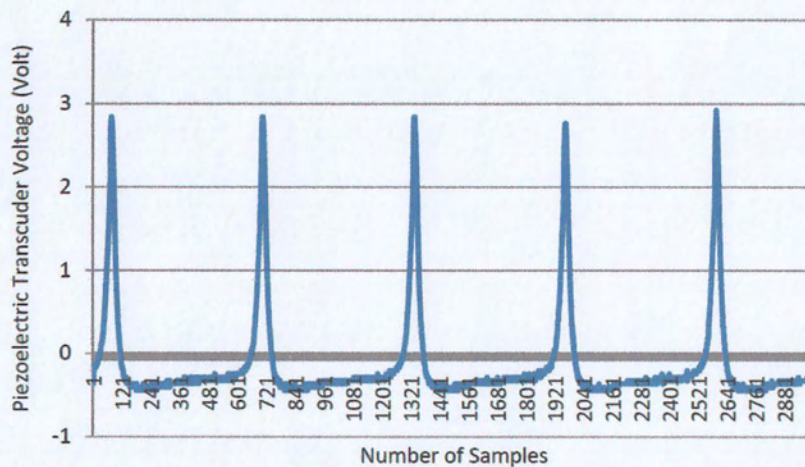
Πίνακας 16: Δεδομένα σήματος πίεσης εμφανές το φαινόμενο του buffer overwrite (5ks/s)

Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται ξανά καθώς έχουμε ένα άλμα της τάξεως των 0,0202 sec. Το παρακάτω διάγραμμα του χρόνου δίνει και μια διαισθητική αποτύπωση των «αλμάτων».

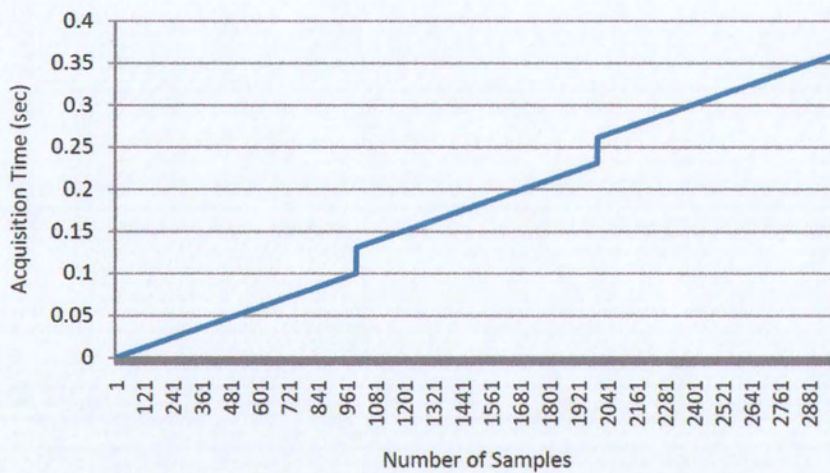


Γράφημα 32: Διάγραμμα εξέλιξης χρόνου μέσα στον κώδικα ανάκτησης (5ks/s)

Καθώς η ανάκτηση συνεχίζεται το σφάλμα διαδίδεται έτσι τελικά το αποτέλεσμα αλλοιώνεται αισθητά. Για παράδειγμα, ενώ βάσει του παλμογράφου 9 κορυφές της πίεσης καταγράφονται σε διάστημα 0,6 sec με βάσει το Labview 9 κορυφές καταγράφονται σε διάστημα 0,67 sec. Στα ίδια συμπεράσματα καταλήγουμε με την επεξεργασία των δεδομένων για τις μετρήσεις που έγιναν με 10ks/s sampling rate.



Γράφημα 33: Διάγραμμα σήματος πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα από παλμογράφο (10ks/s)



Γράφημα 34: Διάγραμμα εξέλιξης χρόνου μέσα στον κώδικα ανάκτησης (10ks/s)

Χρόνος (sec)	Σήμα πίεσης (volt)
0.0997	3.3410
0.0998	3.3596
0.0999	3.0354
0.131	3.3221
0.1311	3.3187
0.1312	3.3325
0.1313	3.3151

Πίνακας 17: Δεδομένα σήματος πίεσης εμφανές το φαινόμενο του buffer overwrite (10ks/s)

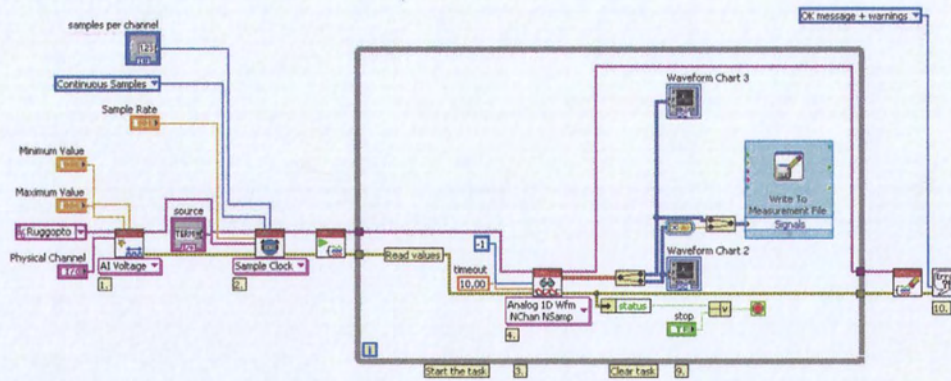
Βάσει των παραπάνω αναζητήθηκε τρόπος για την υπέρβαση του συγκεκριμένου προβλήματος, από την βοήθεια του Labview προέκυψαν οι εξής προτάσεις:

- Καθορισμός του μέγεθος του buffer size μέσω DataSocket Functions
- Αύξηση του buffer size μείωση του sampling rate με στόχο την πιο γρήγορη εκτέλεση της ανάκτησης.
- Προσθήκη στο διάγραμμα ροής κομματιού του κώδικα για τον έλεγχο της κατάστασης του buffer

Τέλος διαπιστώθηκε ότι λόγω των υψηλών συχνοτήτων των μετρούμενων σημάτων θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί ένα πιο ισχυρό υπολογιστικό σύστημα μαζί με μία γρηγορότερη κάρτα της NI.

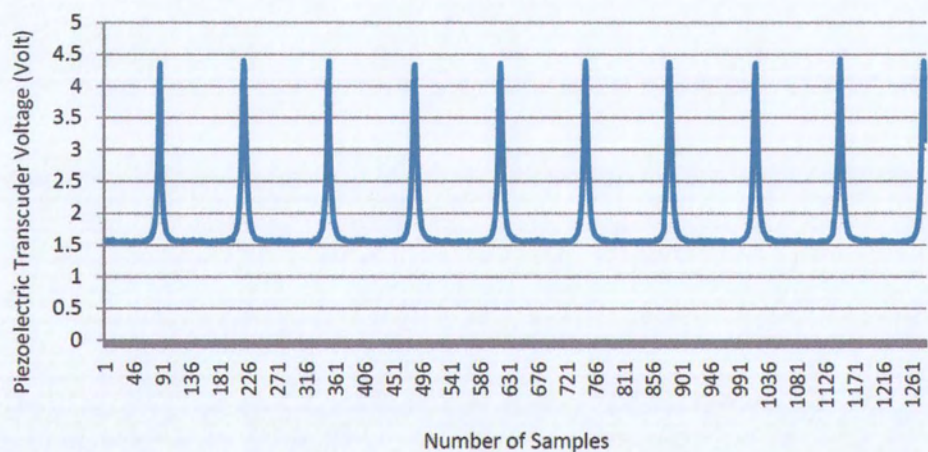
II. Προγραμματισμός με την κάρτα NI-PCI-6259

Η κάρτα που χρησιμοποιήθηκε μετά την TDAQ744 ήταν η NI-PCI-6259 με δυνατότητα ανάκτησης μέχρι και 1,25MS/s εγκατεστημένη σε PC του εργαστηρίου.



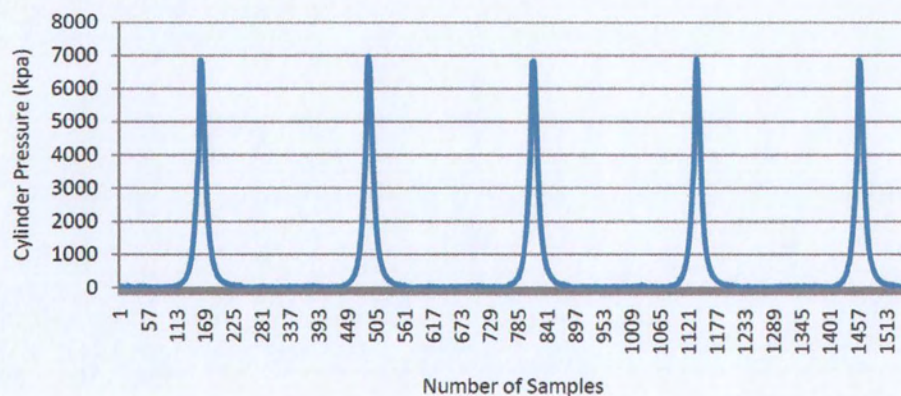
Εικόνα 40: Κώδικας ανάκτησης των δύο σημάτων με χρήση της κάρτας NI-PCI-6259

Αφού έγιναν οι απαραίτητες μετατροπές στον κώδικα μετρήθηκε ξανά η πίεση για την διερεύνηση της σωστής λειτουργίας της κάρτας. Επίσης στο διάγραμμα ροής προστέθηκε κομμάτι κώδικα για τον έλεγχο του buffer overwrite. Οι μετρήσεις της πίεσης όπως φαίνεται και στο γράφημα δικαιολόγησαν την νέα επιλογή της κάρτας και του υπολογιστικού συστήματος.



Γράφημα 35: Διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου, εμφανές το σφάλμα της πιέσεως αναφοράς

Όπως παρατηρείται η καταγραφή της πίεσης γίνεται απρόσκοπτα ενώ δεν παίρνουμε καμία προειδοποίηση για Buffer Overwrite. Παρατηρείται ξανά όμως το σφάλμα της πιέσεως αναφοράς. Καθορίζοντας την πίεση αναφοράς γίνεται επανάκτηση της πίεσης και ελέγχεται η φυσικά παραδεκτή μορφή των δεδομένων.

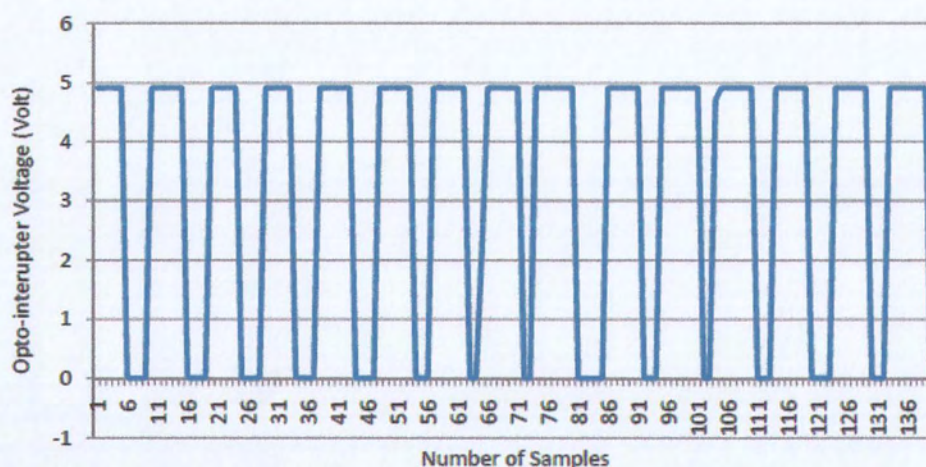


Γράφημα 36: Διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου

Αφού εξασφαλίστηκε ότι η ανάκτηση των δεδομένων γίνεται σωστά γίνεται η ανάπτυξη του κώδικα για την επεξεργασία των σημάτων.

III. Γωνία Στροφάλου

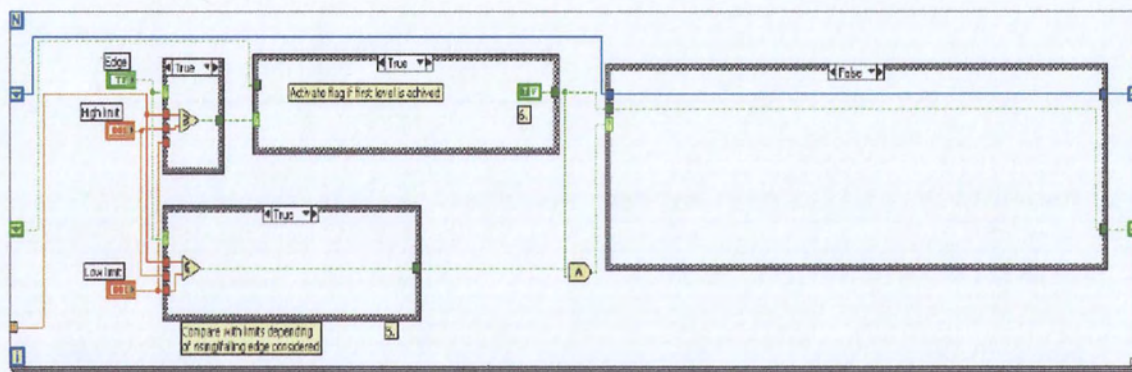
Πρώτος στόχος, η επεξεργασία του σήματος του ορτο-interrupter για την ανάκτηση της γωνίας στροφάλου. Το αναλογικό αυτό σήμα έχει τη μορφή που φαίνεται στο γράφημα.



Γράφημα 37: Γράφημα σήματος opto-interrupter

Κάθε παλμός αντιστοιχεί σε μία μοίρα γωνίας στροφάλου, οπότε αρκεί η άθροιση του πλήθους των παλμών και η αποθήκευση του σ έναν αθροιστή. Για τον καθορισμό του ΑΝΣ γίνεται αναφορά παρακάτω. Αξίζει να σημειωθεί ότι το Labview μέσα από το signal manipulation palette προφέρει μία σειρά από έτοιμους κώδικες σε μορφή εικονιδίων για την μέτρηση και επεξεργασία σημάτων , αρχικά έγινε προσπάθεια για την χρησιμοποίηση του sub vi trigger and gate. Το συγκεκριμένο sub vi ενεργοποιείται όταν η τιμή της τάσης περάσει ένα συγκεκριμένο όριο που καθορίζεται από τον χρήστη. Το πλήθος των σημάτων που ενεργοποιούν τον κώδικα μπορεί να μετρηθεί και να αποθηκευτεί. Το συγκεκριμένο sub vi όμως παρόλο που χρησιμοποιεί μία λογική προγραμματισμού που ταιριάζει στον υπολογισμό που θέλουμε να εκτελέσουμε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί .Πρώτον γιατί τα συγκεκριμένα sub vi καθυστερούν πολύ την εκτέλεση του κώδικα , γεγονός απαγορευτικό για την φύση της εφαρμογής μας, αλλά και δεύτερον γιατί το συγκεκριμένο sub vi δεν μπορεί να μας δώσει έναν αποτελεσματικό τρόπο καθορισμού του ΑΝΣ.

Για την μέτρηση των παλμών χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας Counter with AI Lv7 ο οποίος έχει αναπτυχθεί από τον και βρίσκεται στον ιστότοπο της NI στα discussions forums. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη τοποθεσία link αποτελεί ένα πολύτιμο βοήθημα για οποιαδήποτε εφαρμογή με το λογισμικό Labview αφού περιέχει πληθώρα αναρτημένων εφαρμογών και επεξηγήσεων . Ο συγκεκριμένος κώδικας ελέγχοντας την τιμή της τάσης μεταξύ μίας μέγιστης και μίας ελάχιστης τιμής καταφέρνει να μετρήσει το πλήθος των παλμών ακόμα και στο μέγιστο της συχνότητας του σήματος. Αυτό οφείλεται και στο γεγονός ότι ο κώδικας εκτελείται μέσα σ ένα βρόγχο for loop ο οποίος δίνει την δυνατότητα παράλληλης επεξεργασίας του σήματος. Πριν τα δεδομένα του σήματος περάσουν στον κλειστό βρόγχο περνούν πρώτα από την οντότητα Convert From Dynamic Data η οποία χτίζει ένα διάνυσμα με αποθηκευμένες τις τιμές της τάσης καθώς και του χρόνου που εμφανίζονται (timestamp).



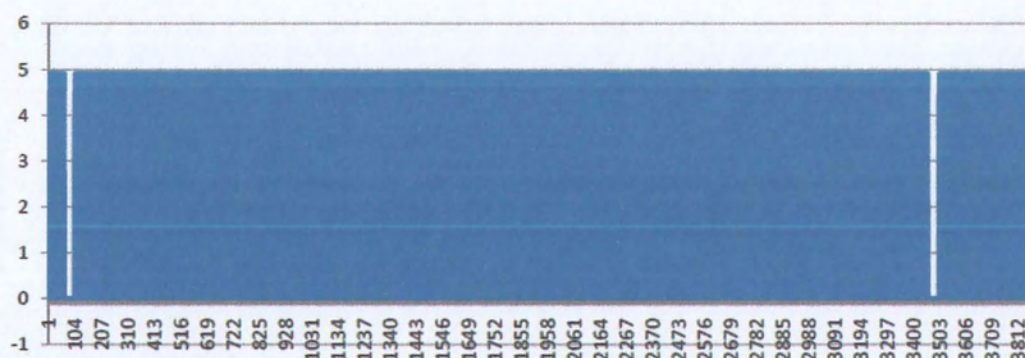
Εικόνα 41: Κώδικας υπολογισμού της γωνίας στροφάλου

IV. Καθορισμός Άνω Νεκρού Σημείου

Για τον καθορισμό του άνω νεκρού σημείου χρειάστηκε αρχικά να επέμβουμε στην πειραματική διάταξη και πιο συγκεκριμένα στο σύστημα οπτο interrupter-διάτρητου δίσκου.

Χρησιμοποιώντας τηλεσκοπικό όργανο και αφού αφαιρέσαμε το μπέκ της μηχανής ελέγχθηκε οπτικά η θέση του πιστονιού και καθορίστηκε η θέση του ΑΝΣ επάνω στον διάτρητο δίσκο. Στο σημείο που εντοπίστηκε το ΑΝΣ επάνω στον δίσκο τοποθετήθηκε αδιαφανής ταινία που καλύπτει 5 οπές του δίσκου, ξεκινώντας από την οπή που αντιστοιχεί στις 0 μοίρες μέχρι και την 4η οπή.

Η συγκεκριμένη παρέμβαση έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση ενός χαρακτηριστικού διαστήματος στο σήμα του οπτο interrupter όπου και η τάση παραμένει για ένα παρατεταμένο διάστημα κάτω από τα 1,5V, σε συνδυασμό και με το μεγάλο sampling gate που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το συγκεκριμένο "τυφλό" διάστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό του ΑΝΣ. Πρέπει να διασαφηνιστεί ότι ο laser πομπός-δέκτης επιστρέφει τιμές τάσεις μεταξύ (0,4V-1,0V) για τα διαστήματα διακοπής του φωτός στον δέκτη και τιμές μεταξύ (4,0V-5,0V) για τα διαστήματα που το φως περνάει στον δέκτη.

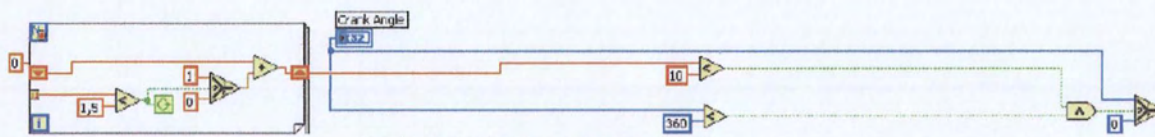


Γράφημα 38: : Γράφημα σήματος Ορτο-interrupter, εμφανή τα διάκενα που ορίζουν το ΑΝΣ

Για την εκτέλεση του παραπάνω υπολογισμού εισάγουμε στον κώδικα μας παράλληλα με τον κώδικα μέτρησης των παλμών έναν κλειστό βρόγχο που εκτελεί τον παρακάτω υπολογισμό. Ελέγχει όλες τις τιμές της τάσης του σήματος ορτο-interrupter. Κάθε φορά που η τιμή της τάσης πέφτει κάτω από 1,5 V ο αθροιστής του βρόγχου αυξάνεται κατά 1, αυτό συμβαίνει μέχρι η τάση να ξεπεράσει την τιμή των 1,5 V ,όπου και ο αθροιστής μηδενίζεται. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι για όλες τις σπές πλην του σημείου που υπάρχει η αδιαφανής ταινία οι τιμές του αθροιστή είναι σχετικά χαμηλές <<10 ενώ για το σημείο όπου υπάρχει η ταινία η τιμή του ξεπερνάει το 10 και από κει και πέρα αυξάνεται σε συνάρτηση με το sampling rate που χρησιμοποιείται.

Χρόνος (sec)	Γωνία Στροφάλου	Αθροιστής
0.0937	320	0
0.0937	329	0
0.0937	336	1
0.1093	344	0
0.1093	347	0
0.1093	352	15
0.1093	7	0
0.1093	15	2
0.1093	23	0
0.1093	30	1
0.1093	38	0
0.1093	46	0
0.1093	53	1

Πίνακας 18: Χαρακτηριστικές τιμές για τον καθορισμό του ΑΝΣ



Εικόνα 42: Κώδικας καθορισμού ANS

Τελικά ο έλεγχος του αθροιστή σε συνδυασμό με τον έλεγχο κάθε φορά του πλήθους των παλμών ώστε να μην ξεπερνά τη τιμή των 360, δίνει μία αρκετά αξιόπιστη συνθήκη μηδενισμού της γωνίας.

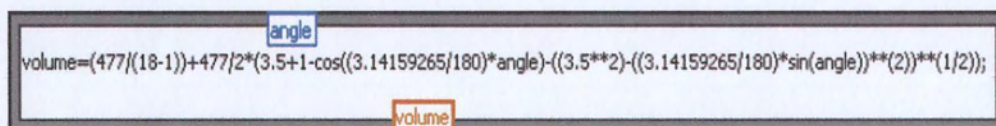
Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι παρόλη τη σαφή βελτίωση της διάταξης ορθο-interrupter ο συγκεκριμένος διάτρητος δίσκος δεν είναι όσο ακριβής θα θέλαμε. Το μη ομοιόμορφο πλάτος των διακένων, σε συνδυασμό με την ταλάντωση της μονοκύλινδρης λόγω των μεγάλων αδρανειακών δυνάμεων έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια 4ο-5ο σε κάθε περιστροφή.

V. Όγκος Εμβολισμού

Για τον υπολογισμό του όγκου εμβολισμού χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$V(\theta) = \frac{V_d}{r_c - 1} + \frac{V_d}{2} [R + 1 - \cos \theta - (R - \sin^2 \theta)^{1/2}]$$

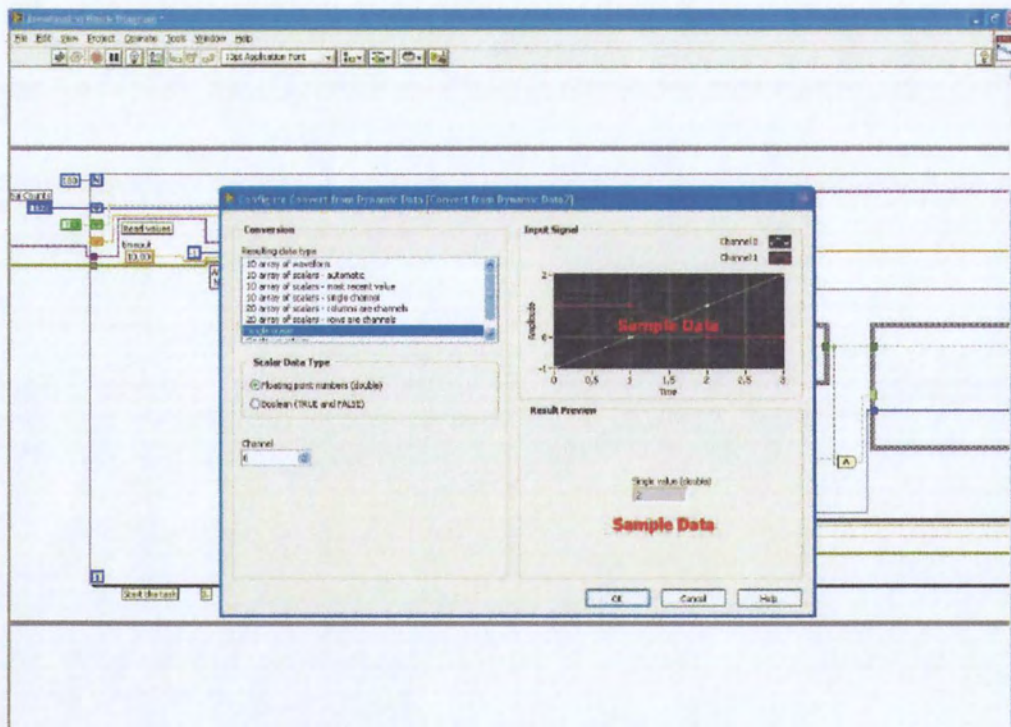
Ο παραπάνω τύπος εισάγεται στον κώδικα μέσω ενός formula node (mathematics palette/script and formula), η συγκεκριμένη οντότητα παίρνει σαν είσοδο την τιμή της γωνίας στροφάλου σε μοίρες και αφού εκτελέσει τους μαθηματικούς δίνει σαν έξοδο τον όγκο εμβολισμού σε cm³.



Εικόνα 43: Formula Node με τον τύπο υπολογισμού του όγκου

Πίεση στον κύλινδρο

Η ανάκτηση της πίεσης γίνεται σχεδόν απευθείας και σε αντίθεση με το σήμα του ορθο interrupter δεν χρειάζεται την εκτέλεση πολύπλοκων υπολογισμών.



Εικόνα 44: Παράθυρο διαλόγου Convert from Dynamic Data

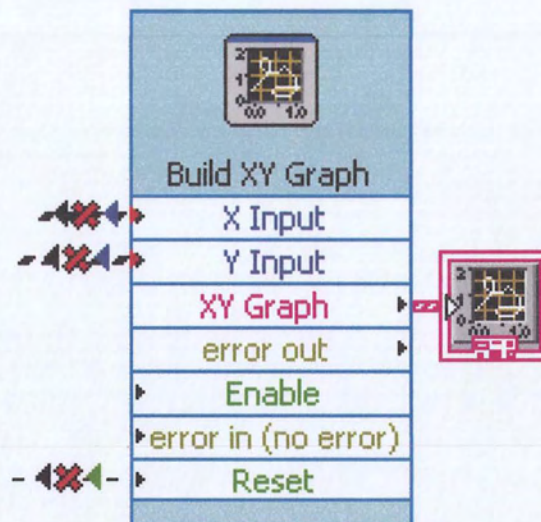
Αρχικά το σήμα της πίεσης περνάει μέσα από την οντότητα Convert from Dynamic Data το οποίο χτίζει ένα διάνυσμα το οποίο έχει αποθηκευμένη την τιμή της πίεσης μαζί με την τιμή του χρόνου (timestamp).

Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι σημαντική για την σωστή εκτέλεση του κώδικα αφού εξασφαλίζει ότι η ροή των δύο σημάτων μέσα από το πρόγραμμα θα έχει μία χρονική ταύτιση ανεξαρτήτως του χρόνου εκτέλεσης των υπολογισμών. Πιο συγκεκριμένα, αν δεν εξασφαλίζαμε την χρονική ταύτιση των σημάτων οι τιμές της πίεσης θα προπορευόντουσαν αυτές της γωνίας στροφάλου οι οποίες απαιτούν περισσότερους και πιο πολύπλοκους υπολογισμούς. Τέλος γνωρίζοντας την τιμή ενίσχυσης 20bar/volt και πολλαπλασιάζοντας επί 20 έχουμε την τελική τιμή της πίεσης σε bar.

Ως πίεση αναφοράς ορίζεται η ατμοσφαιρική πίεση θεωρώντας ότι όταν ανοίγουν μία από τις δύο βαλβίδες η τιμή της πίεσης στον κύλινδρο τείνει να εξισωθεί με την τιμή της πίεσης στην θύρα εισόδου και εξόδου της μηχανής με την παραδοχή ότι πρόκειται για την ατμοσφαιρική. Η φυσική σημασία αυτής της παραδοχής είναι ότι η πίεση με την οποία εκτελούνται οι υπολογισμοί είναι μετατοπισμένη προς τα κάτω κατά μία ατμόσφαιρα, γεγονός που πρέπει να διερευνηθεί, θεωρούμε ότι το συγκεκριμένο σφάλμα δεν επηρεάζει καθοριστικά την μέτρηση της ισχύος και της ροπής της μηχανής.

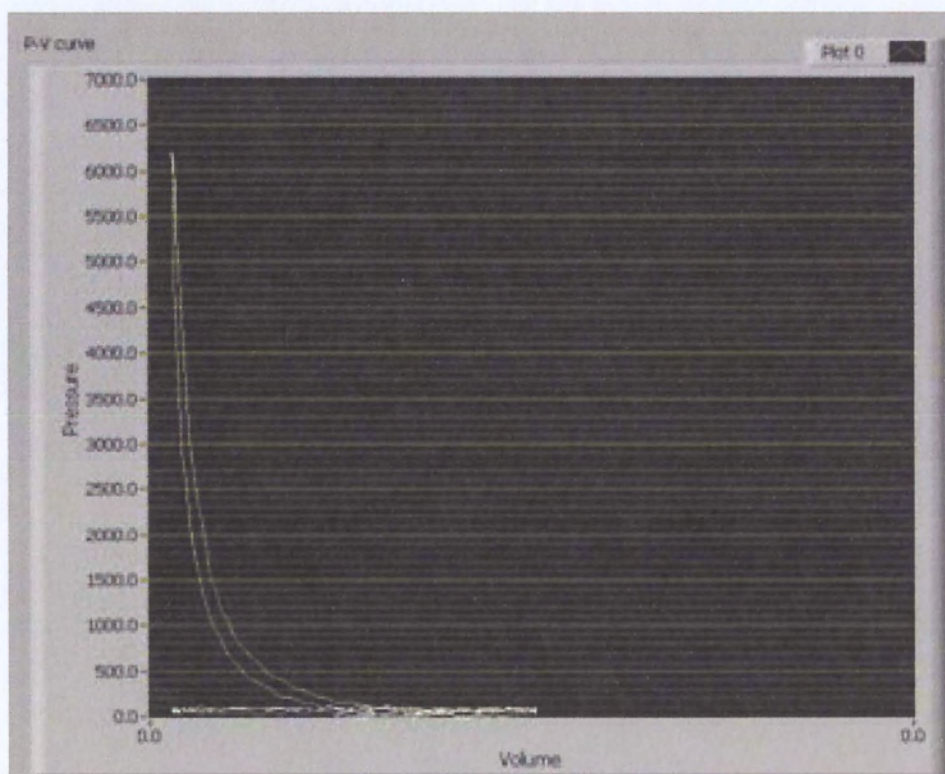
VI. Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου

Αφού έχουμε εξασφαλίσει την ταυτόχρονη ανάκτηση της πίεσης και της γωνίας στροφάλου μπορούμε να προχωρήσουμε στην χάραξη του διαγράμματος πίεσης-όγκου. Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι η χάραξη των βρόγχων πίεσης-όγκου και η συνεχής ανανέωση τους είναι ένα πολύ σημαντικό κριτήριο για την παρακολούθηση της εκτέλεσης του κύκλου σε μία μηχανή εσωτερικής καύσης.



Εικόνα 45: Οντότητα Build XY graph

Χρησιμοποιώντας την οντότητα build XY graph και δίνοντας ως τιμή του X τον όγκο εμβολισμού και ως τιμή του Y την πίεση στον κύλινδρο, το διάγραμμα P-V εμφανίζεται στο Front Panel όταν εκτελέσουμε τον κώδικα.



Εικόνα 46: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου στο Labview

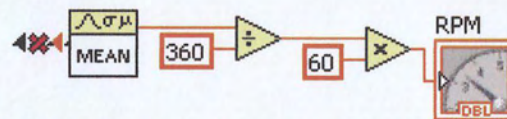
VII. Στροφές του κινητήρα

Ο υπολογισμός των στροφών του κινητήρα γίνεται βάσει υπολογισμών στο σήμα του ορτο-interupter. Χρησιμοποιώντας την οντότητα extract single tone information απ'όπου παίρνουμε και την έξοδο detected frequencies. Οι συχνότητες που εντοπίζονται είναι στην ουσία η συχνότητα της εξέλιξης κατά μία μοίρα της γωνίας στροφάλου. Διαιρώντας την συχνότητα αυτή διά 360 και πολλαπλασιάζοντας επί 60 sec παίρνουμε τις στροφές ανά λεπτό του κινητήρα.

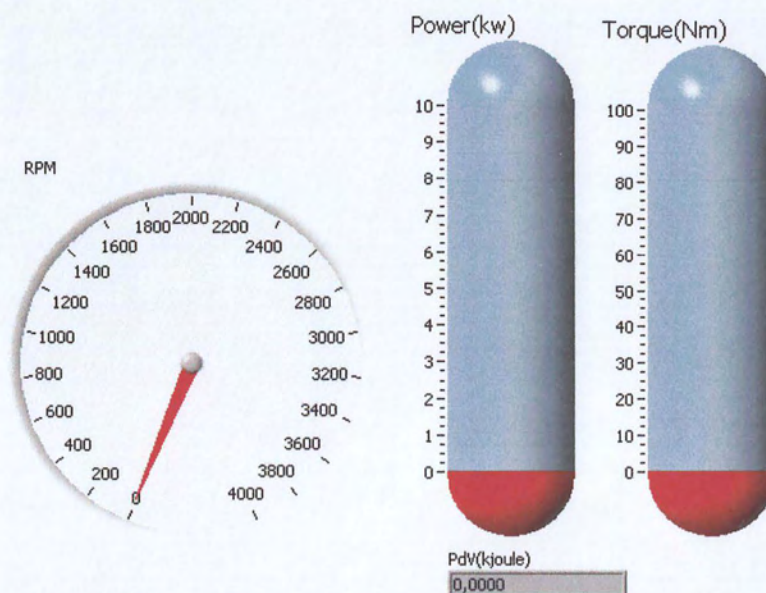


Εικόνα 47: Η οντότητα extract single tone information

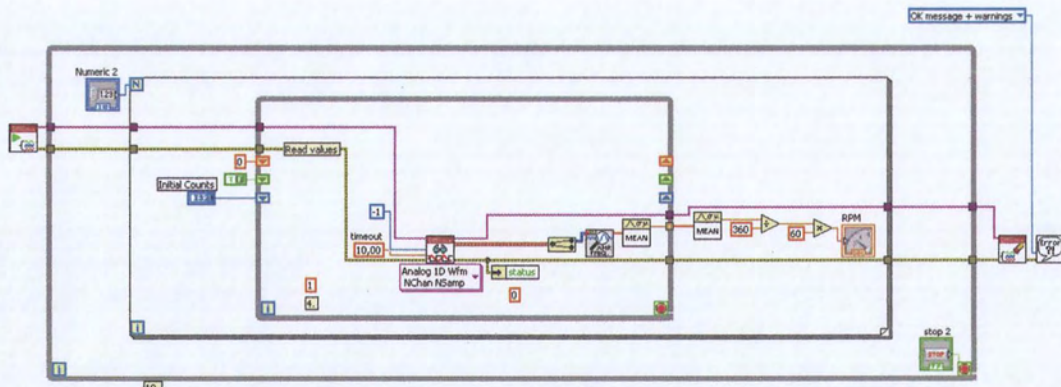
Λόγω των ταλαντώσεων του κινητήρα, κατά την μέτρηση των συχνοτήτων του σήματος παρουσιάζονται συχνότητες που δεν αντιστοιχούν στην συχνότητα περιστροφής, γι αυτό το λόγο επιλέγουμε τη χρήση της συνάρτησης Mean η οποία υπολογίζει την μέση τιμή του συνόλου των τιμών που λαμβάνει ως είσοδο.



Εικόνα 48: Η συνάρτηση Mean και οι υπολογισμοί για τον υπολογισμό των στροφών ανά λεπτό του κινητήρα



Εικόνα 49: Προβολή των στροφών ανά λεπτό του κινητήρα στο Front Panel της εφαρμογής



Εικόνα 50: Συνολικός κώδικας υπολογισμού στροφών του κινητήρα

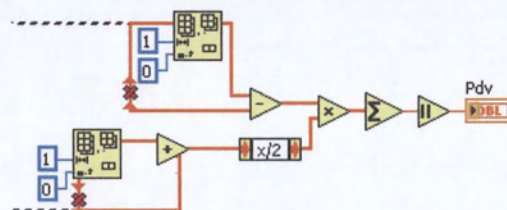
VIII. Ισχύς του κινητήρα

Χρησιμοποιώντας την μέθοδο που χρησιμοποιήσαμε στο πρώτο μέρος της εργασίας θα προσπαθήσουμε να προσεγγίσουμε την ισχύ που αποδίδει ο κινητήρας. Αρχικά πρέπει να χτίσουμε δύο διανύσματα που θα περιέχουν τις τιμές της πίεσης και του όγκου για δύο περιστροφές του κινητήρα, αυτό το καταφέρνουμε εισάγοντας τους υπολογισμούς της πίεσης και της γωνίας στροφάλου σ έναν βρόγχο που εκτελείται για δύο περιστροφές του κινητήρα, χρησιμοποιώντας ως συνθήκη τερματισμού την συνθήκη μηδενισμού της γωνίας στροφάλου που χρησιμοποιήθηκε και παραπάνω.

Τελικά τα δύο διανύσματα ολοκληρώνονται με την χρήση ενός αλγόριθμου που χρησιμοποιεί τον κανόνα του τραπεζίου για την ολοκλήρωση.

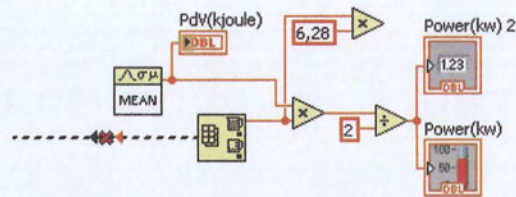
$$\int_a^b f(x) dx \approx (b - a) \frac{f(a) + f(b)}{2}.$$

Ο αλγόριθμος λειτουργεί ως εξής τα διανύσματα της πίεσης και του όγκου εισέρχονται στο διάγραμμα και διακλαδώνονται παράγοντας δύο ταυτόσημα διανύσματα για κάθε μέγεθος. Στο ένα από τα δύο διανύσματα του όγκου αφαιρείται το πρώτο στοιχείο του διανύσματος, με τη χρήση της οντότητας Delete From Array, μεταφέροντας όλα τα στοιχεία μία θέση αριστερά, αμέσως μετά το πρωτότυπο διάνυσμα της πίεσης αφαιρείται από αυτό με τα μετατοπισμένα στοιχεία επιστρέφοντας έτσι ένα διάνυσμα με τις μεταβολές του όγκου dV.



Εικόνα 51: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου κανόνα τραπεζίου

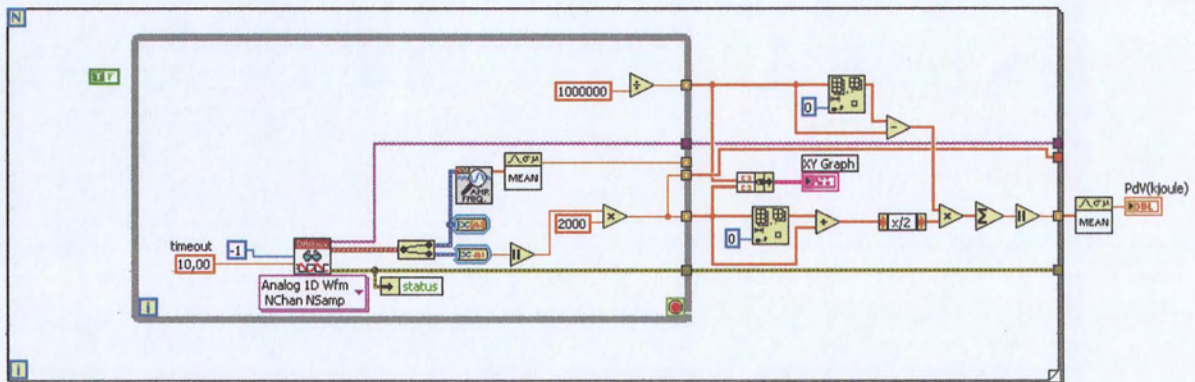
Στο διάνυσμα της πίεσης εκτελείται η παρόμοια διαδικασία, αφού αφαιρεθεί το πρώτο στοιχείο του ενός διανύσματος και μετατοπιστούν όλα τα στοιχεία μία θέση αριστερά επιστρέφεται ένα διάνυσμα που περιέχει τους μέσους όρους των πιέσεων. Τα δύο διανύσματα πολλαπλασιάζονται για τον υπολογισμό της ποσότητας PdV όπου και τελικά αθροίζονται τα στοιχεία του διανύσματος PdV.



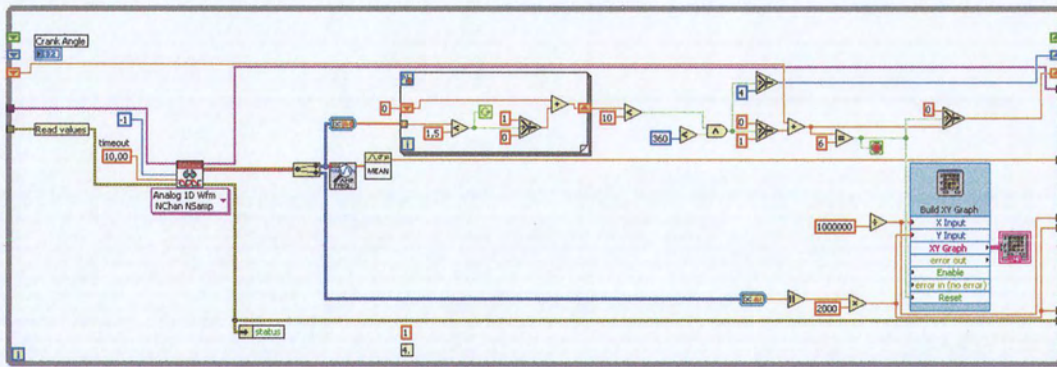
Εικόνα 52: Διάγραμμα ροής υπολογισμού ισχύος

Όπως αναφέρθηκε και στην βιβλιογραφική μελέτη για την ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων πρέπει να χρησιμοποιείται η μέση ενδεικνύμενη ισχύς πολλών κύκλων για αυτό το λόγο στον κώδικα ανάκτησης ο υπολογισμός της ισχύος περιλαμβάνει τον υπολογισμό του μέσου της ισχύος από ένα σύνολο αποθηκευμένων τιμών που βρίσκονται στο δεύτερο For Loop της εφαρμογής.

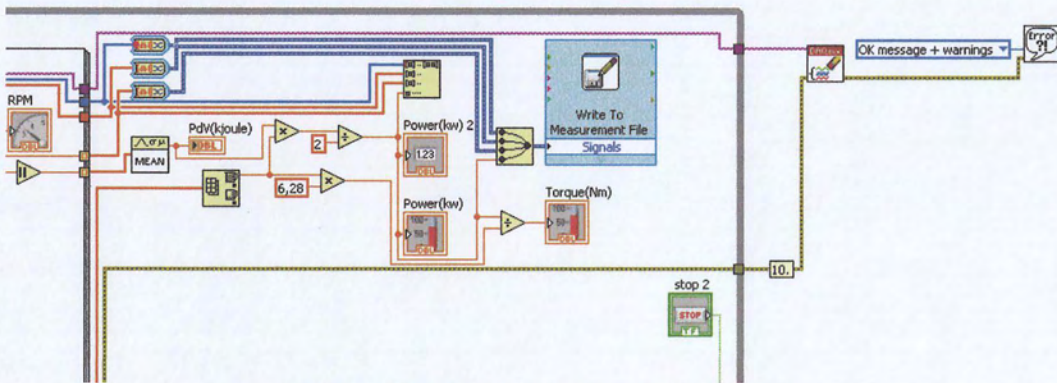
Επίσης το διάνυσμα βάσει του οποίου γίνεται η ολοκλήρωση για τον υπολογισμό του έργου εμπεριέχει τα δεδομένα για δύο τετράχρονους κύκλους της μηχανής από τους οποίους υπολογίζεται πάλι ο μέσος όρος.



Εικόνα 53: Διάγραμμα ροής με χρήση συνάρτησης μέσου για τον υπολογισμό του έργου



Εικόνα 54: Διάγραμμα ροής με τονισμένη την συνθήκη ανάκτησης δεδομένων για δύο κύκλους

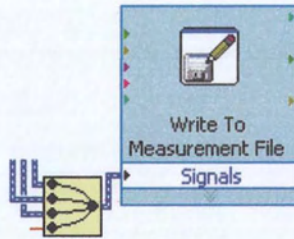


Εικόνα 55: Διάγραμμα ροής όπου υπολογίζεται η ροπή

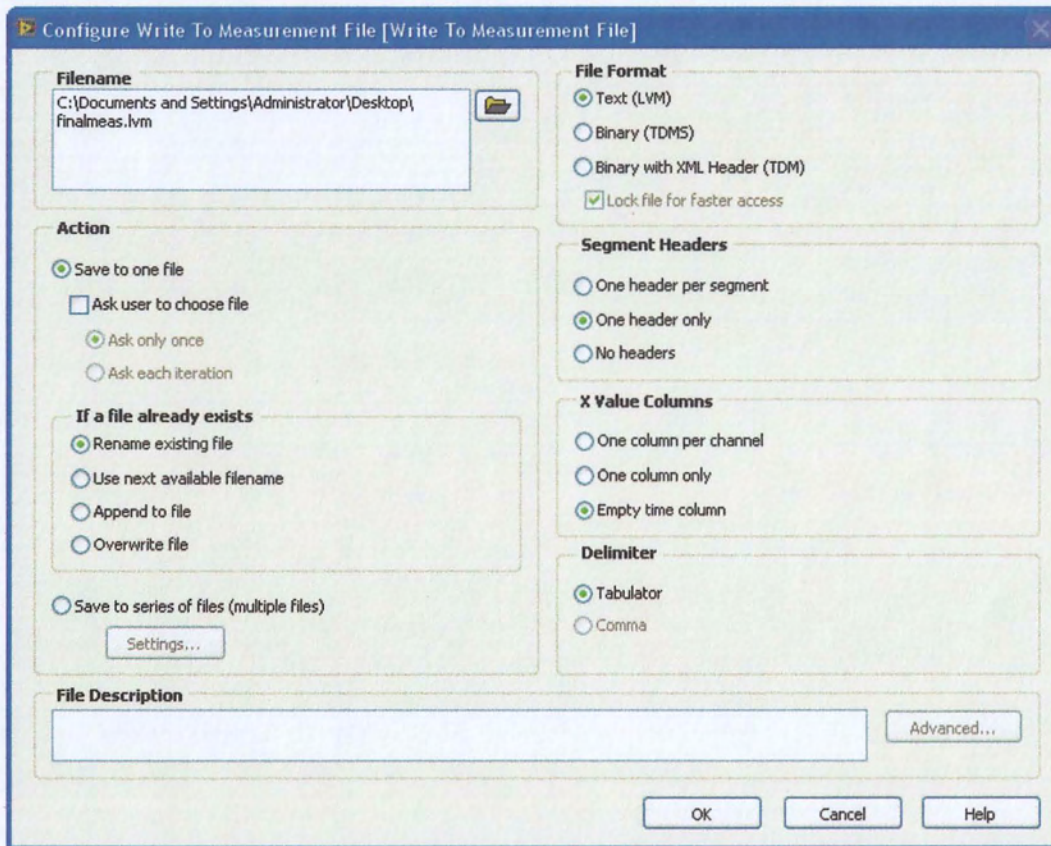
IX. Αποθήκευση των αποτελεσμάτων

Σημαντικό κομμάτι της εφαρμογής αποτελεί η αποθήκευση όλων των απαραίτητων δεδομένων σε αρχεία κειμένου. Οι απεικονίσεις στο Front Panel της εφαρμογής δεν προσφέρουν την λεπτομερή καταγραφή που επιτυγχάνεται με την αποθήκευση όλων των δεδομένων σε αρχεία, απ όπου μπορούμε και να εκτελέσουμε περαιτέρω υπολογισμούς ή συγκρίσεις με άλλες μετρήσεις.

Η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται μέσω της οντότητας Write to Measurement File όπου και συγκεντρώνονται όλα τα δεδομένα προκειμένου να αποθηκευτούν σε αρχεία της επιλογής του χρήστη.

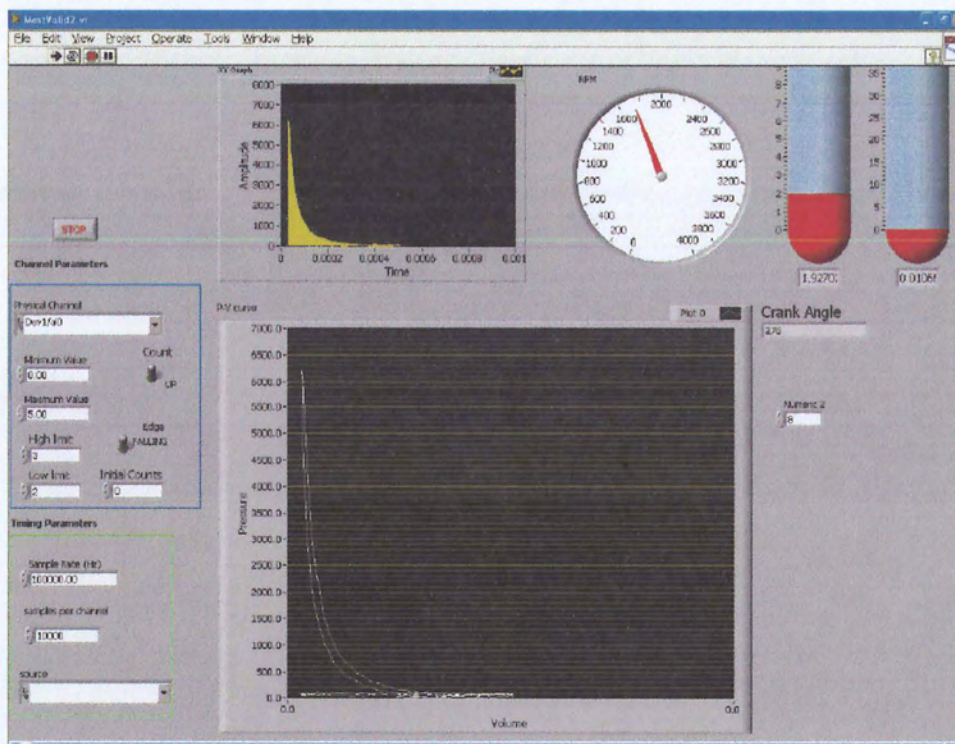


Εικόνα 56: Η Οντότητα Write To Measurement File



Εικόνα 57: Παράθυρο διαλόγου της οντότητας Write To Measurement File

X. Παρουσίαση στο Front Panel



Εικόνα 58: Το Front Panel του κώδικα ανάκτησης σε λειτουργία

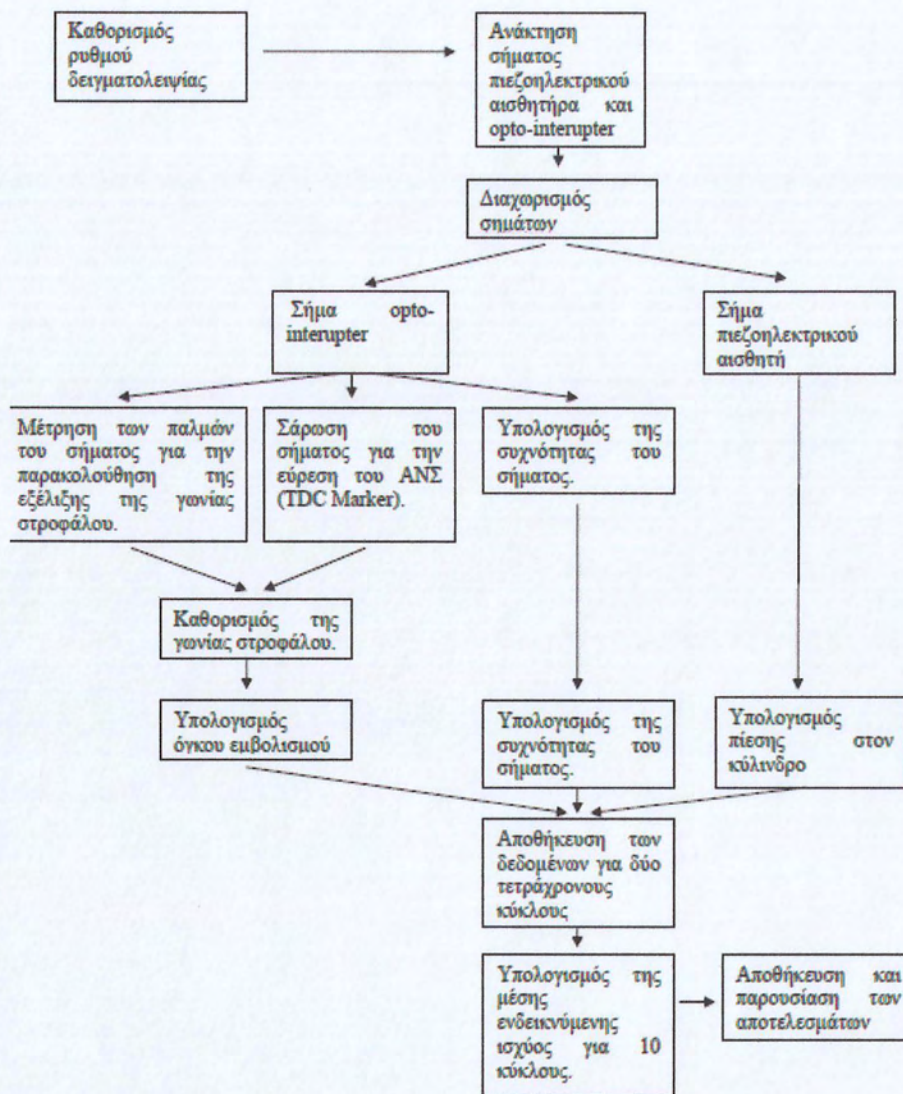
Πέρα από την αποθήκευση των αποτελεσμάτων σε αρχεία μετρήσεων το Labview όπως και έχει αναφερθεί παρέχει πολλές επιλογές παρουσίασης των εκτελούμενων μετρήσεων και υπολογισμών.

Στο Front Panel της εφαρμογής προβάλλονται:

- Ρυθμίσεις του ρυθμού δειγματοληψίας
- Ρυθμίσεις του μετρητή των παλμών του opto-interupter
- Διάγραμμα P-V
- Στροφόμετρο για την προβολή της ταχύτητα του κινητήρα
- Μετρητής της γωνίας στροφάλου
- Δείκτες της Μέσης ενδουκνήμενης ισχύος και της αντίστοιχης ροπής του κινητήρα

XI. Διάγραμμα ροής των δεδομένων στον κώδικα ανάκτησης

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται μία απλουστευμένη ροή των δεδομένων μέσα από τον κώδικα ανάκτησης.



Εικόνα 59: Ροή των δεδομένων μέσα από τον κώδικα ανάκτησης

B. Τεχνικά χαρακτηριστικά οργάνων μέτρησης


Range	bar	0 ... 250
Calibrated partial range	bar	0 ... 50
Overload	bar	300
Sensitivity	pC/bar	-20
Natural frequency (sensor element)	kHZ	-130
Linearity, all ranges at RT	% FSO	±0,4
Acceleration sensitivity		
axial	bar/g	<0,0002
radial	bar/g	<0,0005
Operating temperature range	°C	-50 ... 400
Sensitivity shift		
200 ±50 °C	%	<0,5
23 - 350 °C	%	<2
Thermal shock error		
at 1500 u/min, 9 bar pmi		
P (short-time drift)	bar	± 0,5
Pmi	%	± 2
Pmax	%	± 1,5
Insulation resistance		
at 20 °C	TΩ	≥10
Shock resistance	g	2000
Tightening torque	Nm	1,5
Capacitance, without cable	pF	5
Weight, with cable	g	20
Plug, ceramic insulator		M4 x 0,35

Εικόνα 60: Τεχνικά χαρακτηριστικά πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα Kistler 6052B1

Table 5 Acquisition System Characteristics

Name	Typical Value
Max sample rate:	1 GSa/ s
Vertical resolution:	8 bits
Peak detection:	5 ns
Averages:	Selectable from 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, or 256

Table 6 Vertical System Characteristics

Name	Typical Value
Analog channels:	Channels 1 and 2 simultaneous acquisition DSO3062A: 60 MHz DSO3102A: 100 MHz DSO3152A: 150 MHz DSO3202A: 200 MHz
Calculated rise time (= 0.35/bandwidth):	DSO3202A: 1.8 ns DSO3152A: 2.3 ns DSO3102A: 3.5 ns DSO3062A: 5.8 ns
Range:	2 mV/div to 5 V/div
Maximum Input	CAT II 1 MC: 300 Vrms
 Offset Range:	±2 V 2 mV/div to 100 mV/div ±40 V on ranges 102 mV/div to 5 V/div

Εικόνα 61: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παλμογράφου Agilent 3000 series

C. Πίνακας Συμβολισμών

W	Ενδεικνύμενο έργο ανά κύλινδρο
N	Αριθμός στροφών κινητήρα
n_R	Αριθμός περιστροφών του στροφάλου που αντιστοιχούν σε ένα κινητήριο εμβολισμό
θ	Γωνία στροφάλου
V_d	Κυβισμός κινητήρα
V	Όγκος εμβολισμού
R	Σχέση μήκους διωστήρα προς ακτίνα στροφάλου
P_{brake}	Ισχύς στον άξονα
P_i	Αναπτυσσόμενη ισχύς
P_{fric}	Ισχύς τριβών
$P_{pumping}$	Ισχύς άντλησης
m_{ep}	Μέση ενδεικνύμενη πραγματική πίεση
i_{mep}	Μέση ενδεικνύμενη πίεση
f_{mep}	Μέση ενδεικνύμενη πίεση των τριβών
T	Ροπή φρένου
T_{ind}	Ενδεικνύμενη ροπή
ΑΝΣ	Άνω Νεκρό Σημείο
ΚΝΣ	Κάτω Νεκρό Σημείο

7. Βιβλιογραφία

1. Αγερίδης Γεώργιος, Ρ.Κ., Καρμπίλας Πέτρος, *Μηχανές Εσωτερικής Καύσης 1*. 2001.
2. Austen, A.E.W., Lyn, W.-T., *Relation between Fuel Injection and Hat Release in a DI Engine and the Nature of the Combustion Processes*. 1960-1961.
3. Ferguson, C.R. and A. Kirkpatrick, *Internal combustion engines : applied thermosciences*. 2nd ed. 2000, New York: John Wiley & Sons. xiii, 369 p.
4. Heywood, J.B., *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill series in mechanical engineering. 1988, New York,N.Y. McGraw-Hill: forlag. 29+930 s.
5. Estill, L., *Biodiesel power : the passion, the people, and the politics of the next renewable fuel*. 2005, Gabriola, BC: New Society Publishers. xiv, 272 s.
6. Demirbas, A., *Biodiesel : a realistic fuel alternative for diesel engines*. 2008, Berlin: Springer. x, 208 p.
7. Α., Σ., *Μηχανές Εσωτερικής Καύσης*.
8. Institution of Mechanical Engineers (Great Britain). Combustion Engines Group., *Diesel engine combustion*. Institution of Mechanical Engineers Proceedings, 1969-70, v 184, pt 3J. 1970, London,: Institution of Mechanical Engineers. vii, 306 p.
9. Horlock, J.H. and D.E. Winterbone, *The thermodynamics and gas dynamics of internal-combustion engines 1-2*. Oxford Science Publications. 1982, Oxford: Clarendon Press. 45+1237 s. - I 2 bd.
10. Kim, K.S., Kim, S. S., *Measurement of Dynamic TDC in SI Engines Using Microwave Sensor, Proximity Probe and Pressure Transducers*
1989.
11. Elgar, P., *Sensors for measurement and control*. 1998, Harlow: Longman. 159 s.
12. *ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ*.
13. Manufacturers, J.F., *Fatty Acid Methyl Ester Fuels As a Replacement or Extender for Diesel Fuels Diesel Fuel Injection Equipment Manufacturers Common Position Statement 2007*.
14. Liaquat, A.M., et al., *Impact of biodiesel blend on injector deposit formation*. Energy, 2014. 72: p. 813-823.
15. AYDIN, I.C.a.O., *Effects of B100 Biodiesel on Injector and Pump Piston*. 2011.
16. *Kistler AG 6052B manual*.
17. *Kistler AG 5044A manual*.
18. *Agilent 3000 Series Oscilloscopes User's and Service Guide*.
19. *Data Sheet for NI PCI-6259*.
20. Brunt, M.F.J., Pond, C. R., *Evaluation of Techniques for Absolute Cylinder Pressure Correction*. 1997.
21. Randolph, A.L., *Methods of Processing Cylinder-Pressure Transducer Signals to Maximize Data Accuracy*. 1990.
22. Lancaster, D.R., Krieger, R. B., Lienesch, J. H., *Measurement and Analysis of Engine Pressure Data*. 1975.
23. TZIOURTZIUMIS, D.N., *Experimental Investigation of the steady state and transient operation of Diesel Engines fuelled by high percentage biodiesel blends*. PhD Thesis, 2012.
24. Γιώργος, Μ., *Κώδικας λήψης δυναμοδεικτικού διαγράμματος μονοκύλινδρου κινητήρα Diesel*. 2009.

Πίνακας γραφημάτων

Γράφημα 1: Μεταβολή πυκνότητας του λιπαντικού μέσου για βιοντίζελ και ντίζελ κίνησης συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας	35
Γράφημα 2: Μεταβολή κινηματικού ιξώδους στους 40°C του λιπαντικού μέσου για τα δύο καύσιμα συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας	36
Γράφημα 3: Μεταβολή κινηματικού ιξώδους στους 100°C του λιπαντικού μέσου για τα δύο καύσιμα συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας	36
Γράφημα 4: Μονοκυλινδρικοί πετρελαιοκινητήρες	37
Γράφημα 5: Διάγραμμα Πίεσης Κυλίνδρου-Όγκου Κυλίνδρου με διορθωμένες τις αρνητικές τιμές της πίεσης	64
Γράφημα 6: Χαρακτηριστικές καμπύλες ηλεκτρογεννήτριας.....	68
Γράφημα 7: Διάγραμμα μέσων πιέσεων σε συνάρτηση τις στροφές του κινητήρα	70
Γράφημα 8: Χαρακτηριστική Καμπύλη Κινητήρα RF91 βάσει μετρήσεων.....	70
Γράφημα 9: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2000rpm.....	71
Γράφημα 10: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2200rpm.....	71
Γράφημα 11: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2400rpm.....	72
Γράφημα 12: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2800rpm.....	72
Γράφημα 13: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 3100rpm.....	73
Γράφημα 14: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 3100rpm.....	73
Γράφημα 15: Διάγραμμα πίεσης-Γωνίας στροφάλου.....	74
Γράφημα 16: Διάγραμμα μέσων πιέσεων σε συνάρτηση τις στροφές του κινητήρα	75
Γράφημα 17: Χαρακτηριστική Καμπύλη Κινητήρα RF91 βάσει μετρήσεων.....	75
Γράφημα 18: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 1800rpm επισκευή.....	76
Γράφημα 19: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2400rpm επισκευή.....	76
Γράφημα 20: : Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2800rpm επισκευή.....	77
Γράφημα 21: Διάγραμμα πίεσης-Γωνίας στροφάλου.....	77
Γράφημα 22: Διάγραμμα μεταβολής της μέσης ενδεικνύμενης ισχύος και $\eta_{\text{μερ}}$ ανάλογα τις στροφές του κινητήρα.....	78
Γράφημα 23: Διάγραμμα μεταβολής του μεγίστου της πίεσης ανάλογα με το φορτίο που εφαρμόζεται στην πέδη	78
Γράφημα 24: Συγκριτικό διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 1800rpm 1R.....	79
Γράφημα 25: Συγκριτικό διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 1800rpm 2R.....	79
Γράφημα 26: Συγκριτικό διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2400rpm 1R.....	80
Γράφημα 27: Συγκριτικό διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2400rpm 2R.....	80
Γράφημα 28: : Συγκριτικό διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2400rpm 3R.....	81
Γράφημα 29: Συγκριτικό διάγραμμα Πίεσης-Όγκου Κυλίνδρου 2800rpm 3R.....	81
Γράφημα 30: Διάγραμμα σήματος πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα από παλμογράφο (5ks/s)..	87
Γράφημα 31 : Διάγραμμα σήματος πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα από λογισμικό Labview (5ks/s)	87
Γράφημα 32: Διάγραμμα εξέλιξης χρόνου μέσα στον κώδικα ανάκτησης (5ks/s).....	89
Γράφημα 33: Διάγραμμα σήματος πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα από παλμογράφο (10ks/s)	89
Γράφημα 34: Διάγραμμα εξέλιξης χρόνου μέσα στον κώδικα ανάκτησης (10ks/s).....	90
Γράφημα 35: Διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου, εμφανές το σφάλμα της πίεσεως αναφοράς..	92
Γράφημα 36: Διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου.....	92
Γράφημα 37: Γράφημα σήματος opto-interrupter	93
Γράφημα 38: : Γράφημα σήματος Opto-interrupter, εμφανή τα διάκενα που ορίζουν το ΑΝΣ	95

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Εξέλιξη ενός κύκλου τετράχρονου κινητήρα diesel	7
Εικόνα 2: Τομή τετράχρονης μηχανής diesel 1. Βαλβίδα, 2. Έμβολο, 3. Διωστήρας, 4. Ελαιολεκάνη, 5. Εγχυτήρας, 6 Σύστημα υποβοήθησης της εκκίνησης.....	8
Εικόνα 3: Τα τμήματα της εμβολοφόρου αντλίας τύπου Bosch 1. Σωλήνας υψηλής πίεσης, 2. Σώμα βαλβίδα παροχής 3.Ελατήριο επαναφοράς βαλβίδας 4. Βαλβίδα παροχής, 5. Θάλαμος κατάθλιψης καυσίμου, 6. Θυρίδα εισόδου καυσίμου, 7. Θάλαμος αναρρόφησης, 8. Έμβολο με ελικοτομή, 9. Κύλινδρος, 10. Οδοντωτός κανόνας, 11. Γρανάζι στροφής εμβόλου, 12. Χιτώνιο, 13 Στέλεχος εμβόλου, 14. Ελατήριο επαναφοράς, 15. Δίσκος συγκράτησης ελατηρίου.....	10
Εικόνα 4: Περιγραφή αντλητικού στοιχείου της εμβολοφόρου αντλίας έγχυσης τύπου Bosch 1. Κύλινδρος, 2. Εισαγωγή καυσίμου, 3. Έμβολο, 4. Ελικοτομή, 5. Οδοντωτός κανόνας α) Μηδενική παροχή, β) Μερικοί παροχή, γ) Μέγιστη παροχή	11
Εικόνα 5:Μορφή του εμβόλου της αντλίας έγχυσης. 1. Είσοδος καυσίμου, 2 Επιστροφή καυσίμου, 3. Κάθετη τομή, 4. Ελικοτομή εμβόλου, 5. Έμβολο, 6. Κύλινδρος.....	11
Εικόνα 6: Οι διάφορες θέσεις λειτουργίας του εμβόλου της αντλίας έγχυσης α) Αρχή κατάθλιψης καυσίμου – μέγιστη ποσότητα κατάθλιψης, β) Τέλος κατάθλιψης καυσίμου – μέγιστη ποσότητα κατάθλιψης, γ) Αρχή κατάθλιψης καυσίμου – μερική ποσότητα κατάθλιψης, δ) Τέλος κατάθλιψης καυσίμου – μερική ποσότητα κατάθλιψης,, ε) Κάτω Θέση – κενή λειτουργία.....	12
Εικόνα 7: Τύποι ακροφυσίων. 1. Στέλεχος πίεσης, 2. Σώμα ακροφυσίου, 3. Στέλεχος εγχυτήρα, 4.Είσοδος καυσίμου, 5 Θάλαμος πίεσης, 6. Έδρα, 7. Βελόνα ακροφυσίου, 8. Οπές ακροφυσίου	14
Εικόνα 8:Βασικά μέρη εγχυτήρα, 1. Είσοδος καυσίμου, 2. Σώμα συγκρατήρα, 3. Περικοχλίο ακροφυσίου, 4. Ενδιάμεσο εξάρτημα, 5. Ακροφύσιο, 6. Ρακόρ και σωλήνας καυσίμου, 7. Φίλτρο καυσίμου, 8. Σύνδεση, 9. Προσθήκη ρυθμιστικής πίεσης, 10 . Δίοδος πίεσης καυσίμου, 11. Ελατήριο, 12. Στέλεχος πίεσης εγχυτήρα.....	15
Εικόνα 9: Αναπαράσταση ενός πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα εμφανής ο κρύσταλλος χαλαζία και το διάφραγμα.....	23
Εικόνα 10: Επικαθήσεις στους εγχυτήρες για τα δύο είδη καυσίμου σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές.....	31
Εικόνα 11: Επικαθήσεις σε κλίμακα μικρού με τη χρήση SEM στην μύτη εγχυτήρα για καύσιμο ντίζελ κίνησης και βιοντίζελ	32
Εικόνα 12: Σημειακές χημικές αναλύσεις σε εγχυτήρα με χρήση καυσίμου ντίζελ κίνησης .	33
Εικόνα 13: Σημειακές χημικές αναλύσεις σε εγχυτήρα με χρήση καυσίμου βιοντίζελ.....	34
Εικόνα 14: Ανάλυση SEM σε μύτη εγχυτήρα, α) πριν την χρήση βιοντίζελ, β) μετά την χρήση βιοντίζελ, c) πριν την χρήση ντίζελ κίνησης, d) μετά την χρήση ντίζελ κίνησης.....	40
Εικόνα 15: Φωτογραφίες SEM από το πιστόνι της αντλίας κατά την εκκίνηση των πειραματικών δοκιμών, α) βιοντίζελ, β) ντίζελ κίνησης	42
Εικόνα 16: Επιφάνειες του πιστονιού της αντλίας σε μεγέθυνση 80x μετά από 200 ώρες λειτουργίας, α) βιοντίζελ, β) ντίζελ κίνησης.....	43
Εικόνα 17: Επιφάνειες του πιστονιού της αντλίας σε μεγέθυνση 250x μετά από 200 ώρες λειτουργίας, α) βιοντίζελ, β) ντίζελ κίνησης.....	43
Εικόνα 18: Κινητήρας με ανοιχτό το πίσω καπάκι για την εξαγωγή της αντλίας πετρελαίου	46
Εικόνα 19: Αντλίας πετρελαίου τύπου Bosch κινητήρα Rugggerini RF91	46
Εικόνα 20: Επικαθήσεις στο εσωτερικό σώμα της αντλίας πετρελαίου.....	47
Εικόνα 21: Διασπορά αντλίας πετρελαίου τύπου Bosch	48

Εικόνα 22: Κύλινδρος αντλίας πετρελαίου με εμφανή σημάδια εκτεταμένης οξείδωσης	49
Εικόνα 23: Κύλινδρος αντλίας πετρελαίου με εμφανή σημάδια εκτεταμένης οξείδωσης	50
Εικόνα 24: Σχηματισμός επικαθίσεων στην διαμορφωμένη περιοχή του εμβόλου της αντλίας	51
Εικόνα 25: Σημάδια οξείδωσης και σχηματισμός επικαθίσεων στο άνω τμήμα του εμβόλου της αντλίας, το δαχτυλίδι που έχει σχηματιστεί προήλθε κατά την αποσυναρμολόγηση της αντλίας	52
Εικόνα 26: Εσωτερικό σώμα αντλίας πριν και μετά τον καθαρισμό με συσκευή υπερήχων.	54
Εικόνα 27: Έλεγχος ποιότητας συννέφου ψεκασμού του εγχυτήρα	56
Εικόνα 28: Ηλεκτρογεννήτρια Nuova Saccardo Motori	58
Εικόνα 29: Ρότορας ηλεκτρογεννήτριας Nuova Saccardo Motori	59
Εικόνα 30: Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας Kistler 6052B	60
Εικόνα 31: Ενισχυτής Σήματος KISTLER AG 5044A συνδεδεμένος με τον αισθητήρα.....	60
Εικόνα 32: Παλμογράφος Agilent 3000 Series Oscilloscopes	62
Εικόνα 33: Κάρτα NI-PCI-6259.....	63
Εικόνα 34: Εισαγωγή των δεδομένων που ανακτήθηκαν από το λογισμικό Labview στο λογισμικό OriginPro	65
Εικόνα 35: Υπολογισμός του επικαμπύλιου ολοκληρώματος σε λογισμικό OriginPro	65
Εικόνα 36:Υπολογισμός του επικαμπύλιου ολοκληρώματος σε λογισμικό OriginPro	66
Εικόνα 37:Υπολογισμός του επικαμπύλιου ολοκληρώματος σε λογισμικό OriginPro	67
Εικόνα 38: Διάταξη για την ανάκτηση και την επεξεργασία σημάτων	85
Εικόνα 39: Κώδικας ανάκτησης με χρήση της κάρτας TDAQ744.....	86
Εικόνα 40: Κώδικας ανάκτησης των δύο σημάτων με χρήση της κάρτας NI-PCI-6259	91
Εικόνα 41: Κώδικας υπολογισμού της γωνίας στροφάλου	94
Εικόνα 42: Κώδικας καθορισμού ΑΝΣ.....	96
Εικόνα 43: Formula Node με τον τύπο υπολογισμού του όγκου	96
Εικόνα 44: Παράθυρο διαλόγου Convert from Dynamic Data	97
Εικόνα 45: Οντότητα Build XY graph	98
Εικόνα 46: Διάγραμμα Πίεσης-Όγκου στο Labview	98
Εικόνα 47: Η οντότητα extract single tone information.....	99
Εικόνα 48: Η συνάρτηση Mean και οι υπολογισμοί για τον υπολογισμό των στροφών ανά λεπτό του κινητήρα	99
Εικόνα 49: Προβολή των στροφών ανά λεπτό του κινητήρα στο Front Panel της εφαρμογής	99
Εικόνα 50: Συνολικός κώδικας υπολογισμού στροφών του κινητήρα	100
Εικόνα 51: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου κανόνα τραπεζίου	100
Εικόνα 52: Διάγραμμα ροής υπολογισμού ισχύος	101
Εικόνα 53: Διάγραμμα ροής με χρήση συνάρτησης μέσου για τον υπολογισμό του έργου	101
Εικόνα 54: Διάγραμμα ροής με τονισμένη την συνθήκη ανάκτησης δεδομένων για δύο κύκλους	102
Εικόνα 55: Διάγραμμα ροής όπου υπολογίζεται η ροπή.....	102
Εικόνα 56: Η Οντότητα Write To Measurement File.....	103
Εικόνα 57: Παράθυρο διαλόγου της οντότητας Write To Measurement File	103
Εικόνα 58: Το Front Panel του κώδικα ανάκτησης σε λειτουργία	104
Εικόνα 59: Ροή των δεδομένων μέσα από τον κώδικα ανάκτησης.....	105
Εικόνα 60: Τεχνικά χαρακτηριστικά πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα Kistler 6052B1	106
Εικόνα 61: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παλμογράφου Agilent 3000 series.....	106

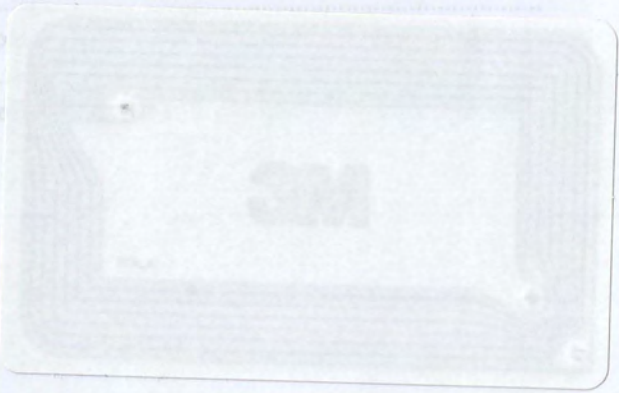
Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά του καυσίμου diesel στην ευρωπαϊκή ένωση.....	16
Πίνακας 2: Σύγκριση ντίζελ κίνησης (3η στήλη) με βιοντίζελ (4η στήλη).....	17
Πίνακας 3: Πιθανές βλάβες που μπορεί να προκύψουν στο σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου σύμφωνα με την ένωση FIE (κατασκευαστές συστημάτων τροφοδοσίας καυσίμου)	28
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά κινητήρα πειραματικών δοκιμών	30
Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά χρησιμοποιούμενων καυσίμων και μετρητικού εξοπλισμού	30
Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά κινητήρα μονοκύλινδρου πετρελαιοκινητήρα που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές	38
Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές	39
Πίνακας 8: Χημικές συστάσεις μύτης εγχυτήρα από ανάλυση EDX για καύσιμο βιοντίζελ... 41	
Πίνακας 9: Χημικές συστάσεις μύτης εγχυτήρα από ανάλυση EDX για καύσιμο ντίζελ κίνησης	41
Πίνακας 10: Χημικές συστάσεις πιστονιού αντλίας από ανάλυση EDX για καύσιμο βιοντίζελ	44
Πίνακας 11: Χημικές συστάσεις πιστονιού αντλίας από ανάλυση EDX για καύσιμο ντίζελ κίνησης	44
Πίνακας 12: Τεχνικά χαρακτηριστικά κινητήρα RF91	57
Πίνακας 13: Συγκεντρωτικά μετρήσεων για διάφορα σημεία λειτουργίας	69
Πίνακας 14: Συγκεντρωτικά μετρήσεων για διάφορα σημεία λειτουργίας	74
Πίνακας 15: Δεδομένα σήματος πίεσης με εμφανές το φαινόμενο του buffer overwrite (5ks/s)	88
Πίνακας 16: Δεδομένα σήματος πίεσης εμφανές το φαινόμενο του buffer overwrite (5ks/s)	88
Πίνακας 17: Δεδομένα σήματος πίεσης εμφανές το φαινόμενο του buffer overwrite (10ks/s)	90
Πίνακας 18: Χαρακτηριστικές τιμές για τον καθορισμό του ANΣ.....	95



Πινάκες

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά του καυσίμου diesel στην ευρωπαϊκή ένωση 16
Πίνακας 2: Σύγκριση ντίζελ κίνησης (3η στήλη) με βιοντίζελ (4η στήλη) 17
Πίνακας 3: Πιθανές βλάβες που μπορεί να προκύψουν στο σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου σύμφωνα με την ένωση FIE (κατασκευαστές αντισταθμιστών τροφοδοσίας καυσίμου) 28
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά κινητήρα παραματρίων δοκιμών 30
Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά χρησιμοποιούμενων καυσίμων και μεταρρυθμού ελασμού 30
Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά κινητήρα μονοκύλινδρου παρτελεοκινητήρα που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές 38
Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές 39
Πίνακας 8: Χημικές συστάσεις μίγξης εγχυτήρα από ανάλυση EDX για καύσιμο βιοντίζελ 41
Πίνακας 9: Χημικές συστάσεις μίγξης εγχυτήρα από ανάλυση EDX για καύσιμο ντίζελ κίνησης 41
Πίνακας 10: Χημικές συστάσεις πιστονίου αντλίας από ανάλυση EDX για καύσιμο βιοντίζελ 44
Πίνακας 11: Χημικές συστάσεις πιστονίου αντλίας από ανάλυση EDX για καύσιμο ντίζελ κίνησης 44
Πίνακας 12: Τεχνικά χαρακτηριστικά κινητήρα RE91 57
Πίνακας 13: Συγκριτικά μετρήσιμα για διάφορα σήματα λετουρδικ 69
Πίνακας 14: Συγκριτικά μετρήσιμα για διάφορα σήματα λετουρδικ 74
Πίνακας 15: Δεδομένα σήματος πίεσης με εφέμενες το φαινόμενο του buffer overwrite (5k/s) 88
Πίνακας 16: Δεδομένα σήματος κλάσης εφέμενες το φαινόμενο του buffer overwrite (5k/s) 88
Πίνακας 17: Δεδομένα σήματος κλάσης εφέμενες το φαινόμενο του buffer overwrite (10k/s) 90
Πίνακας 18: Δεδομένα σήματος κλάσης εφέμενες το φαινόμενο του buffer overwrite (20k/s) 92



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

004000135172