

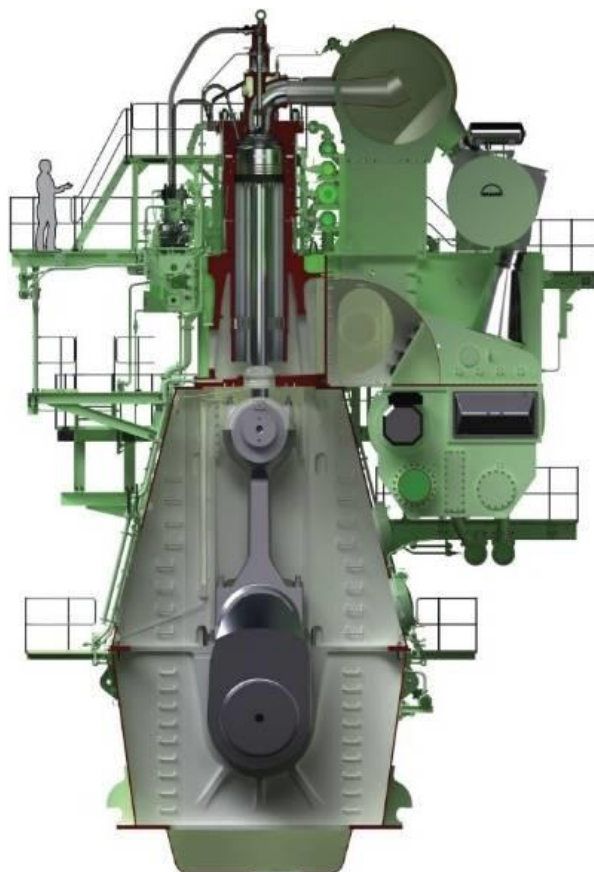


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΜΕΙΓΜΑΤΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΚΑΥΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ **(ΕΚΤΕΤΑΜΜΕΝΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ)**

Επίδραση βαρέος καυσίμου και καυσίμου ντήζελ στην καύση και τη λειτουργική συμπεριφορά συμβατικών και ηλεκτρονικά ελεγχόμενων ναυτικών κινητήρων ντήζελ.

ΧΟΥΝΤΑΛΑΣ Δ. ΘΕΟΦΑΝΗΣ



ΕΠΙΒΛΕΠΟΝ:

Δρ. Μ. ΦΟΥΝΤΗ, ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αυτή η διατριβή σηματοδοτεί την ολοκλήρωση των σπουδών μου στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ. Ως εκ τούτου, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου σε ορισμένα άτομα των οποίων η ουσιαστική καθοδήγηση και υποστήριξη αποδείχθηκε καθοριστικής σημασίας για την επίτευξη του υψηλού επιπέδου γνώσης και τεχνογνωσίας που διακρίνει τους αποφοίτους του ΕΜΠ.

Πρώτον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διατριβής καθηγήτρια Φούντη Μαρία. Η βοήθεια, η καθοδήγηση της και οι καλά μελετημένες παρατηρήσεις της βελτίωσαν κατά πολύ την ποιότητα της δουλειάς μου και τον τρόπο που προσεγγίζω την επιστημονική έρευνα. Ήταν μια εξαιρετική εμπειρία να συνεργάζομαι με την Καθηγήτρια Φούντη και θα ήθελα να επισημάνω το πολύ καλό περιβάλλον και την στενή επαφή που η ίδια και οι συνάδελφοί της στο εργαστήριο έχουν με όλους τους φοιτητές.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον καθηγητή Γ.Δ. Ρακόπουλο και τον Αναπλ. Καθ. Ε. Γιακουμή για τη σημαντική γνώση που προσέφεραν στον τομέα των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης κατά τη διάρκεια Σπουδές Δίπλωμα μου στο ΕΜΠ.

Ειδικές ευχαριστίες αποδίδονται στον Δρ. Γ. Μαυρόπουλο για τις πολύτιμες παρατηρήσεις και τις προτάσεις του κατά την προετοιμασία της παρούσας εργασίας.

Δεύτερον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και ιδιαίτερα τον πατέρα μου που με ενέπνευσε σε έναν βαθμό να επιδιώξω σπουδές σε αυτόν τον τομέα. Ο ίδιος και όλα τα μέλη της οικογένειάς μου διαδραμάτισαν καίριο ρόλο στις σπουδές μου εμπνέοντάς με, οδηγώντας με προς τα εμπρός και ζητώντας μου να ασκήσω κάθε δυνατή προσπάθεια, προκειμένου να επιτύχω και να αποκτήσω όλα όσα θα μπορούσα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο ΕΜΠ.

Τελευταίο αλλά όχι λιγότερο σημαντικό, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς το Τεχνικό Τμήμα των ναυτιλιακών εταιρειών Minerva-Marine, Anangel Maritime Services, MMS (Marine Management Services) και Springfield Shipping Co από τα πλοία των οποίων αποκτήθηκαν πολύτιμα πειραματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διατριβή.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	2
1 ΣΥΝΟΨΗ.....	4
2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ.....	7
4 ΝΑΥΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DIESEL-ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	9
4.1 ΓΕΝΙΚΑ	9
4.2 Σύστημα έγχυσης κοινού οχető (Common Rail System).....	10
4.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	11
5 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΗFO & ΜGO.....	12
5.1 Βαρυ Καύσιμο (ΗFO)	12
5.2 Ναυτιλιακό Καύσιμο Ντήζελ (ΜGO)	12
5.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΤΥΠΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.....	13
6 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ	14
6.1 Γεννήτρια L23_30Η.....	14
6.2 Γεννήτρια DE-18	15
6.3 Κύρια μηχανή 6S60MC (κλασσική μηχανή με εκκεντροφόρο).....	15
6.4 Κύρια μηχανή 6G70MEC-9.2 (ηλεκτρονικά ελεγχόμενη).....	16
6.5 Κύρια μηχανή S60ME-C8 (ηλεκτρονικά ελεγχόμενη)	16
6.6 Κύρια μηχανή S50ME-B9 (ημι-ηλεκτρονικά ελεγχόμενη).....	17
7 Επεξεργασία των Πειραματικών Δεδομένων	18
7.1 Ψηφιοποίηση των μετρήσεων από το εγκατεστημένο εμπορικό σύστημα	18
7.2 Υπολογισμός του ρυθμού έκλυσης θερμότητας.....	19
7.3 Υπολογισμός της καθυστέρησης ανάφλεξης (χωρίς τη χρήση τιμών πίεσης καυσίμου)	19
7.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	20
8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟΦΟΡΗΤΟ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	24
8.1 Επίδραση των ΗFO & ΜGO στο μηχανισμό της καύσης και τη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα 6S60MC (κινητήρας με εκκεντροφόρο)	24
8.1.1 Σύνοψη των αποτελεσμάτων της μηχανής 6S60MC.....	26
8.2 Ανάλυση για την Επίδραση των ΗFO και ΜGO στην λειτουργία και το μηχανισμό της καύσης του κινητήρα 6G70MEC-9.2 (ηλεκτρονικά ελεγχόμενος κινητήρας)	27
8.2.1 Σύνοψη των αποτελεσμάτων του κινητήρα 6G70MEC-9.2	28
8.3 Ανάλυση για την Επίδραση των ΗFO και ΜGO στην απόδοση και την καύση του κινητήρα S60ME-C8 (ηλεκτρονικά ελεγχόμενος κινητήρας)	29
8.4 Ανάλυση για την Επίδραση των ΗFO και ΜGO στην λειτουργία και το μηχανισμό της καύσης του κινητήρα S50ME-B9 (ημι-ηλεκτρονικά ελεγχόμενος κινητήρας)	29
8.5 Γενικά σχόλια για την λειτουργία των Ηλεκτρονικών δίχρονων κινητήρων με ΗFO και ΜGO	29
8.6 Ανάλυση για την Επίδραση των ΗFO και ΜGO στην λειτουργία και το μηχανισμό της καύσης του βοηθητικού κινητήρα 6L2330Η	30
8.6.1 Σύνοψη των αποτελεσμάτων της γεννήτριας Ντίζελ 6L2330Η.....	32
8.7 Ανάλυση για την Επίδραση των ΗFO και ΜGO στην λειτουργία και το μηχανισμό της καύσης του βοηθητικού κινητήρα 6DE-18	33
8.7.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων για τη γεννήτρια diesel 6DE-18	35
8.8 Γενικές παρατηρήσεις για τη λειτουργική συμπεριφορά των γεννητριών με ΗFO και ΜGO	35
9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	37
9.1 Συμπεράσματα για τη διαδικασία αξιολόγησης που είναι βασισμένη στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα πίεσης.....	37
9.2 Επίδραση του ΜGO σε δίχρονους κινητήρες πρόωσης.....	37
9.2.1 Επίδραση σε συμβατικούς κινητήρες με εκκεντροφόρο	37
9.2.2 Επίδραση στους ηλεκτρονικά ελεγχόμενους κινητήρες	38

9.2.3	Επίδραση στην ημι-ηλεκτρονική μηχανή (οι βαλβίδες εξαγωγής ελέγχονται με εκκεντροφόρο).....	38
9.3	Επίδραση του MGO στους 4-χρονους βοηθητικούς κινητήρες	39
9.3.1	Επίδραση στον βοηθητικό κινητήρα με λίγες ώρες λειτουργίας.....	39
9.3.2	Επίδραση στον βοηθητικό κινητήρα με πολλές ώρες λειτουργίας	39
9.4	Γενικά Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις	39
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		41

1 ΣΥΝΟΨΗ

Το παρόν αποτελεί περίληψη του κυρίως σώματος της διπλωματικής εργασίας που υπέβαλλα στην Αγγλική γλώσσα με τίτλο **“The effect of residual and distillate fuel on camshaft & electronically controlled marine diesel engines combustion and performance”** και στην ελληνική γλώσσα « **Επίδραση βαρέος καυσίμου και καυσίμου ντίζελ στην καύση και τη λειτουργική συμπεριφορά συμβατικών και ηλεκτρονικά ελεγχόμενων ναυτικών κινητήρων ντίζελ.**».

Εμπνευσμένη από τις πρόσφατες αλλαγές στις περιβαλλοντικές ρυθμίσεις και το πολύχρονο ενδιαφέρον μου για τους ναυτικούς κινητήρες αυτή η εργασία εστιάζει στις συνέπειες της χρήσης αποσταγμένου, χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, καυσίμου (MGO) σε κινητήρες που είχαν αρχικά σχεδιαστεί για να λειτουργούν με μη αποσταγμένο βαρύ πετρέλαιο (HFO) . Οι μεγάλες διαφοροποιήσεις των δύο τύπων καυσίμου στα φυσικά χαρακτηριστικά (δηλαδή το ιξώδες και τη θερμαντική ικανότητα) και το γεγονός ότι οι περισσότεροι ναυτικοί κινητήρες και συστήματα καυσίμου αναπτύχθηκαν για να λειτουργούν με βαρύ καύσιμο (HFO) κάνουν τη σύγκριση τόσο ενδιαφέρουσα όσο και ουσιαστική. Όπως περιγράφεται στο κείμενο η επί μακρόν λειτουργία με MGO είναι ήδη υποχρεωτική σε συγκεκριμένες περιοχές για τις οποίες ισχύουν αυστηρές νομοθεσίες εκπομπών ρύπων που σχετίζονται με την περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο.

Οι περιπτώσεις που διερευνήθηκαν στην παρούσα μελέτη περιλαμβάνουν δύο 4-χρονους, βοηθητικούς κινητήρες μέσης ταχύτητας περιστροφής (γεννήτριες ντίζελ) και τέσσερις 2-χρονους, χαμηλής ταχύτητας κύριους κινητήρες πρόωσης, με τον ένα να είναι συμβατικός κινητήρα τύπου MC και τους άλλους τρεις να είναι σύγχρονοι ηλεκτρονικά ελεγχόμενοι (το σύστημα ευρέως γνωστό ως common rail) διαφόρων τύπων. Το παραπάνω έχει γίνει σε μια προσπάθεια να περιληφθούν οι σημαντικότεροι τύποι κινητήρων που λειτουργούν σήμερα στο χώρο.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση ελήφθησαν σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας, σε μια προσπάθεια να καλυφθεί όλο το φάσμα λειτουργίας του κινητήρα, δηλαδή από το χαμηλό προς το υψηλό φορτίο. Τα περισσότερα από τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία αποκτήθηκαν υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, δηλαδή στη θάλασσα, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα διάγνωσης το οποίο χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της απόδοσης του κινητήρα. Για τους σύγχρονους 2-χρονους ηλεκτρονικούς κινητήρες, μετρήσεις ελήφθησαν και επί της πέδης αφού λήφθηκε ειδική άδεια από τον κατασκευαστή του κινητήρα για να παρακολουθηθούν οι εργοστασιακές δοκιμές ‘shop tests’.

Σε μία περίπτωση δεδομένα αποκτήθηκαν από εμπορικό σύστημα εγκατεστημένο επί του σκάφους, τα οποία περιλάμβαναν και τιμές πίεσης έγχυσης καυσίμου οι οποίες ήταν πολύτιμες για την ανάλυση. Η αξιοποίηση των στοιχείων της πίεσης καυσίμου παρέχει σημαντική συμβολή στην κατανόηση της επίδρασης του τύπου του καυσίμου στο σύστημα ψεκασμού του κινητήρα. Τα στοιχεία αυτά λήφθηκαν σε έντυπη μορφή και για το λόγο αυτό έπρεπε να υποβληθούν σε επεξεργασία (ψηφιοποίηση), προκειμένου να μετατραπούν τα δεδομένα σε μορφή ASCII. Για το σκοπό αυτό ακολουθήθηκε μια ειδική τεχνική ώστε να ληφθούν τα δεδομένα από τα αρχεία pdf , δεδομένου ότι οι γραφικές παραστάσεις ήταν σε διανυσματική μορφή.

Το λογισμικό για την επεξεργασία των δεδομένων και για τον υπολογισμό του ρυθμού έκλυσης θερμότητας γράφτηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran. Από την επεξεργασία των δεδομένων, προέκυψε ότι απαιτείται προσπάθεια και ιδιαίτερη προσοχή προκειμένου να διακριθεί η πραγματική επίδραση των ιδιοτήτων του καυσίμου στην απόδοση του κινητήρα και το μηχανισμό της καύσης. Η κύρια πηγή των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση και για τον προσδιορισμό της επίδρασης του τύπου του καυσίμου κατά την καύση είναι το διάγραμμα πίεσης του κυλίνδρου. Αλλά, όπως αποκαλύπτεται από την ανάλυση, αυτή επηρεάζεται επίσης από τη διαδικασία της μέτρησης και από τις ρυθμίσεις του κινητήρα και ειδικά από την έναρξη της έγχυσης καυσίμου. Ένα άλλο σημαντικό εύρημα ήταν, ότι συνήθως δεν είναι δυνατόν να συναχθούν ασφαλή αποτελέσματα απ' ευθείας από τις τιμές πίεσης κυλίνδρου εάν υπάρχουν διαφορές στην πίεση συμπίεσης ή/και στο χρονισμό της έγχυσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, μικρές διαφορές στην έναρξη της έγχυσης μπορεί να έχουν σημαντικότερη επίδραση σε σύγκριση με εκείνη του ίδιου του καυσίμου.

Από την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψαν σημαντικά αποτελέσματα αποκαλύπτοντας ότι υπάρχει επίδραση του τύπου του καυσίμου στην απόδοση του κινητήρα και στο μηχανισμό της καύσης. Η

επίδραση εξαρτάται από τον τύπο του κινητήρα και την κατάστασή του. Ένα άλλο σημαντικό εύρημα που προήλθε από μία από τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, είναι η πιθανότητα εμφάνισης προβλήματος στο σύστημα έγχυσης καυσίμου όταν ο κινητήρας λειτουργεί με MGO, λόγω των φυσικών ιδιοτήτων του και του χαμηλού ιξώδους και λιπαντικότητάς του.

Οι διαφορές ήταν αρκετά μικρές στην περίπτωση των σύγχρονων ηλεκτρονικών 2-χρονων κινητήρων και περισσότερο εμφανείς στην περίπτωση του συμβατικού εκκεντροφόρου 2-χρονου κινητήρα. Η επίδραση του καυσίμου ήταν σαφώς πιο έντονη στην περίπτωση των 4-χρονων βοηθητικών μηχανών, που χρησιμοποιούνται για την επί του σκάφους παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, των οποίων η υψηλή ταχύτητα περιστροφής ενισχύσει τις διαφορές, όταν οι τιμές τους εκφράζονται σε μοίρες γωνίας στροφάλου. Αυτό είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι οι κινητήρες αυτοί είναι πολύ πιο ευαίσθητοι στις ρυθμίσεις που έχουν εφαρμοστεί, κλπ. λόγω της υψηλότερης ταχύτητας περιστροφής τους.

Από την παρούσα έρευνα προκύπτει ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία των κινητήρων είναι πολλοί και αλληλεπιδρούν με πολύπλοκους και συχνά αντικρουόμενους μηχανισμούς. Για το λόγο αυτό, το να δοθούν γενικά, πειστικά και λεπτομερή συμπεράσματα για όλους τους τύπους κινητήρων βασιζόμενοι στην παρούσα προκαταρκτική έρευνα δεν είναι επιστημονικά δόκιμο και ορθό. Ωστόσο, τα ευρήματα της παρούσας εργασίας είναι σημαντικά, δεδομένου ότι αποκαλύπτεται σαφής επίδραση του τύπου του καυσίμου στην απόδοση του κινητήρα και το μηχανισμό της καύσης. Επιπλέον εντοπίστηκαν σημαντικά ζητήματα τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη διεξαγωγή μιας τέτοιας ανάλυσης και τα οποία σχετίζονται κυρίως με τη διαδικασία της ίδιας της μέτρησης και της μεθοδολογίας επεξεργασίας των δεδομένων. Η πληροφορία αυτή είναι σημαντική για την υποστήριξη μελλοντικών ερευνών που σίγουρα απαιτούνται.

2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για δεκαετίες το προτιμώμενο καύσιμο για χρήση σε μεγάλου ναυτικούς κινητήρες ήταν το βαρύ κατάλοιπο πετρελαίου HFO, κυρίως λόγω του χαμηλού του κόστους σε σχέση με τις εναλλακτικές, αλλά και της ευρείας διαθεσιμότητάς του. Σύγχρονοι περιβαλλοντικοί κανονισμοί και ιδιαίτερα η εφαρμογή τους από το έτος 2015, καθιστούν τη χρήση του τύπου αυτού καυσίμου απαγορευτική σε πολλές περιοχές, λόγω της μεγάλης του περιεκτικότητας σε θείο. Εξαιτίας αυτού παρουσιάστηκε η ανάγκη για συχνή χρήση ελαφρύτερων προϊόντων απόσταξης, φιλικότερων προς το περιβάλλον, όπως το MGO.

Τα καύσιμα ελαφρύτερης περιεκτικότητας φέρουν σημαντικά διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες σε σχέση με το βαρύ καύσιμο HFO, με την κύρια διαφορά να εντοπίζεται στην τιμή της συνεκτικότητας. Καθώς η χρήση του HFO ήταν, μέχρι πρότινος, σχεδόν αποκλειστική οι περισσότεροι ναυτικοί κινητήρες και συστήματα έγχυσης καυσίμου έχουν σχεδιαστεί με βάση τις προδιαγραφές του HFO.

Σκοπός της εργασίας αυτής, είναι να μελετηθεί το μέγεθος της επίδρασης των διαφορών αυτών στο μηχανισμό της καύσης και τη γενικότερη λειτουργία των ναυτικών κινητήρων. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν τρεις χαρακτηριστικές περιπτώσεις κινητήρων: κύριες μηχανές πρόωσης κλασσικού τύπου (με στροφαλοφόρο άξονα), σύγχρονες κύριες μηχανές (ηλεκτρονικά ελεγχόμενες) και γεννήτριες ηλεκτροπαραγωγής (τετράχρονες με υψηλές ταχύτητες περιστροφής).

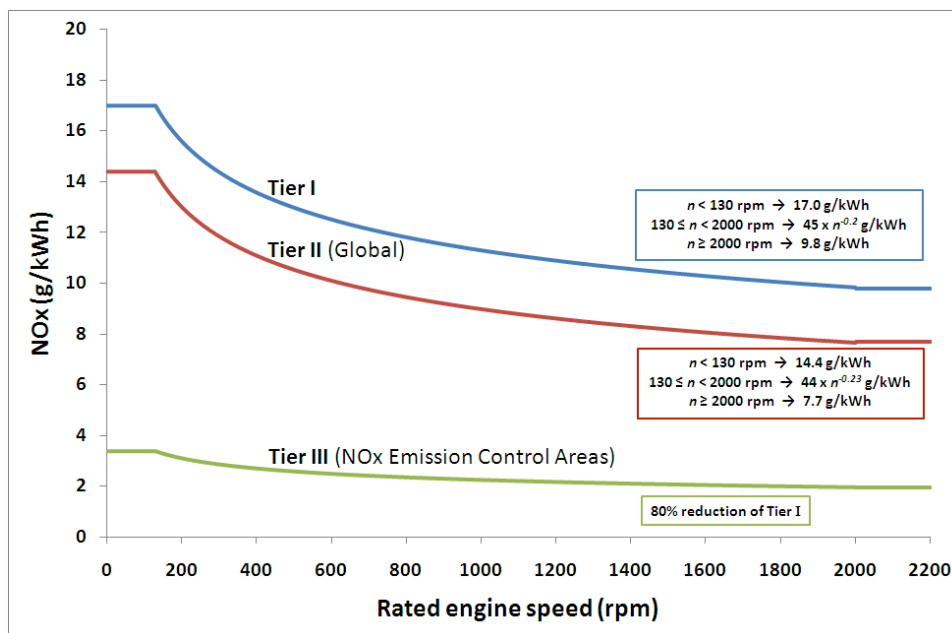
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη προήλθαν από λειτουργικά σκάφη διαφόρων τύπων και ελήφθησαν κατά τη διάρκεια των εργοστασιακών δοκιμών (shop-test) και των δοκιμών θαλάσσης (sea-trials).

3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

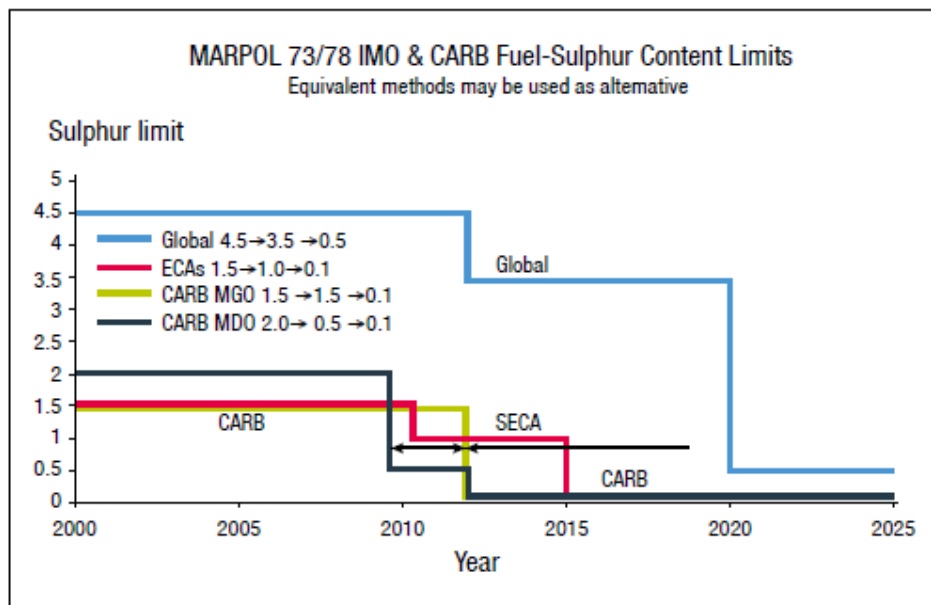
Στα τέλη της δεκαετίας του 1990, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization - IMO) έλαβε αποφάσεις και θέσπισε κανονισμούς με σκοπό τη μείωση των ρύπων που εκπέμπουν οι ναυτικοί κινητήρες Diesel. Η δράση αυτή επιβεβαιώνει την παγκόσμια ανησυχία σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος. Η συμμόρφωση με τους κανονισμούς μείωσης των εκπομπών ρύπων αναγκάζει πλοιοκτήτες και κατασκευαστές ναυτικών κινητήρων Diesel να αναζητήσουν τεχνικές λύσεις με σκοπό τη ταυτόχρονη μείωση των ρύπων, αλλά και της συνολικής ενεργειακής απόδοσης του πλοίου χωρίς να θίγεται η ασφάλεια του.

Πιο αναλυτικά, ο IMO έχει εισάγει στη MARPOL 73/78 το κεφάλαιο VI (Annex VI), το οποίο θέτει όρια εκπομπής ρύπων. Στο εν λόγω κεφάλαιο, μετά από αναθεώρηση το 2010 τίθενται τα όρια εκπομπής οξειδίων του αζώτου (NO_x) και θείου (SO_x) σε συγκεκριμένες θαλάσσιες και παράκτιες περιοχές (Emission Control Areas- ECAs). Αναφορικά με τις εκπομπές NO_x , υπάρχουν τρία επίπεδα κανονισμών (Tiers) με συγκεκριμένα χρονικά παράθυρα ισχύος. Το επίπεδο III (Tier III), που ισχύει από 1-1-2016, αφορά μόνο στις περιοχές ECA και για έναν αργόστροφο ναυτικό κινητήρα ($RPM < 130$) προβλέπει μείωση των εκπομπών των NO_x της τάξης του 75% σε σύγκριση με το επί του παρόντος ισχύον επίπεδο II (Tier II), όπως φαίνεται στον Πίνακα 1-1.

Οι εκπομπές SO_x από ναυτικούς κινητήρες ελέγχονται σύμφωνα με την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο. Συνεπώς, το Annex-VI θέτει όρια περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο για δρομολόγια μέσα και έξω από τις περιοχές ECA. Πιο συγκεκριμένα, τα όρια της περιεκτικότητας σε θείο δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν το 3,5% από το 2012, και το 0,5% από το 2020 έξω από τις περιοχές ECA. Για πλόες στις περιοχές ECA, τα αντίστοιχα όρια είναι 1,5% από το Μάρτιο του 2010, και 0,1% από την αρχή του 2015. Στο πλαίσιο των κανονισμών για περιορισμό των οξειδίων του θείου τα σκάφη που εκτελούν δρομολόγια σε περιοχές ECA υποχρεούνται να φέρουν καύσιμο επιτρεπτής περιεκτικότητας σε θείο και να καταγράφουν την ημερομηνία και τη διαδικασία μετάβασης στο καύσιμο αυτό. Επίσης, το κεφάλαιο VI επιτρέπει εναλλακτικά μέτρα για να μειωθούν οι τελικές εκπομπές θείου, όπως συσκευές καθαρισμού αερίων εγκατεστημένες πριν την έξοδό τους στην ατμόσφαιρα (exhaust gas after-treatment scrubber).



Εικόνα 1 Όρια εκπομπών NO_x

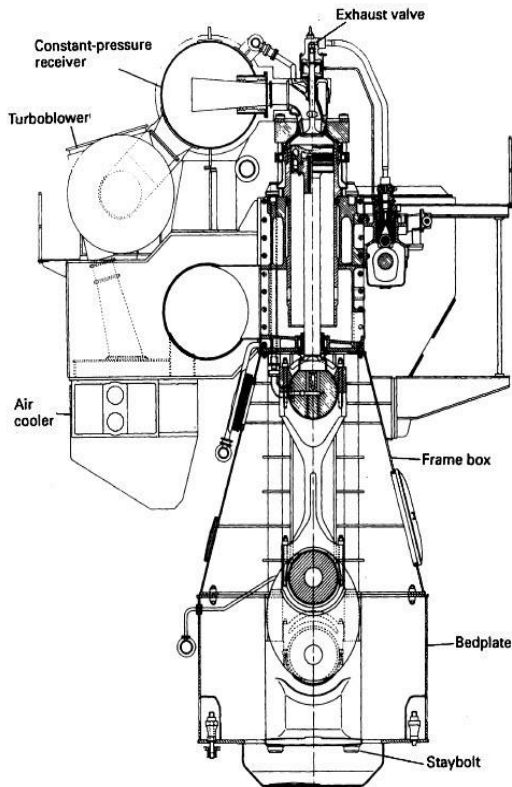


Εικόνα 2 Όρια εκπομπών Sox

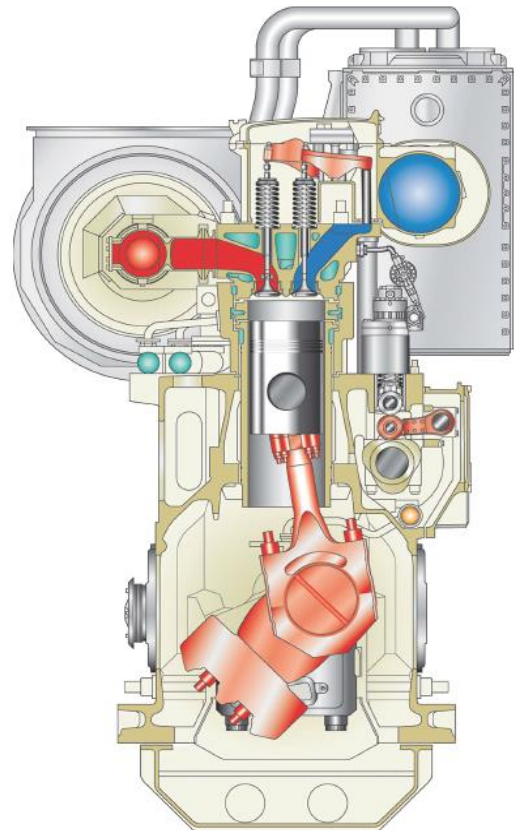
4 ΝΑΥΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DIESEL-ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η εργασία αυτή πραγματεύεται τη λειτουργία μεγάλων ναυτικών κινητήρων Ντήζελ. Οι κινητήρες που μελετώνται είναι, είτε βραδύστροφοι 2-Χ κινητήρες είτε 4-Χ κινητήρες Η/Ζ πολύ υψηλότερων ταχυτήτων περιστροφής (~7-10 φορές ταχύτερες). Όσον αφορά τις κύριες μηχανές μία δεύτερη διαφοροποίηση αφορά στον τρόπο έγχυσης καυσίμου. Οι παλαιάς τεχνολογίας κινητήρες διέθεταν σύστημα έγχυσης ελεγχόμενο μηχανικά από τον εκκεντροφόρο άξονα, ενώ οι νεότερες διαθέτουν ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα έγχυσης καυσίμου (γνωστό και ως common rail).



Εικόνα 3 δίχρονος ναυτικός κινητήρας



Εικόνα 4 τετράχρονος ναυτικός κινητήρας

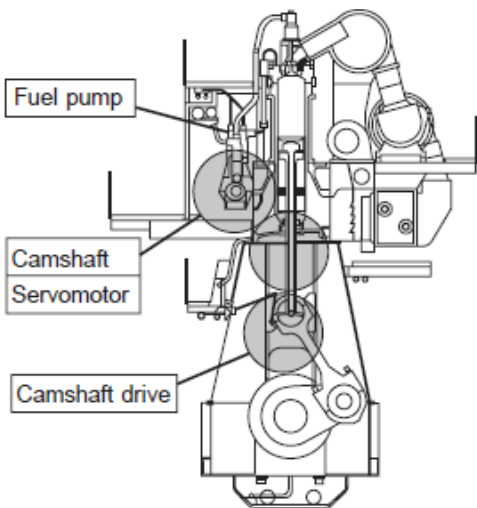
4.2 Σύστημα έγχυσης κοινού οχετού (Common Rail System)

Το Σύστημα Έγχυσης Κοινού Οχετού (CRS), αποτελεί τη βασική διαφοροποίηση των μοντέρνων μηχανών. Στο CRS η αντλία χαμηλής πίεσης (Fuel Pump) καταθλίβει το καύσιμο από τη δεξαμενή καυσίμου στην αντλία υψηλής πίεσης (High Pressure Pump). Η τελευταία αυξάνει την πίεση του καυσίμου, το οποίο συλλέγεται σε έναν κοινό συλλέκτη υπό υψηλή πίεση και στη συνέχεια διοχετεύεται στους εγχυτήρες της μηχανής. Μέσω μιας ηλεκτρονικά ελεγχόμενης μονάδας ρυθμίζεται το προφίλ έγχυσης του καυσίμου σε κάθε εγχυτήρα. Συγκεκριμένα, η εν λόγω μονάδα καθορίζει για κάθε εγχυτήρα ξεχωριστά τον χρονισμό της έγχυσης και την ποσότητα του εγχυόμενου καυσίμου. Όταν οι εγχυτήρες ενεργοποιούνται μέσω μιας υδραυλικής βαλβίδας ανυψώνεται η βελόνα και το καύσιμο εγχύεται στον κύλινδρο.

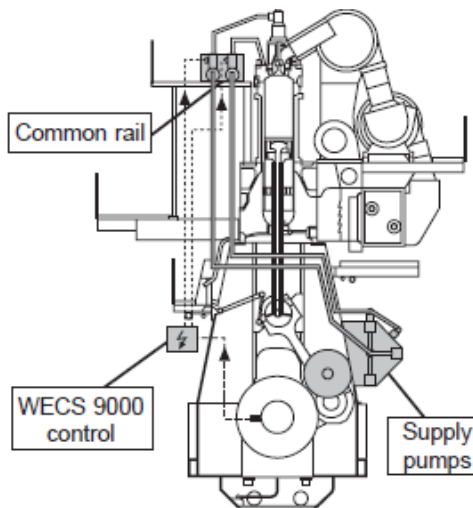
Τα κυριότερα προτερήματα του CRS σε σχέση με τα μηχανικά συστήματα έγχυσης είναι τα ακόλουθα (Wärtsilä Switzerland Ltd, 2004):

- Η υψηλή πίεση έγχυσης ελέγχεται ανεξάρτητα από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα.
- Ακρίβεια στη ρύθμιση της ποσότητας του εγχυόμενου καυσίμου σε κάθε εγχυτήρα.
- Ευελιξία στον καθορισμό του χρονισμού έγχυσης, για κάθε εγχυτήρα.
- Δυνατότητα πολλαπλών ψεκασμών σε έναν κύκλο λειτουργίας.
- Ελαχιστοποίηση των διαφορών στην εγχυόμενη μάζα καυσίμου και στον χρονισμό της έγχυσης μεταξύ των κυλίνδρων.
- Ελαχιστοποίηση των διαφορών της εγχυόμενης μάζας καυσίμου μεταξύ των διαδοχικών κύκλων.

Mechanical Fuel Injection System



Common-Rail Fuel Injection System



Εικόνα 5 Τομή κλασσικής και ηλεκτρονικής μηχανής

4.3 Μηχανισμός της Καύσης

Η ανάφλεξη του καυσίμου στον κινητήρα ντίζελ επιτυγχάνεται με την υψηλή θερμοκρασία που προκύπτει από τη συμπίεση του αέρα πλήρωσης των κυλίνδρων. Η καύση του σπρέι καυσίμου είναι ένας συνδυασμός μερικώς προαναμεμειγμένης και κυρίως καύσης διάχυσης. Η διαδικασία της καύσης μπορεί να περιγράψει σε τέσσερα στάδια, συμπεριλαμβανομένης και της καθυστέρησης ανάφλεξης, τα οποία είναι κοινά σε όλους τους κινητήρες ντίζελ και απεικονίζονται στο σχήμα 3-1:

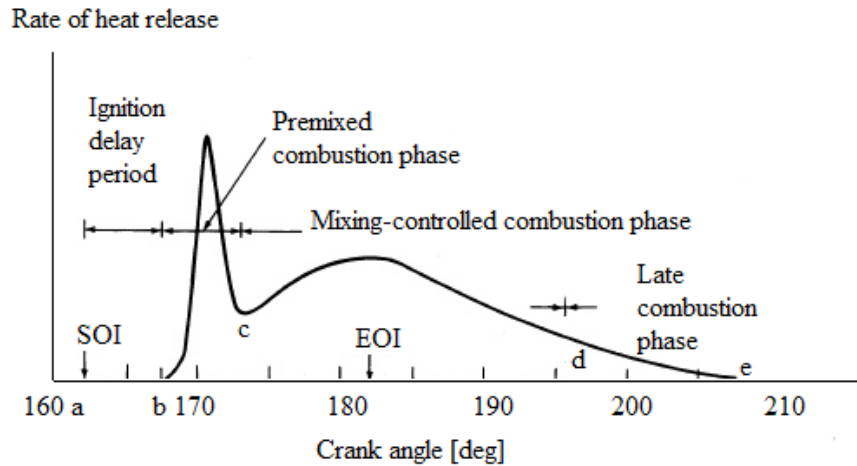


Figure 4-1 Στάδια καύσης σε διάγραμμα ρυθμού έκλυσης θερμότητας

Η καθυστέρηση ανάφλεξης (a-b) ορίζεται ως το χρονικό διάστημα από τη στιγμή που ξεκινά η έγχυση του καυσίμου (SOI) μέχρι την ανάφλεξη.

Προαναμεμειγμένη φάση καύσης (b-c) είναι η πρώτη φάση και αποτελεί την καύση του καυσίμου το οποίο έχει αναμιχθεί με τον αέρα, ώστε να βρίσκεται εντός των ορίων αναφλεξιμότητας, κατά τη διάρκεια της περιόδου καθυστέρησης ανάφλεξης. Η φάση αυτή λαμβάνει χώρα ταχέως μέσα σε λίγες μοίρες γωνίας στροφάλου και χαρακτηρίζεται από υψηλά ποσοστά απελευθέρωσης θερμότητας.

Η επόμενη φάση είναι η ελεγχόμενη καύση (c-d). Αφού το καύσιμο και ο αέρας που προαναμιχθήκαν κατά τη διάρκεια της καθυστέρησης ανάφλεξης καταναλωθούν, η ταχύτητα καύσης ελέγχεται από το ρυθμό με τον οποίο το μίγμα καθίσταται διαθέσιμο για καύση. Η έγχυση καυσίμου τελειώνει σε αυτή τη φάση (EOI).

Η τελευταία φάση είναι η βραδεία καύση που είναι καύσης διάχυσης (d-e). Η καύση συνεχίζεται σε ένα χαμηλότερο ποσοστό σε προχωρημένο στάδιο της φάσης εκτόνωσης. Αυτή είναι η καύση οποιονδήποτε άκαυστων υγρών καυσίμων και αιθάλης, δίχως επιπλέον εισαγωγή καυσίμου. Η καύση σε ένα κινητήρα Ντίζελ λαμβάνει χώρα σε όλο τον θάλαμο σε ένα εύρος αναλογιών ισοδυναμίας καυσίμου-αέρα που προσδιορίζεται από την ανάμιξη καυσίμου-αέρα πριν και κατά τη διάρκεια των φάσεων της καύσης. Σε γενικές γραμμές ένα σημαντικό μέρος της καύσης λαμβάνει χώρα κάτω από πλούσιες σε καύσιμο συνθήκες στο μέτωπο της δέσμης καυσίμου. Αυτό παράγει σημαντικές ποσότητες στερεού άνθρακα, που συνήθως αναφέρονται ως αιθάλη.

5 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΗFO & ΜGO

5.1 Βαρύ Καύσιμο (ΗFO)

Το βαρύ καύσιμο είναι ένα μείγμα που προκύπτει από διάφορες διεργασίες διύλισης. Το καύσιμο είναι παχύρρευστο και απαιτεί θέρμανση για την αποθήκευση και την εν συνεχεία καύση του. Είναι ένα πολύπλοκο μίγμα υψηλών μοριακών ενώσεων (περίπου 20-70 άτομα άνθρακα ανά μόριο) και έχει τυπικό σημείο ζέσεως 350 – 650° C. Οι φυσικές ιδιότητες των καυσίμων που χαρακτηρίζονται ως ΗFO πρέπει να πληρούν το πρότυπο ΙFO380 κατά ΙSO 8217 όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακας 5-1.

5.2 Ναυτιλιακό Καύσιμο Ντήζελ (ΜGO)

Το ΜGO είναι το μόνο καύσιμο από το πρότυπο ΙSO 8217 που μπορεί να εκπληρώσει την απαίτηση περιεκτικότητας 0,1% σε θείο των περιοχών ΕCA. Ένα χαρακτηριστικό του ΜGO είναι το γεγονός ότι μπορεί να παραχθεί από πολλές διαφορετικές διαδικασίες διύλισης. Σε γενικές γραμμές, μπορεί να ειπωθεί ότι το ΜGO αποτελείται από 10-25 άτομα άνθρακα ανά μόριο. Τυπικά σημεία βρασμού είναι 170 – 390° C και λόγω του εύρους αυτού μπορεί να είναι δύσκολο να διαχωριστούν τα κλάσματα αποτελεσματικά. Η ακριβής σύσταση εξαρτάται συνήθως από την προέλευση του αργού και λόγω αυτού μεγάλες εταιρείες όπως η ΜΑΝ συστήνουν τακτικό έλεγχο των καυσίμων που λαμβάνονται, ειδικά αν προέρχονται από νέους παρόχους.

Οι φυσικές ιδιότητες των καυσίμων που χαρακτηρίζονται ως ΜGO πρέπει να πληρούν το πρότυπο DMA κατά ΙSO 8217 που παρουσιάζεται, όπως προαναφέρθηκε στον παρακάτω πίνακα μαζί με τις ιδιότητες του ΗFO.

Fuel Type	ΗFO/ΙFO-380	ΜGO/DMA
Boiling point (°C)	150-600	170-390
Flashpoint (°C)	>60	>60
Auto ignition temperature (°C)	>230	>230
Lower heating value (kcal/kg)	9790	10034
Density (kg/m ³)	<991	<890
Viscosity (cSt)	<380	1.5-6
Sulfur content (%)	1%-3.5%	0.01%-1%
Cetane number	33.8	50.2

Πίνακας 5-1 Ιδιότητες των ΗFO & ΜGO

5.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΤΥΠΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5-1 παραπάνω οι σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο καυσίμων που εξετάζονται είναι το ιξώδες, η πυκνότητα και οι χαμηλότερες τιμές θερμογόνου δύναμης. Η πιο εντυπωσιακή διαφορά εντοπίζεται στην τιμή του ιξώδους. Λόγω του εξαιρετικά υψηλού ιξώδους του το ΗFO απαιτεί θέρμανση περίπου στους 120-130 ° C για τη σωστή ροή μέσα από τις αντλίες και τους εγχυτήρες. Συγκριτικά το ιξώδες του ΜGO είναι εξαιρετικά χαμηλό, μια ιδιότητα που οδηγεί, ενδεχομένως, σε προβλήματα στη λειτουργία του συστήματος έγχυσης του καυσίμου, το οποίο είναι βασισμένο στις προδιαγραφές του ΗFO.

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι για την εύρυθμη λειτουργία των αντλιών καυσίμου ένα ελάχιστο ιξώδες καυσίμου της τάξης των 2cSt πρέπει να είναι επιτεύξιμο ανά πάσα στιγμή (σε ορισμένες περιπτώσεις, η επιθυμητή τιμή για την ασφαλή λειτουργία μπορεί να αυξηθεί έως 5cSt). Υπάρχουν δύο βασικοί λόγοι για την ανωτέρω απαίτηση, ο πρώτος είναι οι ανάγκες λίπανσης και ο δεύτερος η πρόληψη διαρροών.

Η μειωμένη λιπαντική ικανότητα ΤΟΥ ΜGO προκύπτει εξαιτίας του ακόλουθου μηχανισμού: το χαμηλότερο ιξώδες οδηγεί σε μειωμένο πάχος του φιλμ καυσίμου μεταξύ του εμβόλου της αντλίας και του περιβλήματός της, και στις βαλβίδες καυσίμου κάτι που μακροπρόθεσμα οδηγεί σε υπερβολική φθορά και πιθανό κόλλημα, προκαλώντας βλάβη στο σύστημα έγχυσης.

Οι διαρροές της αντλίας κατά τη χρήση ΜGO μπορεί να γίνουν σημαντικές, με αποτέλεσμα την μείωση της ογκομετρικής παροχής καυσίμου. Τα καύσιμα χαμηλού ιξώδους μπορεί να διαρρεύσουν γύρω από τα στροφέα της αντλίας, εμποδίζοντας το πλοίο να επιτύχει την πλήρη ισχύ του. Διαρροή καυσίμου μπορεί επίσης να προκύψει μεταξύ του χιτωνίου της αντλίας καυσίμου και του εμβόλου ή διαμέσου των ωστηρίων των βαλβίδων αναρρόφησης σε κινητήρες χαμηλών ταχυτήτων περιστροφής. Αυτές οι διαρροές μπορεί να οδηγήσουν σε υψηλότερη θέση της ένδειξη φορτίου του κανόνα καυσίμου και μπορεί να απαιτηθεί προσαρμογή του ρυθμιστή στροφών σε περιπτώσεις μακροχρόνιας λειτουργίας με καύσιμα χαμηλού ιξώδους. Τέλος, η διαρροή μπορεί να εμποδίσει την αντλία από το να επιτύχει την επιθυμητή πίεση, κάτι που οδηγεί σε ανεπαρκή πίεση ψεκασμού. Τα αποτελέσματα ενός τέτοιου γεγονότος μπορεί να κυμαίνονται από κακή απόδοση του κινητήρα, σε αδυναμία εκκίνησης στα χαμηλά φορτία (όταν ο όγκος καυσίμου είναι χαμηλός και ακολούθως η πίεση).

Επίσης, δεν θα πρέπει να αγνοηθούν οι επιδράσεις των διαφορών πυκνότητας των δύο καυσίμων. Το ΜGO έχει σημαντικά χαμηλότερη πυκνότητα από το ΗFO, μία διαφορά που διατηρείται ακόμη και μετά τη θέρμανσή του. Αυτό θα οδηγήσει σε λιγότερη ενέργεια ανά όγκο καυσίμου και, συνεπώς, απαίτηση περισσότερου όγκου καυσίμου που πρέπει να παρέχεται στον κινητήρα για διατήρηση ισοδύναμης ισχύος. Αυτό μπορεί να είναι ένα πρόβλημα στους τετράχρονους κινητήρες, όπου η διαφορά στην απόδοση ανά μονάδα όγκου του καυσίμου που παρέχεται στον κινητήρα μπορεί να είναι της τάξης του 6 έως 15%, συνυπολογίζοντας την αυξημένη διαρροή των αντλιών καυσίμου. Αυτή η κατάσταση επιδεινώνεται σε παλαιότερους κινητήρες με φθαρμένες αντλίες.

Τέλος, όπως μπορεί να παρατηρηθεί από τον πίνακα ιδιοτήτων το ΜGO έχει υψηλότερη θερμογόνο από το ΗFO. Η διαφορά στην κατώτερη θερμογόνο δύναμη είναι περίπου 1% και η διαφορά στην πυκνότητα τους είναι στην περιοχή 10 έως 16%. Έτσι, η διαφορά στη θερμογόνο δύναμη δεν μπορεί να εξουδετερώσει τις επιδράσεις της χαμηλότερης πυκνότητας του ΜGO.

6 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν ένας συμβατικός κινητήρας πρόωσης, τρεις ηλεκτρονικά ελεγχόμενοι κινητήρες πρόωσης και δύο γεννήτριες ηλεκτροπαραγωγής. Οι κύριοι κινητήρες είναι όλοι δίχρονοι βραδύστροφοι ενώ οι γεννήτριες είναι τετράχρονες με μεγάλες ταχύτητες περιστροφής. Τα αναλυτικά τους στοιχεία περιγράφονται στην κύρια εργασία και στο πλαίσιο της περίληψης περιλαμβάνονται μόνον οι πίνακες των τεχνικών χαρακτηριστικών.

Engine	Location	Data-Source	Fuel	Load Examined
S60MC-C	Europe-At Sea	Commercial On-Board System	MGO & HFO	25%, 50%, 75%
S60MC-C	Europe-At Sea	In-house system	MGO & HFO	25%, 50%, 75%
G70ME-C9.2	Daewoo- Mangalia	Sea -Trials	MGO & HFO	50%, 75% ,80%, 100%
S60ME-C8	CMD - China	Shop Test	MGO & HFO	50%, 75%, 90%, 100%
S50ME-B9	Hyundai - Korea	Shop Test	MGO & HFO	50%, 72%
L23_30H	Daewoo- Mangalia	Shop Test	MGO & HFO	25%, 60%, 70%
6DE-18	Hellenic Petroleum – Megara (Greece)	Sea Trials	MGO & HFO	25%, 50%, 75%, 90%

Πίνακας 6-1 Μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν

6.1 Γεννήτρια L23_30H

MAIN ENGINE DATA x

Engine Configuration

Engine Type 2 Str 4 Str

Constant Speed Engine Y/N

Engine Technology (Mechanical, Electronic,...)

Geometrical Data

Bore (mm) <input type="text" value="225.0"/>	Number of Blocks <input type="text" value="1"/>
Stroke (mm) <input type="text" value="300.0"/>	Number of T/C <input type="text" value="1"/>
Connecting Rod Length (mm) <input type="text" value="600.0"/>	Number of Air Coolers <input type="text" value="1"/>
Compression Ratio <input type="text" value="15.0"/>	Number of Air Filters <input type="text" value="1"/>
Number of Cylinders <input type="text" value="6"/>	Number of Inlet Manifolds <input type="text" value="1"/>
Reference Engine Speed (rpm) <input type="text" value="900.0"/>	Number of Exhaust Manifolds <input type="text" value="1"/>
Blower Pressure (mmW) <input type="text" value="0."/>	

<p style="text-align: center;">Generator Efficiency</p> <p><input type="button" value="Set Using Default Values"/></p> <p>10% Load Efficiency: <input type="text" value="94.10"/></p> <p>25% Load Efficiency: <input type="text" value="94.10"/></p> <p>50% Load Efficiency: <input type="text" value="96.30"/></p> <p>75% Load Efficiency: <input type="text" value="96.60"/></p> <p>90% Load Efficiency: <input type="text" value="96.60"/></p> <p>100% Load Efficiency: <input type="text" value="96.40"/></p> <p>110% Load Efficiency: <input type="text" value="96.30"/></p> <p>Max. Gen. Efficiency (%) <input type="text" value="100.00"/></p>	<p style="text-align: center;">Mechanical Efficiency</p> <p><input type="button" value="Set Using Default Values"/></p> <p>10% Load <input type="text" value="80.80"/></p> <p>25% Load <input type="text" value="85.50"/></p> <p>50% Load: <input type="text" value="90.20"/></p> <p>75% Load <input type="text" value="93.10"/></p> <p>85-90% Load <input type="text" value="94.00"/></p> <p>100% Load <input type="text" value="95.00"/></p> <p>110% Load <input type="text" value="95.00"/></p> <p>Max Mechanical Efficiency (%) <input type="text" value="94.00"/></p>
---	--

Engine Info:

Engine Type: Propeller Pitch:

Engine Serial No.:

Πίνακας 6-2 Τεχνικά χαρακτηριστικά γεννήτριας

6.2 Γεννήτρια DE-18

MAIN ENGINE DATA

Engine Configuration

Engine Type 2 Str 4 Str

Constant Speed Engine Y/N

Engine Technology (Mechanical, Electronic,...)

Geometrical Data

Bore (mm)	<input type="text" value="185.0"/>	Number of Blocks	<input type="text" value="1"/>
Stroke (mm)	<input type="text" value="280.0"/>	Number of T/C	<input type="text" value="1"/>
Connecting Rod Length (mm)	<input type="text" value="524.9"/>	Number of Air Coolers	<input type="text" value="1"/>
Compression Ratio	<input type="text" value="16.5"/>	Number of Air Filters	<input type="text" value="1"/>
Number of Cylinders	<input type="text" value="6"/>	Number of Inlet Manifolds	<input type="text" value="1"/>
Reference Engine Speed (rpm)	<input type="text" value="900.0"/>	Number of Exhaust Manifolds	<input type="text" value="1"/>
Blower Pressure (mmW)	<input type="text" value="0."/>		

Generator Efficiency

Set Using

10% Load Efficiency:	<input type="text" value="90.40"/>
25% Load Efficiency:	<input type="text" value="90.40"/>
50% Load Efficiency:	<input type="text" value="94.00"/>
75% Load Efficiency:	<input type="text" value="94.90"/>
90% Load Efficiency:	<input type="text" value="95.00"/>
100% Load Efficiency:	<input type="text" value="95.00"/>
110% Load Efficiency:	<input type="text" value="94.90"/>
Max. Gen. Efficiency (%)	<input type="text" value="100.00"/>

Mechanical Efficiency

Set Using

10% Load	<input type="text" value="80.80"/>
25% Load	<input type="text" value="85.50"/>
50% Load:	<input type="text" value="90.20"/>
75% Load	<input type="text" value="93.10"/>
85-90% Load	<input type="text" value="94.00"/>
100% Load	<input type="text" value="95.00"/>
110% Load	<input type="text" value="95.00"/>
Max Mechanical Efficiency (%)	<input type="text" value="94.00"/>

Engine Info:

Engine Type: Propeller Pitch:

Engine Serial No.:

Πίνακας 6-3 Τεχνικά χαρακτηριστικά γεννήτριας

6.3 Κύρια μηχανή 6S60MC (κλασσική μηχανή με εκκεντροφόρο)

MAIN ENGINE DATA

Engine Configuration

Engine Type 2 Str 4 Str

Constant Speed Engine Y/N

Engine Technology (Mechanical, Electronic,...)

Geometrical Data

Bore (mm)	<input type="text" value="600.0"/>	Number of Blocks	<input type="text" value="1"/>
Stroke (mm)	<input type="text" value="2292.0"/>	Number of T/C	<input type="text" value="2"/>
Connecting Rod Length (mm)	<input type="text" value="2627.8"/>	Number of Air Coolers	<input type="text" value="2"/>
Compression Ratio	<input type="text" value="17.9"/>	Number of Air Filters	<input type="text" value="2"/>
Number of Cylinders	<input type="text" value="6"/>	Number of Inlet Manifolds	<input type="text" value="1"/>
Reference Engine Speed (rpm)	<input type="text" value="97.0"/>	Number of Exhaust Manifolds	<input type="text" value="1"/>
Blower Pressure (mmW)	<input type="text" value="350."/>		

Generator Efficiency

Set Using

10% Load Efficiency:	<input type="text" value="86.24"/>
25% Load Efficiency:	<input type="text" value="90.92"/>
50% Load Efficiency:	<input type="text" value="94.26"/>
75% Load Efficiency:	<input type="text" value="95.21"/>
90% Load Efficiency:	<input type="text" value="95.40"/>
100% Load Efficiency:	<input type="text" value="95.50"/>
110% Load Efficiency:	<input type="text" value="95.50"/>
Max. Gen. Efficiency (%)	<input type="text" value="100.00"/>

Mechanical Efficiency

Set Using

10% Load	<input type="text" value="80.75"/>
25% Load	<input type="text" value="85.50"/>
50% Load:	<input type="text" value="90.25"/>
75% Load	<input type="text" value="93.10"/>
85-90% Load	<input type="text" value="94.05"/>
100% Load	<input type="text" value="95.00"/>
110% Load	<input type="text" value="95.00"/>
Max Mechanical Efficiency (%)	<input type="text" value="94.00"/>

Engine Info:

Engine Type: Propeller Pitch:

Engine Serial No.:

Πίνακας 6-4 Τεχνικά χαρακτηριστικά κινητήρα

6.4 Κύρια μηχανή 6G70MEC-9.2 (ηλεκτρονικά ελεγχόμενη)

MAIN ENGINE DATA

Engine Configuration

Engine Type 2 Str 4 Str

Constant Speed Engine Y/N

Engine Technology (Mechanical, Electronic,...)

Geometrical Data

Bore (mm)	<input type="text" value="700.0"/>	Number of Blocks	<input type="text" value="1"/>
Stroke (mm)	<input type="text" value="3256.0"/>	Number of T/C	<input type="text" value="1"/>
Connecting Rod Length (mm)	<input type="text" value="3250.1"/>	Number of Air Coolers	<input type="text" value="1"/>
Compression Ratio	<input type="text" value="29.5"/>	Number of Air Filters	<input type="text" value="1"/>
Number of Cylinders	<input type="text" value="6"/>	Number of Inlet Manifolds	<input type="text" value="1"/>
Reference Engine Speed (rpm)	<input type="text" value="69.5"/>	Number of Exhaust Manifolds	<input type="text" value="1"/>
Blower Pressure (mmW)	<input type="text" value="350"/>		

Generator Efficiency

10% Load Efficiency:	<input type="text" value="86.24"/>
25% Load Efficiency:	<input type="text" value="90.92"/>
50% Load Efficiency:	<input type="text" value="94.26"/>
75% Load Efficiency:	<input type="text" value="95.21"/>
90% Load Efficiency:	<input type="text" value="95.40"/>
100% Load Efficiency:	<input type="text" value="95.50"/>
110% Load Efficiency:	<input type="text" value="95.50"/>
Max. Gen. Efficiency (%)	<input type="text" value="100.00"/>

Mechanical Efficiency

10% Load	<input type="text" value="82.00"/>
25% Load	<input type="text" value="87.50"/>
50% Load:	<input type="text" value="91.70"/>
75% Load	<input type="text" value="93.60"/>
85-90% Load	<input type="text" value="94.00"/>
100% Load	<input type="text" value="94.70"/>
110% Load	<input type="text" value="94.90"/>
Max Mechanical Efficiency (%)	<input type="text" value="94.00"/>

Engine Info:

Engine Type: Propeller Pitch:

Engine Serial No.:

Πίνακας 6-5 Τεχνικά χαρακτηριστικά κινητήρα

6.5 Κύρια μηχανή S60ME-C8 (ηλεκτρονικά ελεγχόμενη)

MAIN ENGINE DATA

Engine Configuration

Engine Type 2 Str 4 Str

Constant Speed Engine Y/N

Engine Technology (Mechanical, Electronic,...)

Geometrical Data

Bore (mm)	<input type="text" value="500.0"/>	Number of Blocks	<input type="text" value="1"/>
Stroke (mm)	<input type="text" value="2400.0"/>	Number of T/C	<input type="text" value="1"/>
Connecting Rod Length (mm)	<input type="text" value="2540.2"/>	Number of Air Coolers	<input type="text" value="1"/>
Compression Ratio	<input type="text" value="25.0"/>	Number of Air Filters	<input type="text" value="1"/>
Number of Cylinders	<input type="text" value="6"/>	Number of Inlet Manifolds	<input type="text" value="1"/>
Reference Engine Speed (rpm)	<input type="text" value="93.0"/>	Number of Exhaust Manifolds	<input type="text" value="1"/>
Blower Pressure (mmW)	<input type="text" value="350"/>		

Generator Efficiency

10% Load Efficiency:	<input type="text" value="100.00"/>
25% Load Efficiency:	<input type="text" value="100.00"/>
50% Load Efficiency:	<input type="text" value="100.00"/>
75% Load Efficiency:	<input type="text" value="100.00"/>
90% Load Efficiency:	<input type="text" value="100.00"/>
100% Load Efficiency:	<input type="text" value="100.00"/>
110% Load Efficiency:	<input type="text" value="100.00"/>
Max. Gen. Efficiency (%)	<input type="text" value="100.00"/>

Mechanical Efficiency

10% Load	<input type="text" value="84.00"/>
25% Load	<input type="text" value="86.40"/>
50% Load:	<input type="text" value="91.00"/>
75% Load	<input type="text" value="93.00"/>
85-90% Load	<input type="text" value="93.70"/>
100% Load	<input type="text" value="94.00"/>
110% Load	<input type="text" value="94.00"/>
Max Mechanical Efficiency (%)	<input type="text" value="94.00"/>

Engine Info:

Engine Type: Propeller Pitch:

Engine Serial No.:

Πίνακας 6-6 Τεχνικά χαρακτηριστικά κινητήρα

6.6 Κύρια μηχανή S50ME-B9 (ημι-ηλεκτρονικά ελεγχόμενη)

MAIN ENGINE DATA X

Engine Configuration

Engine Type 2 Str 4 Str

Constant Speed Engine Y/N

Engine Technology (Mechanical, Electronic,...)

Geometrical Data

Bore (mm)	<input type="text" value="500.0"/>	Number of Blocks	<input type="text" value="1"/>
Stroke (mm)	<input type="text" value="2214.0"/>	Number of T/C	<input type="text" value="1"/>
Connecting Rod Length (mm)	<input type="text" value="2185.2"/>	Number of Air Coolers	<input type="text" value="1"/>
Compression Ratio	<input type="text" value="26.5"/>	Number of Air Filters	<input type="text" value="1"/>
Number of Cylinders	<input type="text" value="6"/>	Number of Inlet Manifolds	<input type="text" value="1"/>
Reference Engine Speed (rpm)	<input type="text" value="99.0"/>	Number of Exhaust Manifolds	<input type="text" value="1"/>
Blower Presssure (mmW)	<input type="text" value="350."/>		

<p style="text-align: center;">Generator Efficiency</p> <p><input type="button" value="Set Using Default Values"/></p> <p>10% Load Efficiency: <input type="text" value="86.24"/></p> <p>25% Load Efficiency: <input type="text" value="90.92"/></p> <p>50% Load Efficiency: <input type="text" value="94.26"/></p> <p>75% Load Efficiency: <input type="text" value="95.21"/></p> <p>90% Load Efficiency: <input type="text" value="95.40"/></p> <p>100% Load Efficiency: <input type="text" value="95.50"/></p> <p>110% Load Efficiency: <input type="text" value="95.50"/></p> <p>Max. Gen. Efficiency (%) <input type="text" value="100.00"/></p>	<p style="text-align: center;">Mechanical Efficiency</p> <p><input type="button" value="Set Using Default Values"/></p> <p>10% Load <input type="text" value="83.00"/></p> <p>25% Load <input type="text" value="87.30"/></p> <p>50% Load: <input type="text" value="91.50"/></p> <p>75% Load <input type="text" value="93.30"/></p> <p>85-90% Load <input type="text" value="94.00"/></p> <p>100% Load <input type="text" value="94.40"/></p> <p>110% Load <input type="text" value="94.70"/></p> <p>Max Mechanical Efficiency (%) <input type="text" value="94.00"/></p>
---	--

Engine Info:

Engine Type: Propeller Pitch:

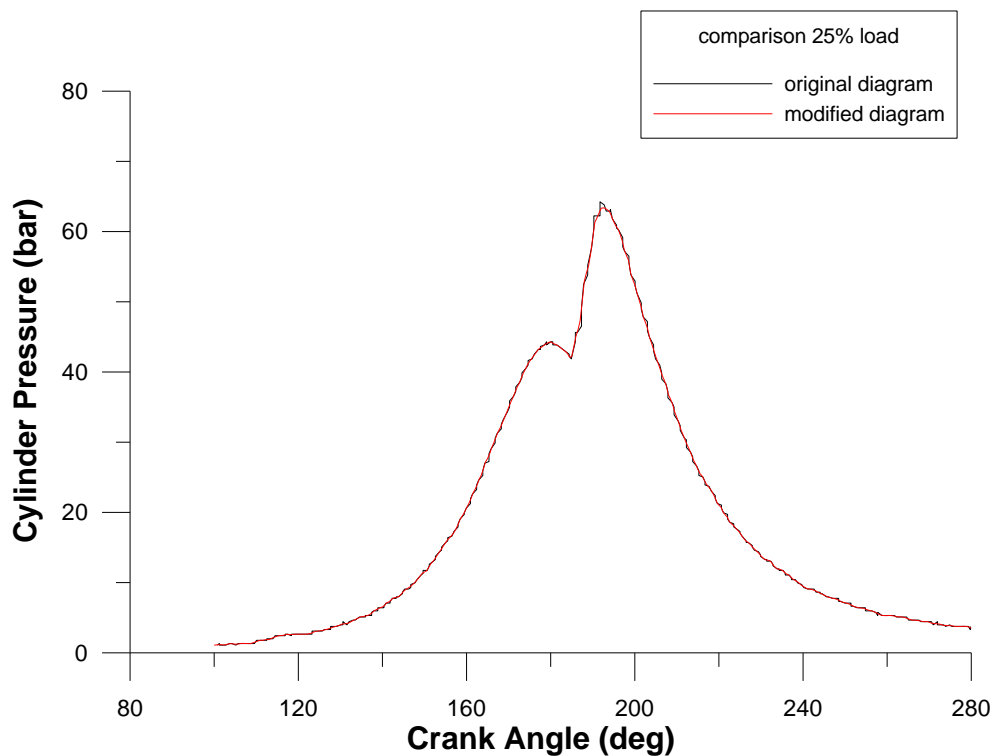
Engine Serial No.:

Πίνακας 6-7 Τεχνικά χαρακτηριστικά κινητήρα

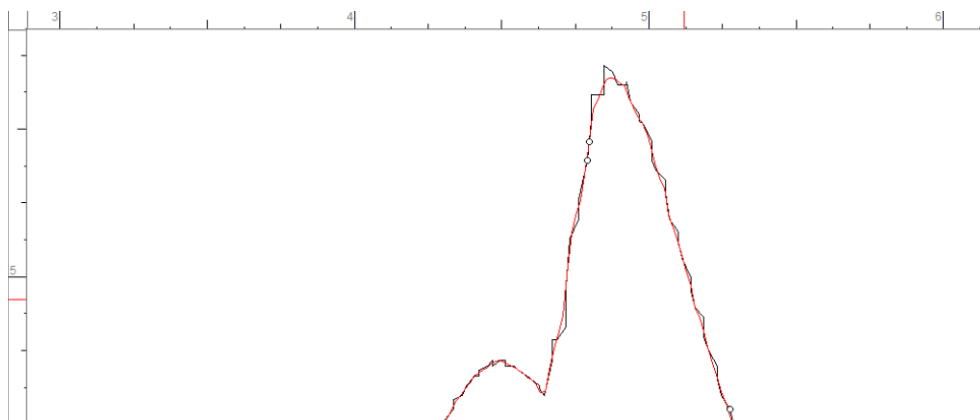
7 Επεξεργασία των Πειραματικών Δεδομένων

7.1 Ψηφιοποίηση των μετρήσεων από το εγκατεστημένο εμπορικό σύστημα

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή ως δεδομένα λειτουργίας των κινητήρων χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές πίεσης των κυλίνδρων συναρτήσει της γωνίας στροφάλου. Στη περίπτωση των μετρήσεων που ελήφθησαν από το εγκατεστημένο σύστημα έγινε ψηφιοποίηση των τιμών ώστε να εξαχθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα πίεσης κυλίνδρου και πίεσης έγχυσης καυσίμου συναρτήσει της γωνίας στροφάλου. Οι τιμές που ελήφθησαν από το εγκατεστημένο σύστημα ήταν σε μορφή διαγραμμάτων πίεσης γωνίας στροφάλου περιεχόμενα σε αρχεία .pdf για το λόγο αυτό απαιτήθηκε ψηφιοποίηση των διαγραμμάτων αυτών. Τα διαγράμματα σε ψηφιακή μορφή, που ελήφθησαν με αυτό τον τρόπο είχαν απότομες μεταβολές τιμών και το βήμα των τιμών γωνίας στροφάλου (άξονας των X) δεν ήταν σταθερό. Αυτό επιλύθηκε, πρώτα με παρεμβολή πολυωνύμων κατάλληλου βαθμού, ώστε να ομαλοποιηθούν οι καμπύλες πίεσης και κατόπιν προέκυψε το επιθυμητό βήμα γωνίας στροφάλου (τιμές ανά 1°) με χρήση γραμμικής παρεμβολής. Σύγκριση αρχικών και επεξεργασμένων διαγραμμάτων έδειξε πως πέραν της ομαλοποίησης, η μορφή της καμπύλης δεν αλλοιώθηκε (π.χ. μετατόπιση σημείου μέγιστης πίεσης), όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 7-1 Σύγκριση αρχικού και επεξεργασμένου διαγράμματος πίεσης



Σχήμα 7-2 Μεγέθυνση στη περιοχή του ANS

7.2 Υπολογισμός του ρυθμού έκλυσης θερμότητας

Τα δεδομένα πίεσης κυλίνδρου – γωνίας στροφάλου απαιτούνται για τον υπολογισμό του ρυθμού έκλυσης θερμότητας (Heat Release Rate – HRR). Από τα διαγράμματα του μεγέθους αυτού, μπορεί να προσδιορισθεί επακριβώς η γωνία έναυσης του καυσίμου και να ληφθεί μία γενική εικόνα για την ποιότητα της καύσης. Το διάγραμμα του ρυθμού έκλυσης θερμότητας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα, σε συνδυασμό με τα δεδομένα πίεσης καυσίμου ή με ημι-εμπειρική μέθοδο που περιγράφεται στην επόμενη ενότητα, για τον υπολογισμό της καθυστέρησης ανάφλεξης.

Η τιμή του καθαρού ρυθμού έκλυσης θερμότητας κάθε στιγμή προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{dQ_n}{dt} = \left(1 + \frac{c_v}{R}\right)p \frac{dV}{dt} + \frac{c_v}{R}V \frac{dp}{dt} \quad (1)$$

Η παραπάνω με την προσθήκη του ρυθμού απωλειών θερμότητας:

$$\dot{q}_l = \alpha \frac{\lambda_g}{D} Re^{0.7} (T_g - T_{wg}) + \varepsilon \sigma (T_g^4 - T_{wg}^4) \quad (2)$$

δίνει τον συνολικό ρυθμό έκλυσης θερμότητας που ζητείται:

$$\frac{dQ_{ch}}{dt} = \frac{dQ_n}{dt} + \dot{q}_l \quad (3)$$

7.3 Υπολογισμός της καθυστέρησης ανάφλεξης (χωρίς τη χρήση τιμών πίεσης καυσίμου)

Η καθυστέρηση ανάφλεξης του καυσίμου προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

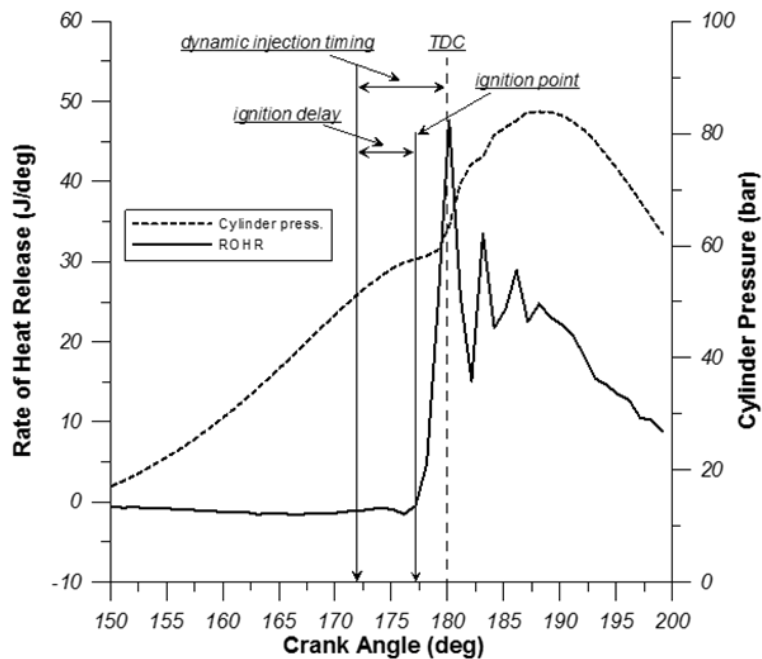
$$S_{pr} = \int_0^t \frac{1}{\alpha_{del} P_g^{-2.5} \Phi_{sq}^{-1.04} \exp\left(\frac{E_{act}}{T_g}\right)} dt = 1 \quad (4)$$

όπου Φ_{sq} είναι ο τοπικός λόγος ισοδυναμίας του μίγματος αέρα-καυσίμου και T_g , P_g η θερμοκρασία του κυλίνδρου και η πίεση που εκφράζονται σε K και bar αντίστοιχα. Η E_{act} είναι η ενέργεια ενεργοποίησης του καυσίμου σε K.

Η δυναμική προπορεία έγχυσης αντιστοιχεί στη πραγματική έναρξη παροχής καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσης. Επειδή στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι διαθέσιμα στοιχεία για τη πίεση έγχυσης του καυσίμου, έχει αναπτυχθεί μία εναλλακτική τεχνική η οποία βασίζεται στην εκτίμηση της γωνίας ανάφλεξης και τη χρήση συσχέτισης που παρέχει μια εκτίμηση για την καθυστέρηση της ανάφλεξης του εγχυόμενου καυσίμου. Το σημείο ανάφλεξης υπολογίζεται από το διάγραμμα ρυθμού έκλυσης θερμότητας.

Στη συνέχεια, η εξίσωση (4) και μία μέθοδος δοκιμής και σφάλματος χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του σημείου της έναρξης έγχυσης το οποίο δίνει γωνία ανάφλεξης ίση με εκείνη που καθορίζεται από το Σχήμα 6-3 (δηλαδή από το διάγραμμα ρυθμού έκλυσης θερμότητας). Για να εκτιμηθεί η καθυστέρηση ανάφλεξης απαιτείται η σταθερά " α_{del} " στην παραπάνω εξίσωση. Αυτή η τιμή εκτιμάται μαζί με τις άλλες σταθερές του μοντέλου.

Στη παρούσα εργασία η τιμή της προσδιορίστηκε ώστε η υπολογισμένη γωνία έγχυσης να συμφωνεί με την τιμή που προσδιορίστηκε από τη πίεσης έγχυσης στη περίπτωση που αυτή ήταν διαθέσιμη Σχήμα 7-3.

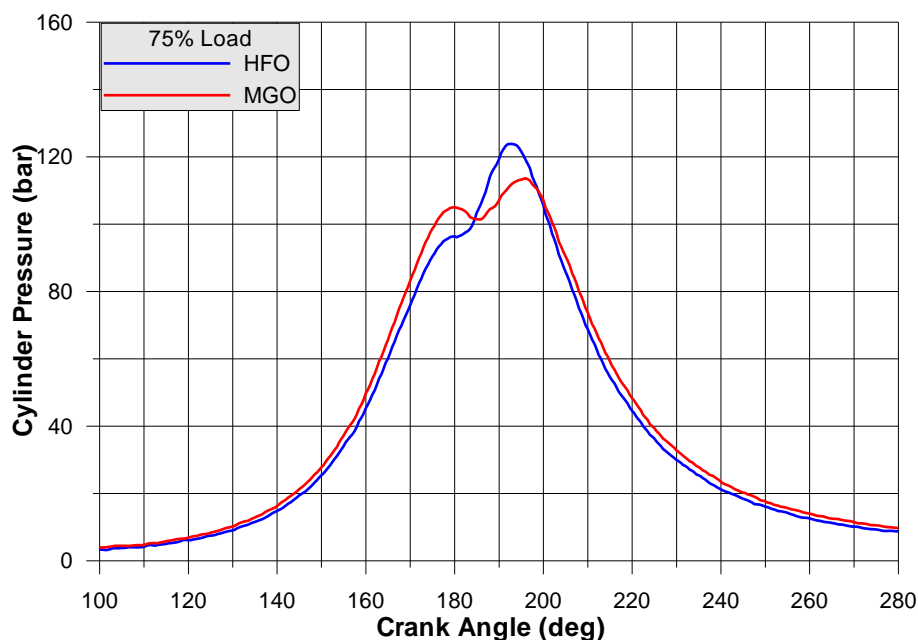


Σχήμα 7-3 Προσδιορισμός Στατικής Προπορείας, Δυναμικής Προπορείας, Γωνίας Έναυσης και Καθυστέρησης Ανάφλεξης

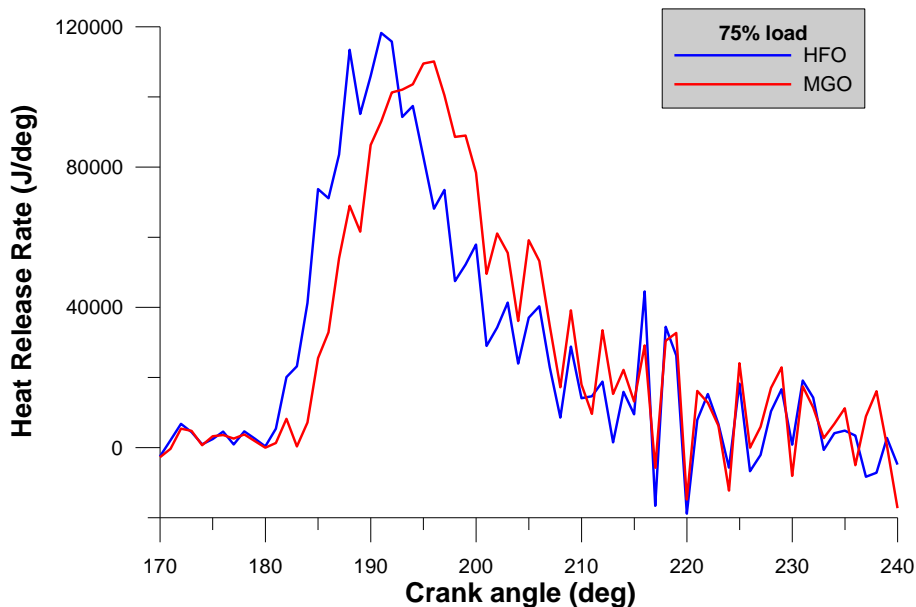
7.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια σύνοψη των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη μελέτη των δεδομένων πίεσης κυλίνδρου και έγχυσης καυσίμου για τη περίπτωση των μετρήσεων που ελήφθησαν από το εγκατεστημένο εμπορικό σύστημα καταγραφής των πιέσεων. Καθώς ο όγκος διαγραμμάτων της κύριας εργασίας είναι απαγορευτικός για τα χωρικά περιθώρια μίας περίληψης, θα δοθούν τα χαρακτηριστικά διαγράμματα της πλέον αξιοσημείωτης περίπτωσης διαφοροποίησης λειτουργίας εξαιτίας της χρήσης MGO. Η περίπτωση αυτή εντοπίστηκε στη λειτουργία του κινητήρα με φορτίο 75%.

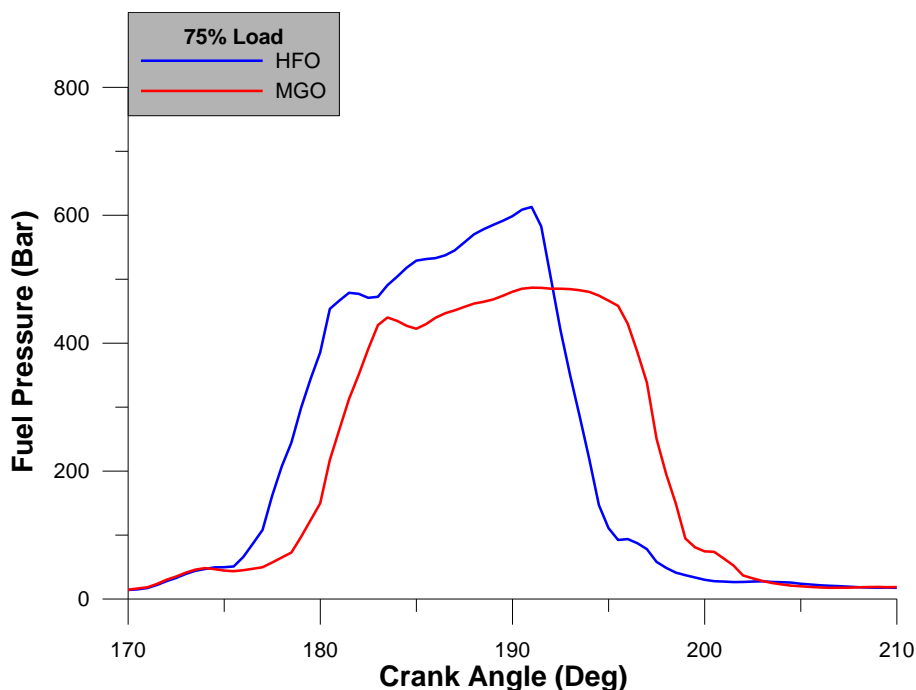
Τα διαγράμματα πίεσης κυλίνδρου, πίεσης έγχυσης καυσίμου και ρυθμού έκλυσης θερμότητας στην περίπτωση αυτή είναι τα ακόλουθα (Σχήμα 7-4 - Σχήμα 7-6):



Σχήμα 7-4 Συγκριτικό διάγραμμα πιέσεων κυλίνδρου για HFO & MGO



Σχήμα 7-5 Συγκριτικό διάγραμμα HRR για HFO & MGO

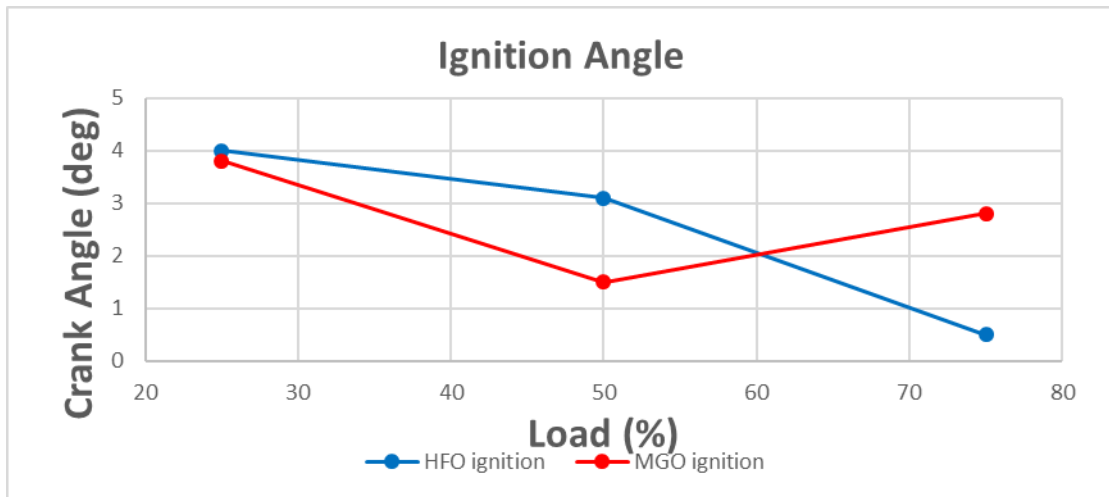


Σχήμα 7-6 Συγκριτικό διάγραμμα τιμών πίεσης έγχυσης καυσίμου για HFO & MGO

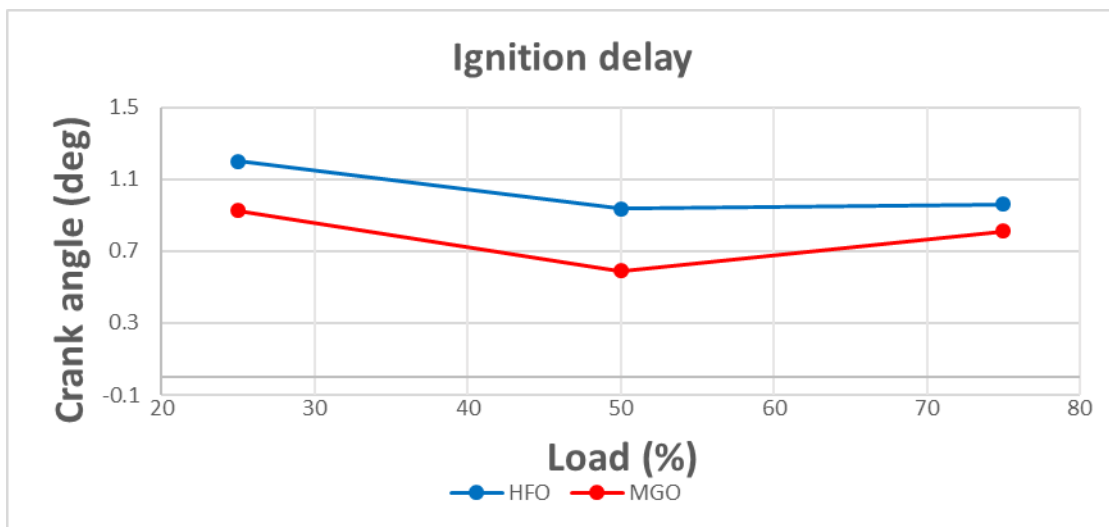
Όπως γίνεται αντιληπτό ήδη από το διάγραμμα πιέσεων, παρατηρείται πολύ μεγάλη καθυστέρηση ανάφλεξης στην περίπτωση λειτουργίας του κινητήρα ε MGO. Το αντίστοιχο διάγραμμα έκλυσης θερμότητας επιβεβαιώνει την καθυστέρηση ανάφλεξης και παρουσιάζει σημαντικά χαμηλότερο ρυθμό καύσης. Τα παραπάνω αποτελούν ένδειξη πως υπάρχει δυσλειτουργία στο σύστημα έγχυσης καυσίμου.

Την υποψία αυτή επιβεβαιώνει το διάγραμμα πίεσης έγχυσης καυσίμου Σχήμα 7-6. Η βαλβίδα αναρρόφησης του καυσίμου φαίνεται να ανοίγει περίπου στην ίδια τιμή γωνίας στροφάλου (το σημείο όπου παρατηρείται πρώτη αύξηση πίεσης), όμως η αύξηση της πίεσης του καυσίμου είναι εμφανώς καθυστερημένη σε σχέση με την εικόνα που παρουσιάζεται για λειτουργία σε HFO. Πέραν αυτού παρατηρείται πως οι τιμές πίεσης είναι γενικά χαμηλότερες. Από την παραπάνω εικόνα συμπεραίνεται πως όχι μόνον καθυστερεί η έγχυση του καυσίμου MGO, αλλά όταν αυτή γίνεται ο ρυθμός ροής του καυσίμου είναι χαμηλότερος του επιθυμητού. Ο χαμηλός αυτός ρυθμός επηρεάζει αρνητικά τη διαδικασία της καύσης μέσα στο θάλαμο, γι' αυτό και οι τιμές του HRR είναι αρκετά χαμηλότερες.

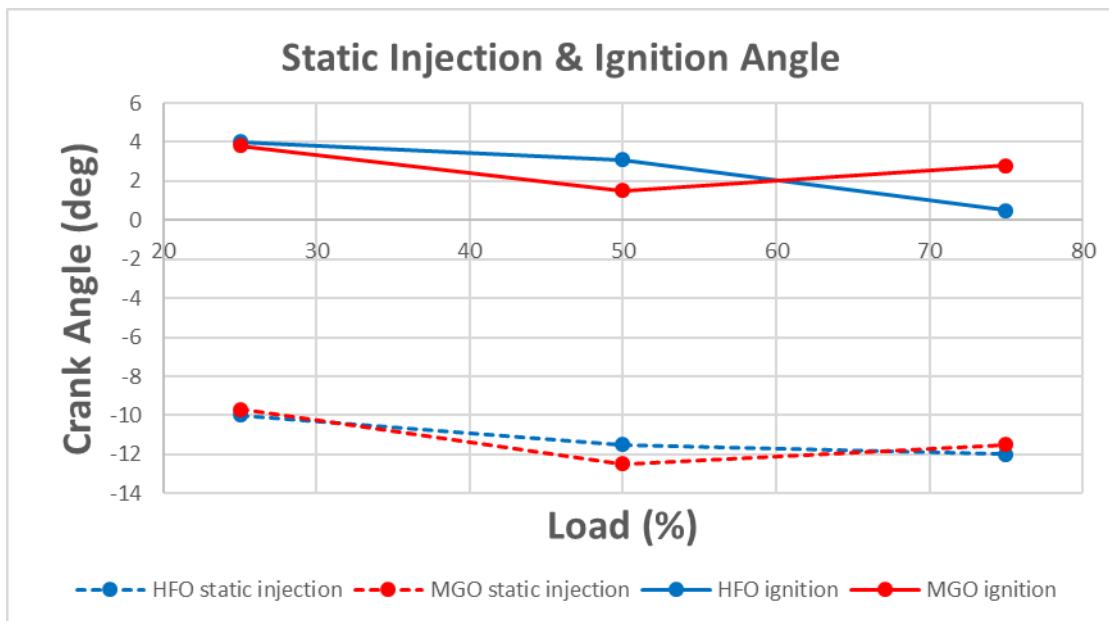
Τα σχετικά συγκεντρωτικά διαγράμματα δίνονται ακολούθως (Σχήμα 7-7- Σχήμα 7-10):



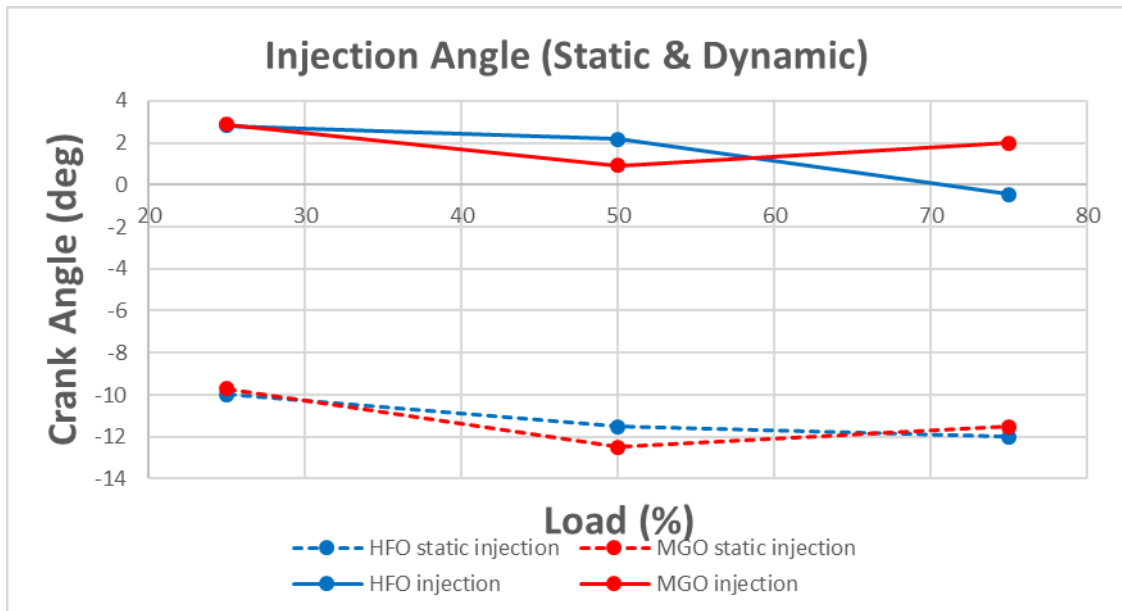
Σχήμα 7-7 Γωνία έναυσης για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



Σχήμα 7-8 Καθυστέρηση ανάφλεξης για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



Σχήμα 7-9 Στατική προπορεία και γωνία έναυσης για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



Σχήμα 7-10 Στατική και δυναμική γωνία έγχυσης για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι:

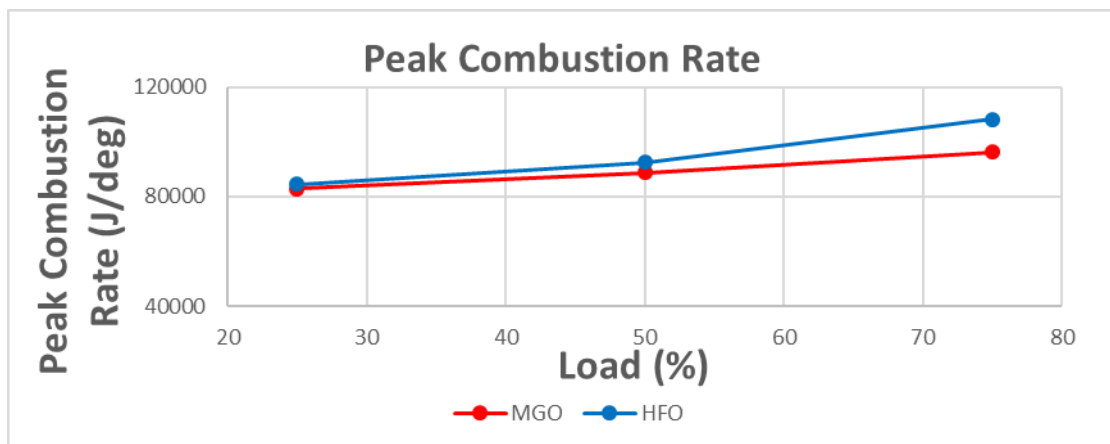
- Η στατική προπορεία με HFO και MGO είναι παρόμοια.
- Η δυναμική προπορεία είναι αυξημένη με το MGO, λόγω της μεγαλύτερης τιμής του δείκτη VIT που έχει εφαρμοσθεί. Αυτό δεν συμβαίνει στην περίπτωση λειτουργίας με φορτίο 75% και καύσιμο το MGO, κατά την οποία παρατηρείται δυσλειτουργία της βαλβίδας αναρρόφησης της αντλίας καυσίμου. Λόγω της δυσλειτουργίας αυτής η έναρξη παροχής καυσίμου στον κύλινδρο καθυστερεί σημαντικά.
- Η καθυστέρηση ανάφλεξης με HFO είναι μεγαλύτερη, όπως αναμενόταν. Οι διαφορές βαίνουν μειούμενες με την αύξηση του φορτίου του κινητήρα.
- Η πίεση έγχυσης καυσίμου με το MGO είναι γενικά χαμηλότερη λόγω των υψηλότερων διαρροών στην αντλία καυσίμου (διαμέσου του εμβόλου και του χιτωνίου της) και της χαμηλότερης πυκνότητας και συνεκτικότητας του καυσίμου.
- Παρατηρήθηκε δυσλειτουργία στο 75% του φορτίου με MGO, η οποία αποδόθηκε στη βαλβίδα αναρρόφησης της αντλίας καυσίμου (βλ. Σχήμα 7-6). Η βαλβίδα δεν ανοίγει κατάλληλα με αποτέλεσμα η άνοδος της πίεσης καυσίμου να γίνεται με αργό ρυθμό και η δυναμική έγχυση καυσίμου να καθυστερεί παρά την ίδια (ή και μεγαλύτερη λόγω τιμής του VIT) τιμή στατικής προπορείας.

8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΦΟΡΗΤΟ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

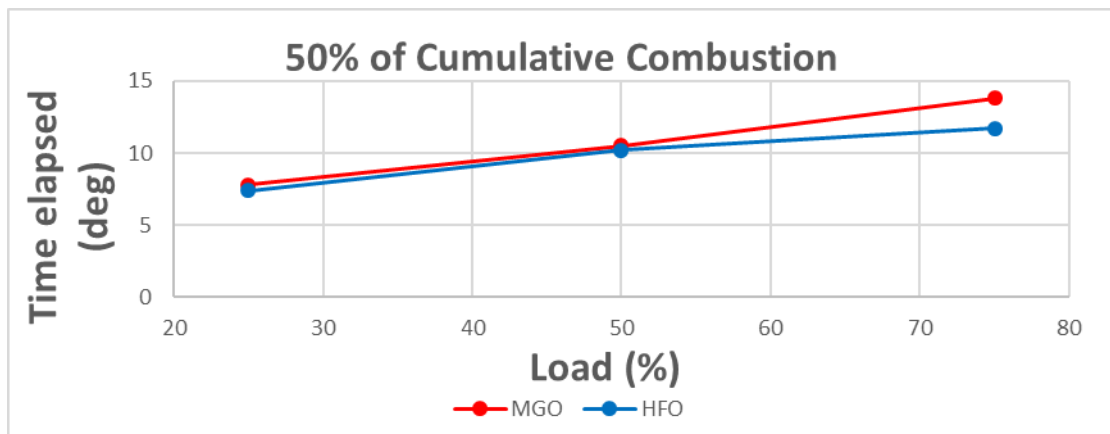
Οι περιπτώσεις που μελετήθηκαν με το φορητό διαγνωστικό σύστημα αναφέρονται στον Πίνακα 6-1 Μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν. Στην παρούσα περίληψη θα αναφερθούν συνοπτικά τα συνολικά αποτελέσματα για κάθε τύπο κινητήρα που εξετάστηκε μαζί με τα συγκεντρωτικά διαγράμματα που δίνουν τη μεταβολή των κυρίων παραμέτρων λειτουργίας των κινητήρων που εξετάστηκαν.

8.1 Επίδραση των HFO & MGO στο μηχανισμό της καύσης και τη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα 6S60MC (κινητήρας με εκκεντροφόρο)

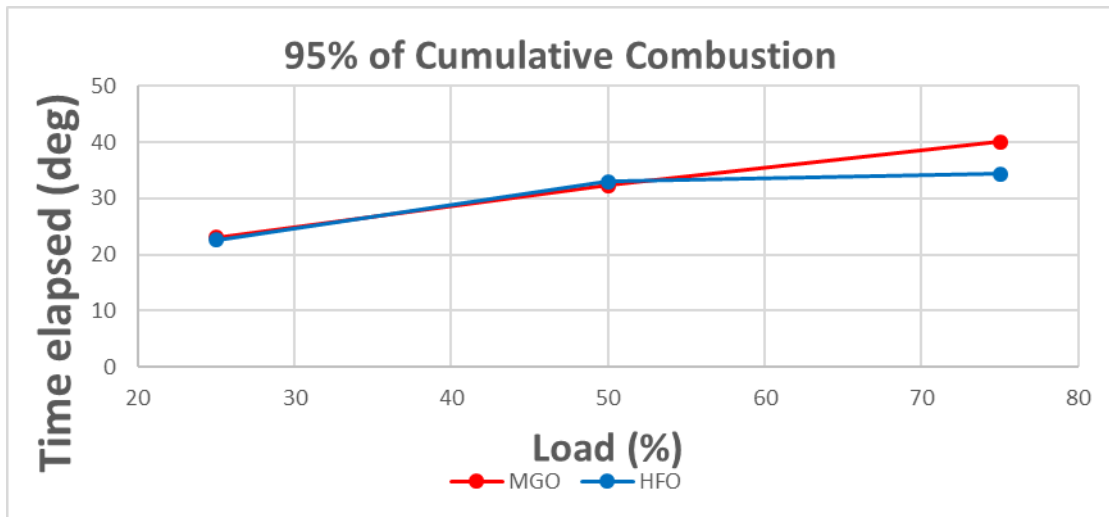
Ο κινητήρας αυτός έχει ήδη εξεταστεί (για την περίπτωση του κυλίνδρου 1) στα προηγούμενα. Με τις μετρήσεις του φορητού διαγνωστικού συστήματος έγινε ανάλυση των μέσων τιμών για τους έξι κυλίνδρους του κινητήρα. Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με αυτά της ανάλυσης που προηγήθηκε όπως προκύπτει από τα διαγράμματα που δίνονται στη συνέχεια (Σχήμα 8-1- Σχήμα 8-6):



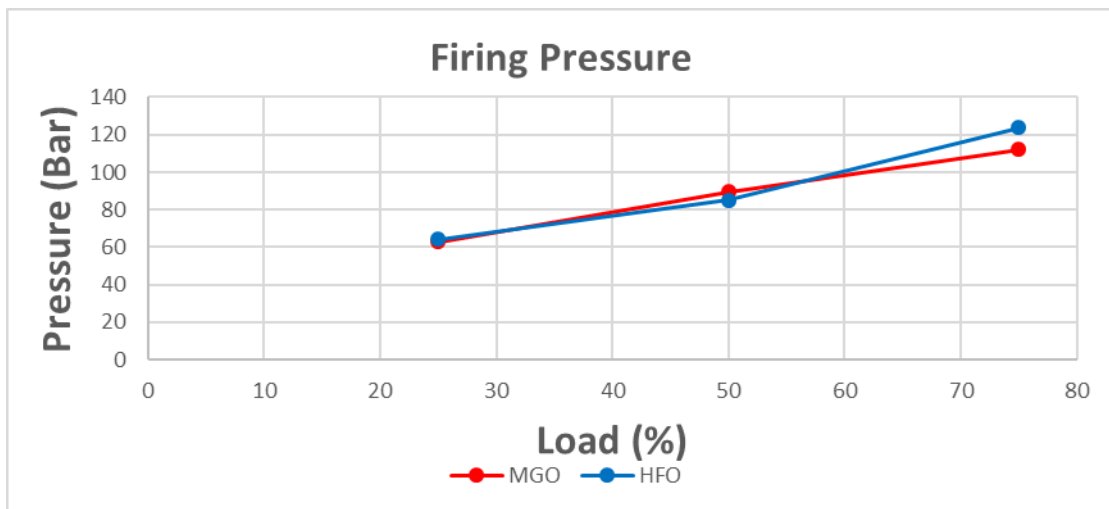
Σχήμα 8-1 Μέγιστος ρυθμός καύσης για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



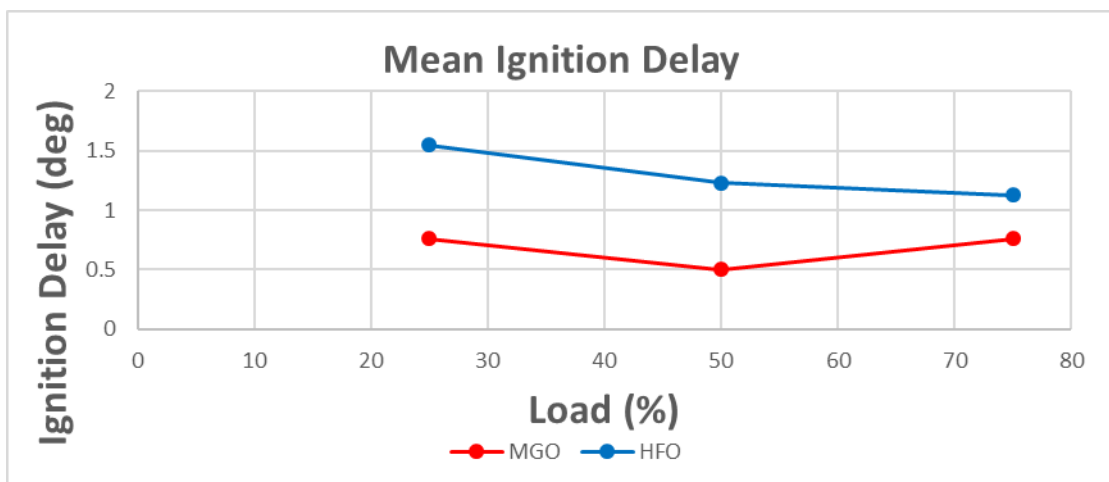
Σχήμα 8-2 Γωνία για την οποία έχει καεί το 50% του καυσίμου για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



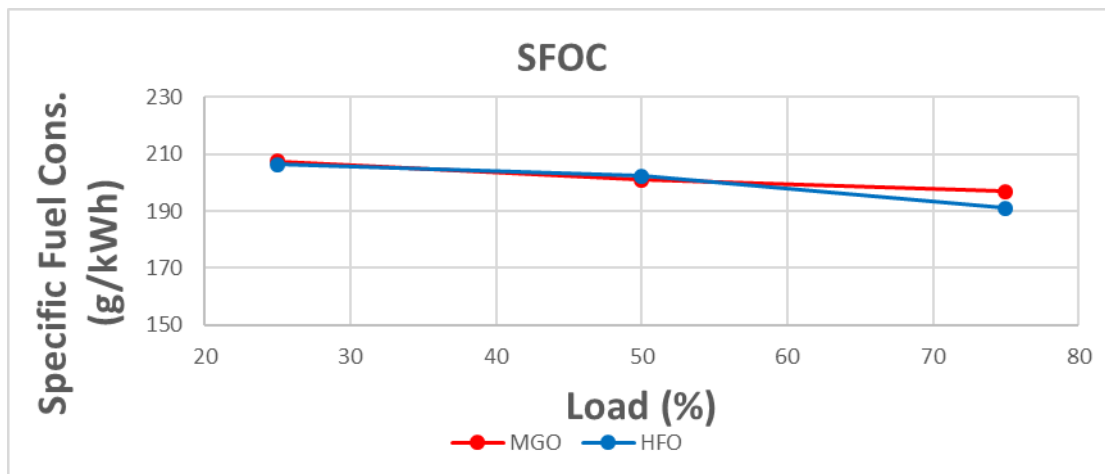
Σχήμα 8-3 Γωνία για την οποία έχει καεί το 95% του καυσίμου για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



Σχήμα 8-4 Μέγιστη πίεση κυλίνδρου για HFO & MGO σε σχέση με το φορτίο του κινητήρα



Σχήμα 8-5 Καθυστέρηση ανάφλεξης για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



Σχήμα 8-6 Ειδική κατανάλωση καυσίμου για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου

8.1.1 Σύνοψη των αποτελεσμάτων της μηχανής 6S60MC

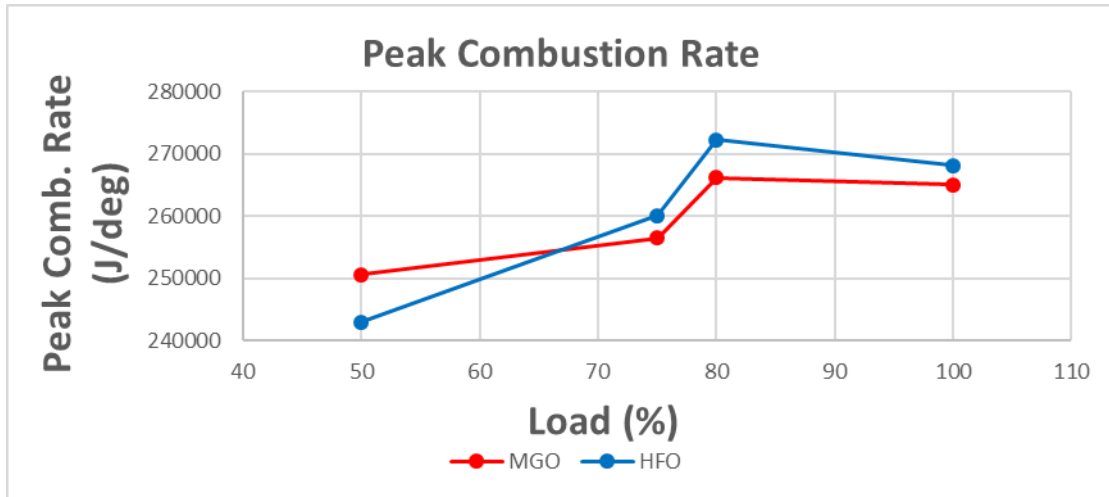
Όπως φαίνεται από τα προηγούμενα στη περίπτωση του συμβατικού ΝΑΥΤΙΚΟΥ κινητήρα παρατηρούνται μικρές διαφορές στη λειτουργία του με τη ρήση HFO και MGO. Αυτές συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Η μέγιστη πίεση καύσης μειώνεται ελαφρά κατά τη χρήση MGO
- Η διαφορά $P_{fire}-P_{ign}$ είναι σαφώς μειωμένη κατά τη χρήση MGO
- Η διαφορά $P_{fire}-P_{ign}$ είναι σαφώς μειωμένη κατά τη χρήση MGO
- Ο μέγιστος ρυθμός έκλυσης θερμότητας με MGO είναι χαμηλότερος
- Η γωνία στην οποία έχει καεί το 50% του καυσίμου είναι μικρότερη στη περίπτωση του MGO
- Η γωνία στην οποία έχει καεί το 50% του καυσίμου είναι μικρότερη στη περίπτωση του MGO.
- Η γωνία στην οποία έχει καεί το 95% του καυσίμου είναι η ίδια και για τα δυο καύσιμα.
- η καθυστέρηση ανάφλεξης με MGO είναι πιο μικρότερη. Η διαφορά είναι εντονότερη στο χαμηλό φορτίο.
- οι τιμές ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (SFOC) με MGO και HFO είναι παρόμοιες μετά τη διόρθωση στην ίδια τιμή θερμογόνου δύναμης.
- Για το συγκεκριμένο κινητήρα σοβαρή επίδραση του MGO έχει παρατηρηθεί, στο 75% του φορτίου που επηρεάζει το σύστημα έγχυσης με αποτέλεσμα κακή λειτουργία της βαλβίδας αναρρόφησης της αντλίας καυσίμου. Αυτό πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά σε περίπτωση μακροχρόνιας λειτουργίας του κινητήρα με MGO

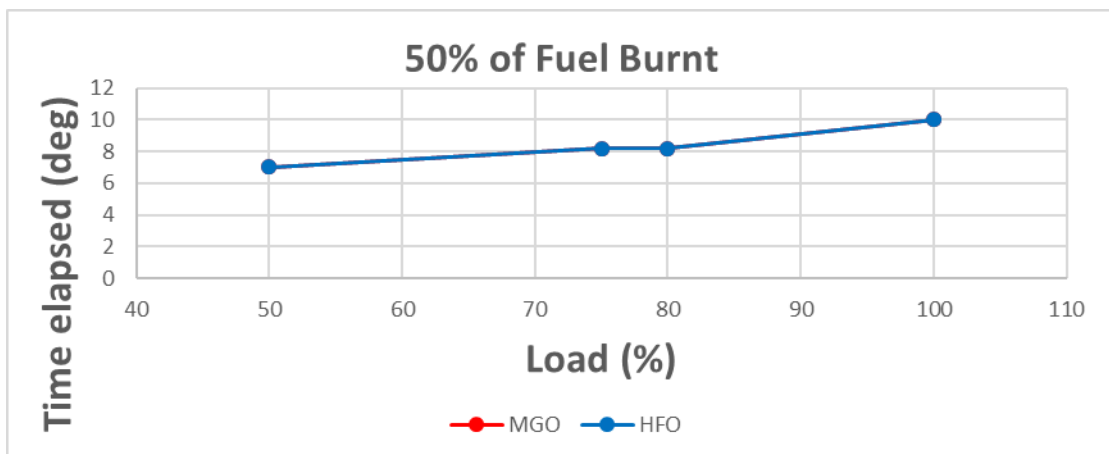
Είναι επίσης σαφές ότι μέσω προσαρμογής του δείκτη VIT είναι δυνατόν να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση του καυσίμου στο ρυθμό καύσης και κατά καύσης .

8.2 Ανάλυση για την Επίδραση των HFO και MGO στην λειτουργία και το μηχανισμό της καύσης του κινητήρα 6G70MEC-9.2 (ηλεκτρονικά ελεγχόμενος κινητήρας)

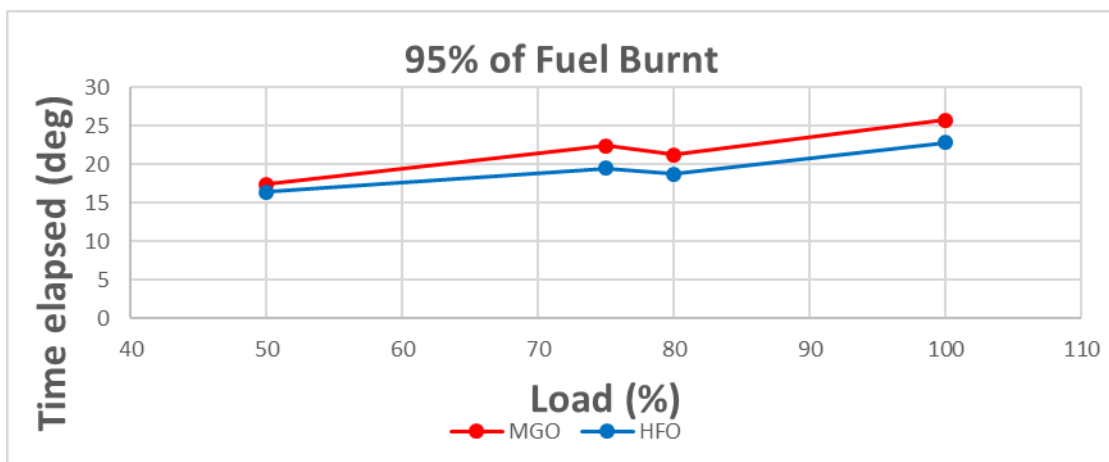
Στα επόμενα σχήματα δίνονται συγκεντρωτικά διαγράμματα για τις διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα συναρτήσει του φορτίου και για τα δυο καύσιμα (Σχήμα 8-7 - Σχήμα 8-12):



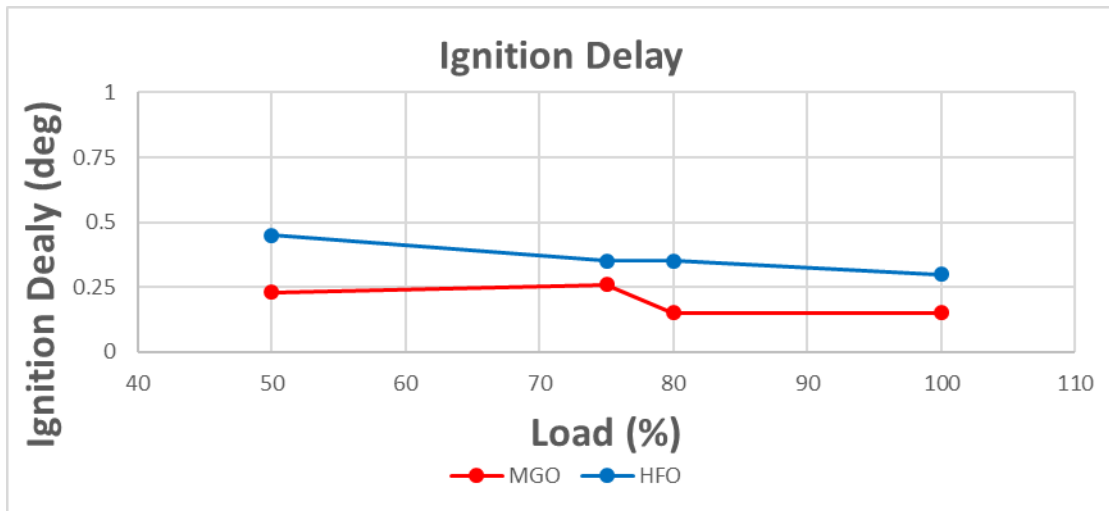
Σχήμα 8-7 Μέγιστος ρυθμός καύσης για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



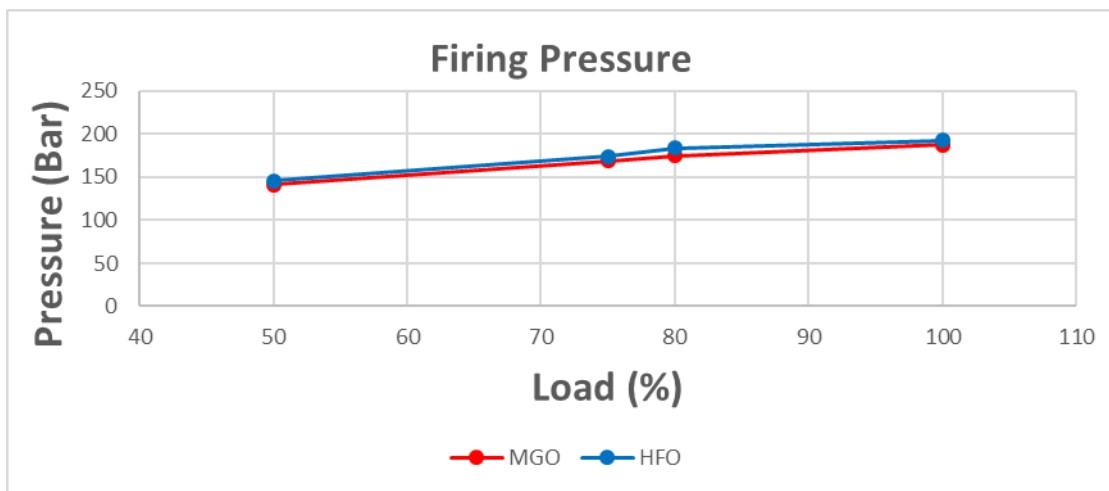
Σχήμα 8-8 Γωνία για την οποία έχει καεί το 50% του καυσίμου για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



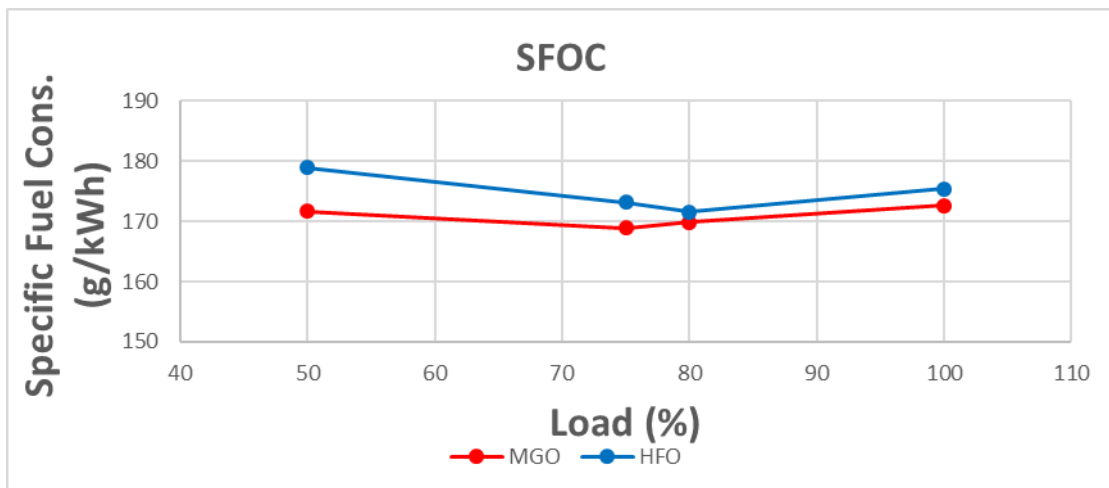
Σχήμα 8-9 Γωνία για την οποία έχει καεί το 95% του καυσίμου για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



Σχήμα 8-10 Καθυστέρηση ανάφλεξης για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



Σχήμα 8-11 Μέγιστη πίεση κυλίνδρου για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



Σχήμα 8-12 Ειδική κατανάλωση καυσίμου για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου

8.2.1 Σύνοψη των αποτελεσμάτων του κινητήρα 6G70MEC-9.2

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω η επίδραση του τύπου του καυσίμου στην ηλεκτρονική μηχανή είναι μικρότερη σε σύγκριση με εκείνη στη συμβατική. Αυτό αποδίδεται στο μηχανισμό της αυτόματης ρύθμισης του ηλεκτρονικού κινητήρα, η οποία ρυθμίζει κατάλληλα το χρονισμό έγχυσης (προπορεία) προκειμένου να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη μέγιστη πίεση καύσης του κυλίνδρου. Σε γενικές γραμμές, τα κύρια ευρήματα συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Η μέγιστη πίεση καύσης είναι ελαφρώς μειωμένη χρησιμοποιώντας MGO. Όμως πρακτικά μπορεί να θεωρηθεί ίδια και για τα δύο καύσιμα και όλα τα φορτία.
- Η διαφορά $P_{fire}-P_{ign}$ είναι σαφώς αυξημένη όταν χρησιμοποιείται MGO σε αντίθεση με ότι παρατηρήθηκε για τον συμβατικό κινητήρα. Αυτό αποδίδεται στην μηχανισμό της αυτόματης ρύθμισης.
- Ο μέγιστος ρυθμός έκλυσης θερμότητας με MGO είναι χαμηλότερος στα υψηλότερα φορτία.
- Το 50% του καυσίμου καίγεται στην ίδια γωνία για τα δύο καύσιμα.
- Η γωνία στην οποία έχει καεί το 95% του καυσίμου είναι υψηλότερη για MGO αποκαλύπτοντας ελαφρώς χαμηλότερο ρυθμός καύσης κατά τη φάση της εκτόνωσης.
- Η καθυστέρηση ανάφλεξης με MGO είναι μικρότερη.
- Οι τιμές της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (SFOC) με MGO είναι χαμηλότερες μετά τη διόρθωση στην ίδια τιμή θερμογόνου. Η μέση διαφορά είναι ~3%.
- Λόγω της αυτόματης ρύθμισης της λειτουργίας η επίδραση του τύπου του καυσίμου για το συγκεκριμένο σχεδιασμό κινητήρα ελαχιστοποιείται. Ένας ακόμη λόγος είναι ότι ο συγκεκριμένος κινητήρας έχει μικρό αριθμό συσσωρευμένων ωρών λειτουργίας και επομένως βρίσκεται σε άριστη κατάσταση (ειδικά το σύστημα έγχυσης καυσίμου).

8.3 Ανάλυση για την Επίδραση των HFO και MGO στην απόδοση και την καύση του κινητήρα S60ME-C8 (ηλεκτρονικά ελεγχόμενος κινητήρας)

Στην περίπτωση αυτή τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με αυτά της ηλεκτρονικής μηχανής που εξετάστηκε παραπάνω.

8.4 Ανάλυση για την Επίδραση των HFO και MGO στην λειτουργία και το μηχανισμό της καύσης του κινητήρα S50ME-B9 (ημι-ηλεκτρονικά ελεγχόμενος κινητήρας)

Παρά το γεγονός ότι αυτός ο κινητήρας δεν είναι πλήρως ηλεκτρονικά ελεγχόμενος (οι βαλβίδες εξαγωγής ελέγχονται από εκκεντροφόρο άξονα) τα αποτελέσματα είναι και σε αυτή την περίπτωση όμοια με αυτά των άλλων δύο ηλεκτρονικά ελεγχόμενων κινητήρων. Η μόνη διαφορά που παρατηρήθηκε, ήταν ότι η συνολική διάρκεια καύσης είναι μεγαλύτερη για HFO αντί για MGO.

8.5 Γενικά σχόλια για την λειτουργία των Ηλεκτρονικών δίχρονων κινητήρων με HFO και MGO

Από την αξιολόγηση των συνολικών αποτελεσμάτων προκύπτει ότι οι διαφορές είναι γενικά οριακές για τους δύο τύπους καυσίμου. Μια παράμετρος που επηρεάζει την ανάλυση των αποτελεσμάτων είναι η αυτόματη ρύθμιση, η οποία τροποποιεί την προπορεία έγχυσης προκειμένου να επιτευχθεί η ίδια μέγιστη πίεση. Για το λόγο αυτό, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την ανάλυση της επίδρασης των καυσίμων στο διάγραμμα πίεσης κυλίνδρου.

Για το λόγο αυτό, συνίσταται να συγκρίνεται η επίδραση του καυσίμου στη διαφορά $P_{fire}-P_{ign}$ και όχι στην ίδια την τιμή της P_{fire} . Η τελευταία επιτρέπεται μόνο σε περιπτώσεις όπου η P_{ign} είναι ίδια και για τα δύο καύσιμα.

Τα διαγράμματα ρυθμού έκλυσης θερμότητας που παρουσιάζονται είναι παρόμοια και για τα δύο καύσιμα. Ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας κατά τα τέλη της εκτόνωσης είναι ελαφρά υψηλότερος για MGO.

Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι το σύστημα έγχυσης καυσίμου λειτουργεί με ικανοποιητικό τρόπο και για τα δύο καύσιμα. Σημαντική συμβολή σε αυτό έχει η αυτόματη ρύθμιση, η οποία ελέγχει την έναρξη της έγχυσης καυσίμου σε μια προσπάθεια να ταιριάζει η μέγιστη πίεση σε κάθε περίπτωση με μια προκαθορισμένη τιμή. Ως εκ τούτου, η πραγματική επίδραση του καυσίμου αντισταθμίζεται από την εφαρμογή διαφορετικών ρυθμίσεων στον κινητήρα ανά περίπτωση.

Οι διαφορές στη διάρκεια καύσης ήταν, σε γενικές γραμμές, σύμφωνες μεταξύ των δύο καυσίμων για όλους τους κινητήρες. Ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι να καεί το 50% των καυσίμων είναι περίπου ο ίδιος για τα δυο καύσιμα δηλ HFO και MGO. Από την άλλη πλευρά, η συνολική διάρκεια καύσης

παρουσιάζει διαφορές σε δύο από τους τρεις ηλεκτρονικούς κινητήρες που δοκιμάστηκαν. Για τους 6G70MEC-9.2 και 6S60MEC η συνολική διάρκεια της καύσης είναι υψηλότερη με MGO, ενώ για τον S50ME-B9 είναι υψηλότερη για HFO. Συνολικά, ο 6G70MEC-9.2 είναι ο κινητήρας με τη μεγαλύτερη διαφορά στη διάρκεια καύσης μεταξύ των δύο καυσίμων (~ 3°) με τη διαφορά αυτή πιθανόν να αποδίδεται στη μεγάλη διαδρομή του.

Ο συμβατικός κινητήρας 6S60MC παρουσιάζει παρόμοιες τιμές διάρκειας καύσης με εξαίρεση τη λειτουργία σε φορτίο 75% οπότε εμφανίστηκε η βλάβη στη λειτουργία της βαλβίδας αναρρόφησης καυσίμου.

Σε γενικές γραμμές, για τους τρεις κινητήρες που εξετάστηκαν οι τιμές τα ειδικής κατανάλωσης καυσίμου 'SFOC' για HFO είναι υψηλότερες το οποίο ήταν αναμενόμενο. Οι μέσες διαφορές των τιμών είναι της τάξης του 3% διαφορά χαμηλότερη σε σύγκριση με εκείνη για τους συμβατικούς κινητήρες. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην αξιολόγηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και στην επίδραση του καυσίμου σε αυτή, καθώς η τελευταία επηρεάζεται από τις ρυθμίσεις του κινητήρα και ιδιαίτερα από την τιμή της προπορείας έγχυσης καυσίμου.

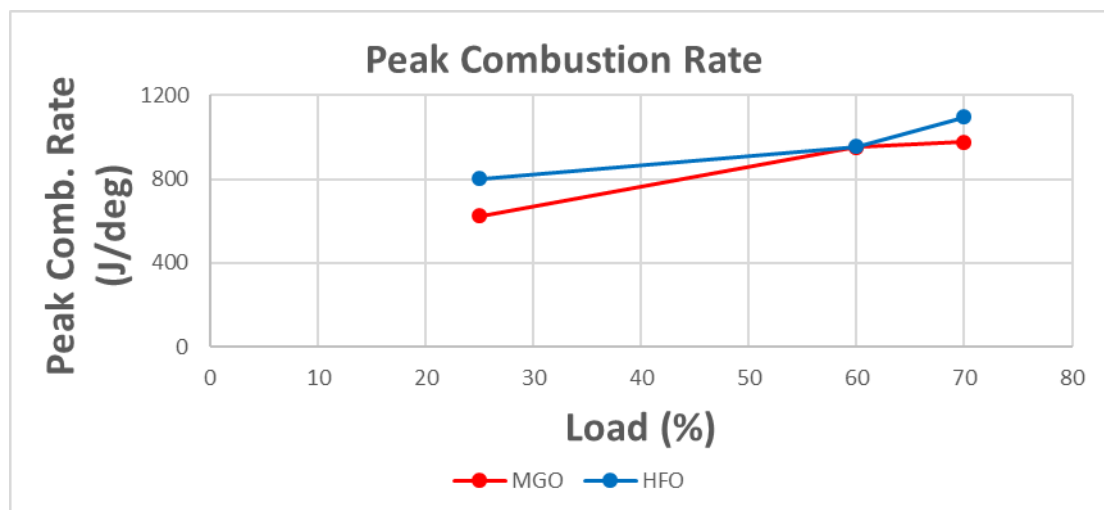
Εν κατακλείδι, η απόδοση του κινητήρα με τα δύο καύσιμα είναι αρκετά κοντά για τις ηλεκτρονικές μηχανές κάτι που αποδίδεται κυρίως στον μηχανισμό της αυτορρύθμισης.

Ένα άλλο σημαντικό εύρημα είναι ότι οι διαφορές μεταξύ MGO & HFO συνήθως διατηρούνται σε όλες τις τιμές φορτίου.

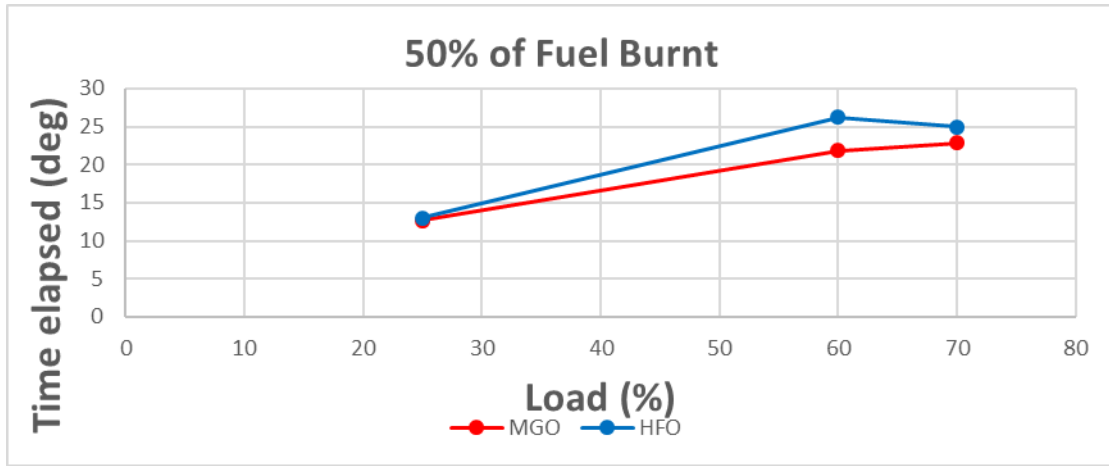
8.6 Ανάλυση για την Επίδραση των HFO και MGO στην λειτουργία και το μηχανισμό της καύσης του βοηθητικού κινητήρα 6L2330H

Ο 6L2330H είναι ένα 4-χρονο βοηθητικό κινητήρα που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο. Λόγω της υψηλότερης ταχύτητας περιστροφής του η διαφορά των παραμέτρων απόδοσης οι οποίες εκφράζονται σε γωνία στροφάλου αναμένεται να είναι πιο έντονη σε σύγκριση με τους 2-δίχρονους κινητήρες, δεδομένου ότι η ταχύτητα λειτουργίας του είναι ~7 φορές υψηλότερη.

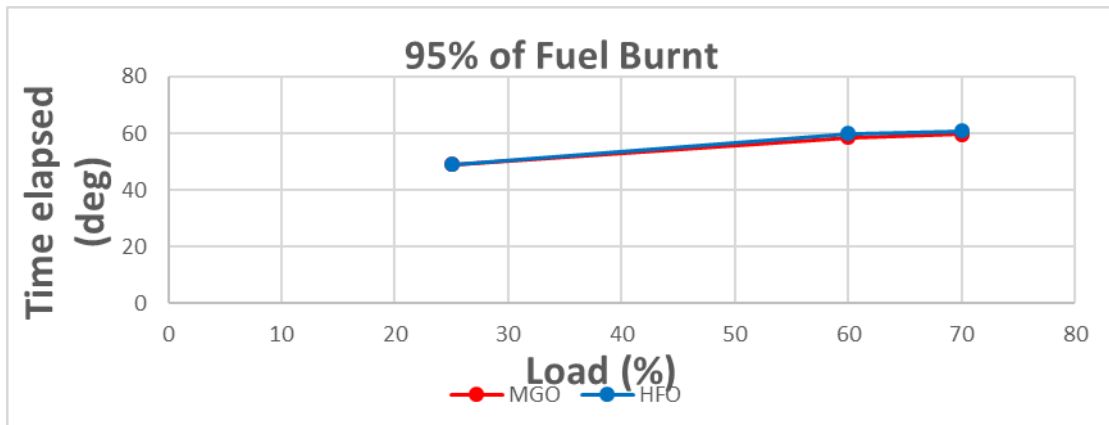
Τα διαγράμματα των λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα για τα δυο καύσιμα δίνονται στα: Σχήμα 8-13 - Σχήμα 8-18.



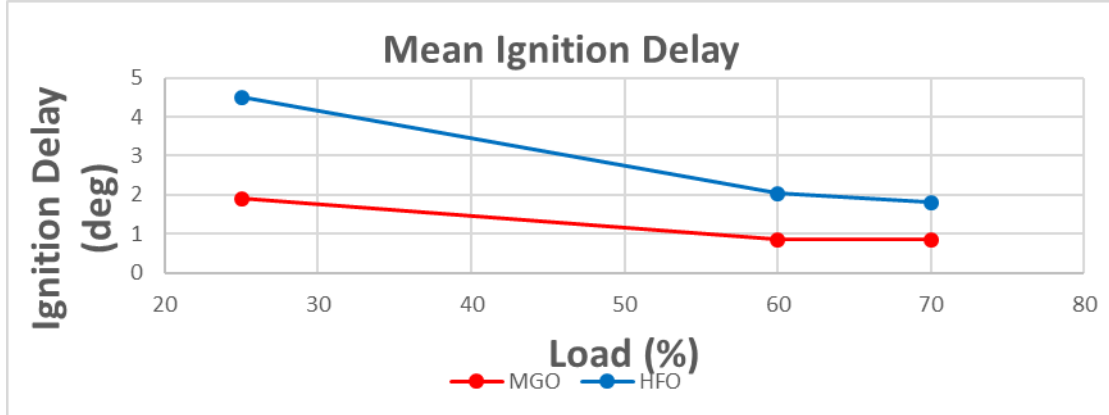
Σχήμα 8-13 Μέγιστος ρυθμός καύσης για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



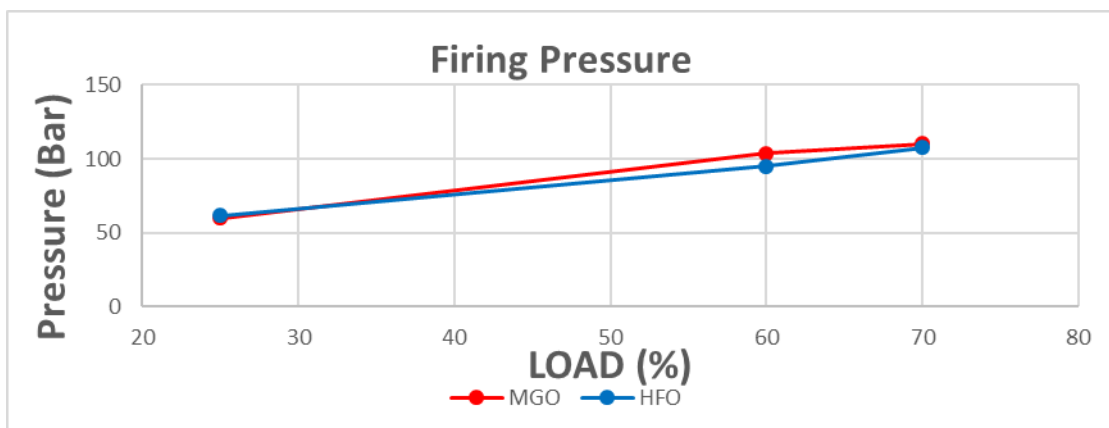
Σχήμα 8-14 Γωνία για την οποία έχει καεί το 50% του καυσίμου για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



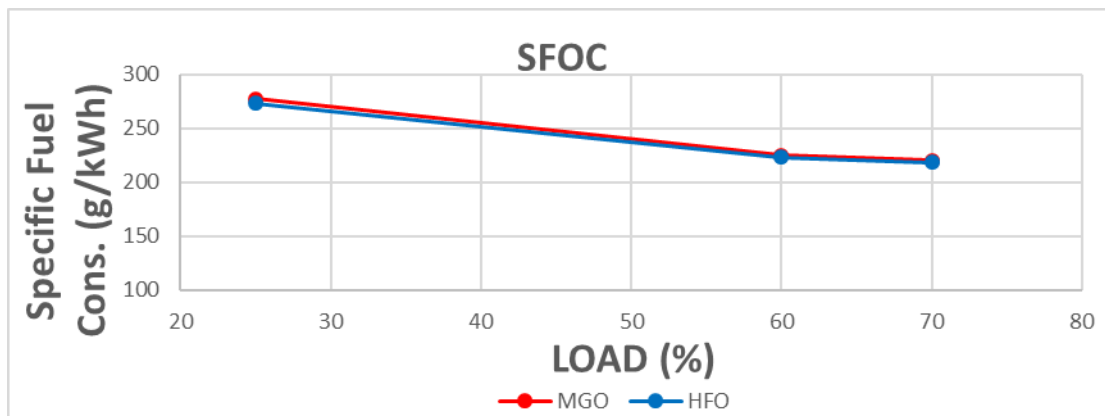
Σχήμα 8-15 Γωνία για την οποία έχει καεί το 95% του καυσίμου για HFO & MGO σε σχέση με το φορτίο του κινητήρα



Σχήμα 8-16 Καθυστέρηση ανάφλεξης για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



Σχήμα 8-17 Μέγιστη πίεση κυλίνδρου για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



Σχήμα 8-18 Ειδική κατανάλωση καυσίμου για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου

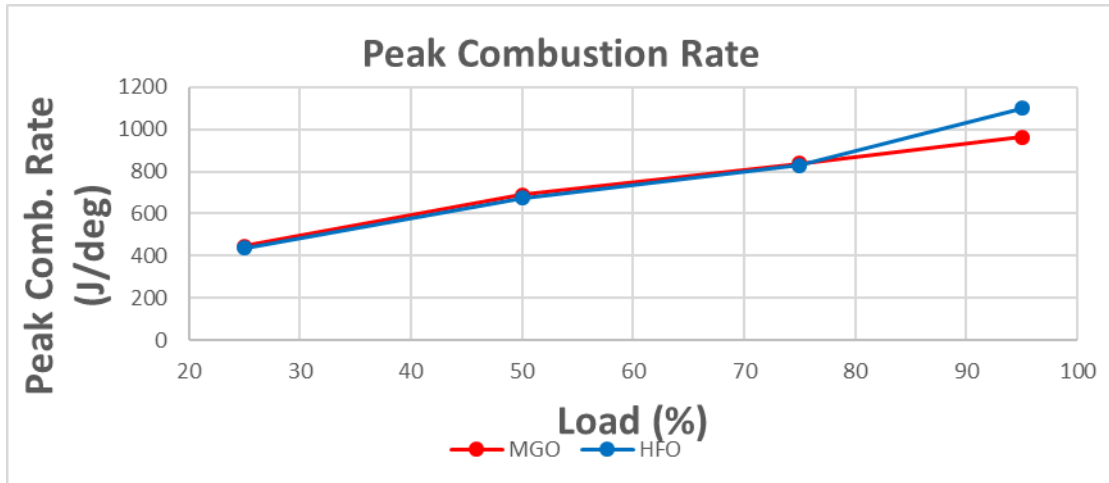
8.6.1 Σύνοψη των αποτελεσμάτων της γεννήτριας Ντίζελ 6L2330H

- Οι μέγιστες πιέσεις καύσης του κυλίνδρου με τα δύο καύσιμα είναι παρόμοιες. Αυτό παρατηρείται, παρά την νωρίτερη έναρξη ανάφλεξης για το MGO κάτι που μαρτυρά έναν πιο αργό ρυθμό παροχής καυσίμου. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στην αυξημένη διαρροή καυσίμου στην αντλία καυσίμου.
- Η διαφορά $P_{fire}-P_{ign}$ είναι γενικά υψηλότερη για MGO.
- Η μέγιστη τιμή του ρυθμού έκλυσης θερμότητας είναι χαμηλότερη για το MGO.
- Το 50% του καυσίμου καίγεται σε παρόμοιες τιμές γωνίας για τα δύο καύσιμα (ελαφρώς μεγαλύτερες με HFO).
- Η γωνία για την οποία το 95% του καυσίμου έχει καεί είναι ελαφρώς υψηλότερη για το HFO.
- Η καθυστέρηση ανάφλεξης με MGO είναι χαμηλότερη.
- Οι τιμές της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (SFOC) με MGO είναι ελαφρώς υψηλότερες μετά τη διόρθωση στην ίδια θερμαντική δύναμη κάτι το οποίο αποδίδεται στο μειωμένο ρυθμό παροχής καυσίμου λόγω των ιδιοτήτων του.

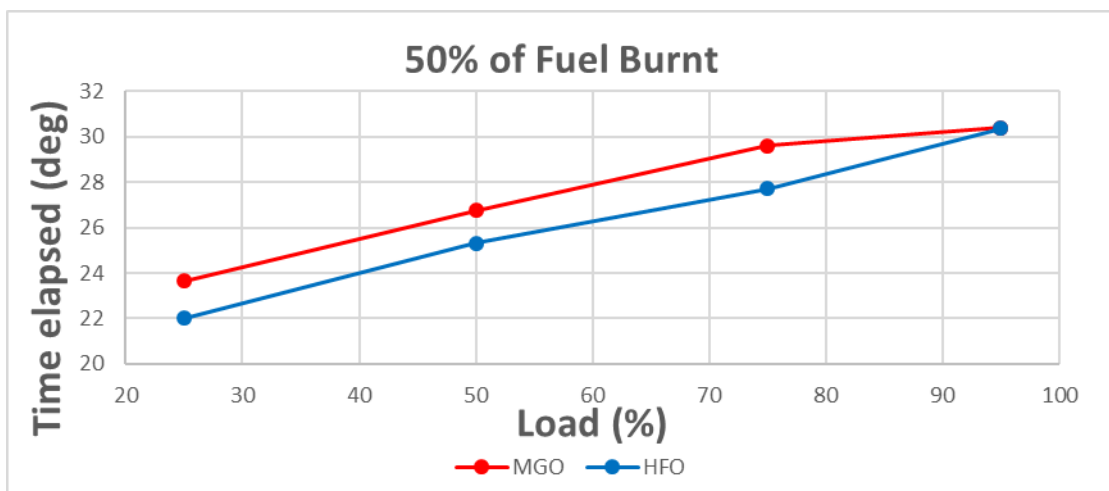
8.7 Ανάλυση για την Επίδραση των HFO και MGO στην λειτουργία και το μηχανισμό της καύσης του βοηθητικού κινητήρα 6DE-18

Ο 6DE-18 είναι ένας τετράχρονος βοηθητικός κινητήρας χρησιμοποιούμενος σαν γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος.

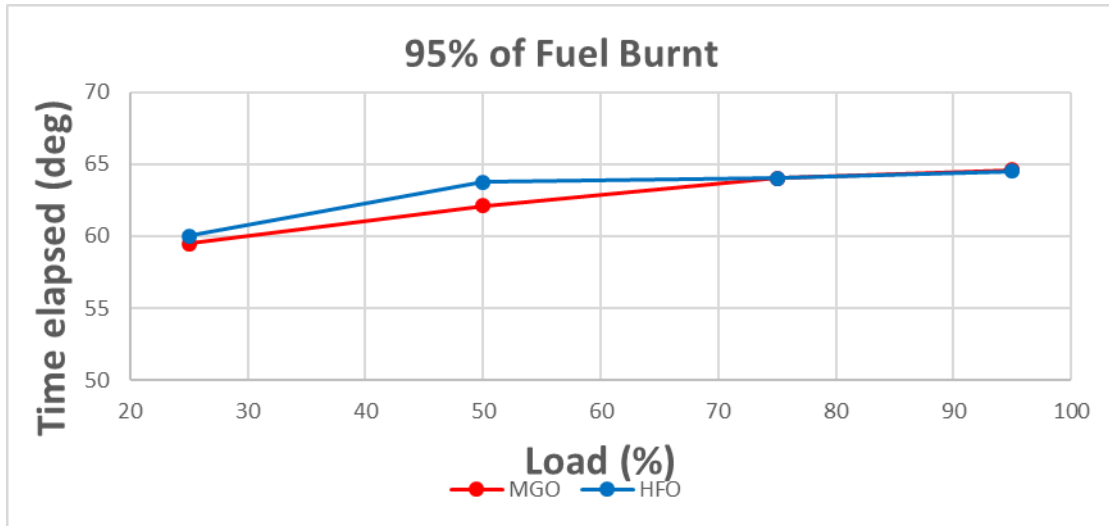
Η μεταβολή των κυρίων λειτουργικών παραμέτρων συναρτῆσει του φορτίου και για τα δυο καύσιμα) δίνεται στα (Σχήμα 8-19 Σχήμα 8-24):



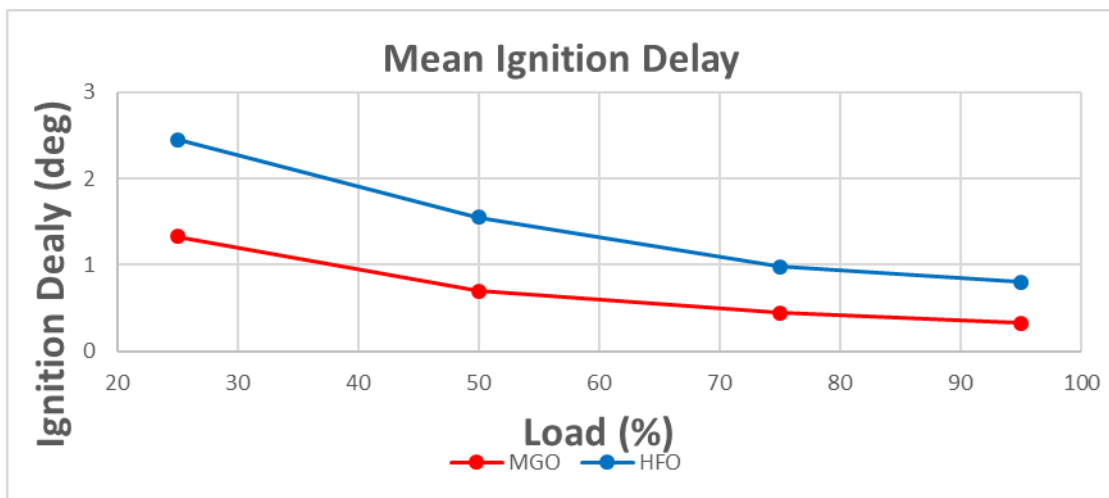
Σχήμα 8-19 Μέγιστος ρυθμός καύσης για HFO & MGO συναρτῆσει του φορτίου



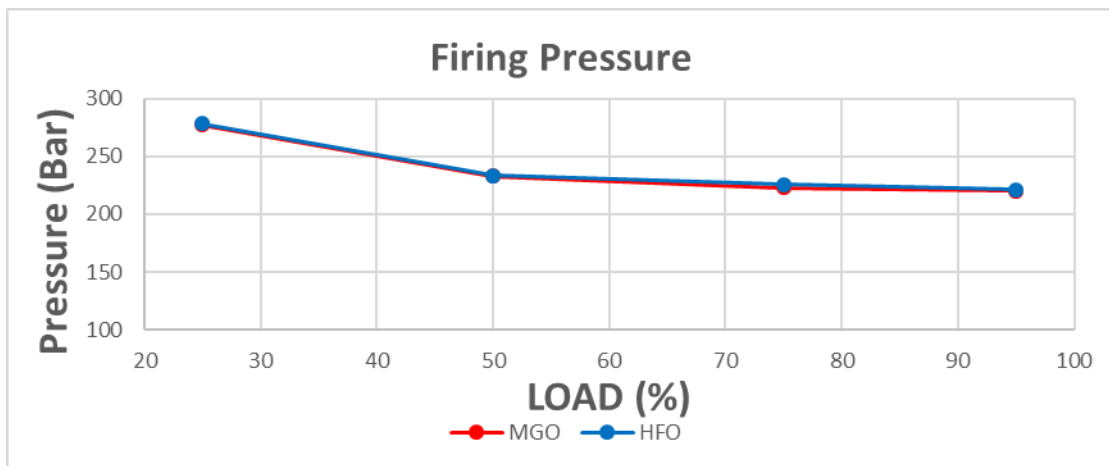
Σχήμα 8-20 Γωνία για την οποία έχει καεί το 50% του καυσίμου για HFO & MGO συναρτῆσει του φορτίου



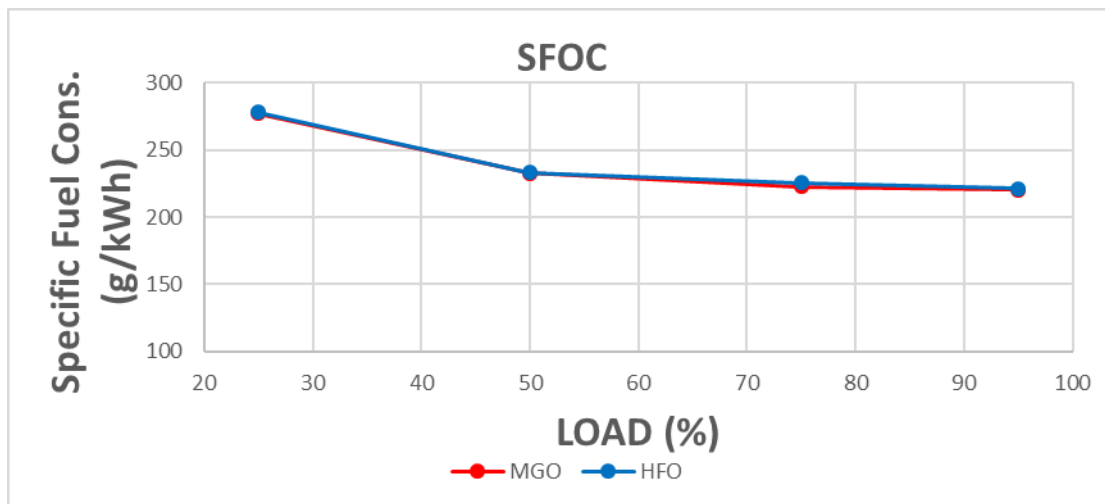
Σχήμα 8-21 Γωνία για την οποία έχει καεί το 95% του καυσίμου για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



Σχήμα 8-22 Καθυστέρηση ανάφλεξης για HFO & MGO σε σχέση συναρτήσει του φορτίου



Σχήμα 8-23 Μέγιστη πίεση κυλίνδρου για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου



Σχήμα 8-24 Ειδική κατανάλωση καυσίμου για HFO & MGO συναρτήσει του φορτίου

8.7.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων για τη γεννήτρια Ντήζελ 6DE-18

Τα κύρια συμπεράσματα για την επίδραση του HFO και MGO συνοψίζονται ως εξής:

- Οι μέγιστες πιέσεις καύσης με τις δύο καύσιμα είναι παρόμοιες. Αυτό παρατηρείται, παρά την νωρίτερη ανάφλεξη στην περίπτωση του MGO, κάτι που μαρτυρά έναν πιο αργό ρυθμό παροχής καυσίμου. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στην αυξημένη διαρροή μέσω της αντλίας καυσίμου.
- Η διαφορά $P_{fire}-P_{ign}$ είναι γενικά υψηλότερη για MGO.
- Ο μέγιστος ρυθμός έκλυσης θερμότητας είναι παρόμοιος για τα δυο καύσιμα.
- Η γωνία στην οποία έχει καεί το 50% του καυσίμου είναι μικρότερη για το HFO, αποκαλύπτοντας ένα πιο γρήγορο αρχικό ρυθμό καύσης.
- Η γωνία για την οποία έχει καεί το 95% του καυσίμου είναι παρόμοια και για τα δύο καύσιμα αποκαλύπτοντας παρόμοια διάρκεια καύσης.
- η καθυστέρηση ανάφλεξης με MGO είναι χαμηλότερη.
- Οι τιμές της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (SFOC) με MGO είναι σχεδόν ίδιες, παρά τις ελαφρώς χαμηλότερες τιμές για MGO.

8.8 Γενικές παρατηρήσεις για τη λειτουργική συμπεριφορά των γεννητριών με HFO και MGO

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, μια σημαντική διαφορά μεταξύ των κύριων κινητήρων και των βοηθητικών είναι η ταχύτητα περιστροφής. Για το λόγο αυτό, οι ίδιες διαφορές που μετρούνται σε χρόνο είναι πιο έντονες όταν εκφράζονται σε μοίρες γωνίας στροφάλου.

Η πραγματική επίδραση των MGO & HFO στη μέγιστη πίεση καύσης, δεν είναι εύκολο να καθοριστεί στις περισσότερες περιπτώσεις, επειδή παρατηρούνται διαφορές στην πίεση συμπίεσης λόγω της τιμής της πίεσης σάρωσης. Για το λόγο αυτό, είναι καλύτερο να χρησιμοποιείται η διαφορά $P_{fire}-P_{ign}$ η οποία όμως επίσης μπορεί να επηρεαστεί και αυτή από την τιμή της προπορείας. Σε γενικές γραμμές, προκύπτει ότι η χρήση του MGO για την ίδια πίεση συμπίεσης και έναρξη έγχυσης καυσίμου οδηγεί σε υψηλότερη P_{fire} κάτι που οφείλεται κυρίως στη μικρότερη καθυστέρηση ανάφλεξης.

Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις που εξετάζονται η ανάφλεξη συμβαίνει νωρίτερα για MGO και στις δύο γεννήτριες. Η διαφορά στην γωνία ανάφλεξης (όταν αυτή εκφράζεται σε μοίρες γωνίας στροφάλου) είναι υψηλότερη σε σύγκριση με τις κύριες μηχανές, λόγω της υψηλότερης ταχύτητας περιστροφής των κινητήρων. Οι μέγιστες τιμές ρυθμού έκλυσης θερμότητας είναι υψηλότερες για HFO και σε ορισμένες περιπτώσεις σε σημαντικό βαθμό. Ο αρχικός ρυθμός καύσεως είναι ταχύτερος με MGO αλλά μετά το αρχικό στάδιο της καύσης ο ρυθμός επιβραδύνεται μαρτυρώντας χαμηλότερο ρυθμό έγχυσης καυσίμου, που πιθανότατα οφείλεται στις φυσικές ιδιότητες του, οι οποίες ενισχύουν τις διαρροές της αντλίας καυσίμου. Το μέγεθος των διαρροών προφανώς σχετίζεται με την κατάσταση της αντλίας.

Όσον αφορά στη διάρκεια της καύσης, και για τις δύο γεννήτριες το 50% του καυσίμου καίγεται σε παρόμοια γωνία τόσο για MGO όσο και για HFO, ενώ η συνολική διάρκεια καύσης είναι μεγαλύτερη για HFO.

Τέλος, η ειδική κατανάλωση καυσίμου (SFOC) είναι παρόμοια για τα δύο καύσιμα. Η μόνη αξιοσημείωτη διαφορά είναι αυτή κατά τη λειτουργία της 6L2330H για 25% φορτίο.

Θα αναμενόταν η τιμές της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (SFOC) με MGO να ήταν χαμηλότερες, αλλά αυτό δεν συμβαίνει στις δυο περιπτώσεις κινητήρων που εξετάστηκαν. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι για τους βοηθητικούς κινητήρες, η παράμετρος που κυριαρχεί είναι η επίδραση των ιδιοτήτων του καυσίμου στην απόδοση του συστήματος έγχυσης. Αυτή η επίδραση απαιτεί διαφορετικές ρυθμίσεις ειδικά για την προπορεία της έγχυσης κατά την εναλλαγή καυσίμων.

9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε στην εργασία αυτή είναι βασισμένη σε πειραματικές μεθόδους και κάνει χρήση των διαγραμμάτων πίεσης κυλίνδρου τα οποία φανερώνουν την επίδραση του καυσίμου στον μηχανισμό της συμπίεσης. Η διερεύνηση έλαβε χώρα σε ένα εύρος κινητήρων, 2-X και 4-X, συμβατικούς και ηλεκτρονικά ελεγχόμενους. Οι μετρήσεις και για τα δύο καύσιμα ελήφθησαν είτε εν πλω (πραγματικές συνθήκες) κατά τη διάρκεια των εργοστασιακών δοκιμών (shop test) δηλ με τον κινητήρα στη πέδη. Για να προσδιορισθεί του τύπου του καυσίμου χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα:

- Οι τιμές πίεσης κυλίνδρου, καθώς είναι αποτέλεσμα του μηχανισμού της καύσης.
- Ο ρυθμός καύσης (ρυθμός έκλυσης θερμότητας), ο οποίος προέκυψε από επεξεργασία των τιμών πίεσης κυλίνδρου.
- Η πίεση έγχυσης καυσίμου, όπου ήταν διαθέσιμη.
- Λειτουργικά στοιχεία του κινητήρα, όπως πίεση και θερμοκρασία αέρα σάρωσης.
- Το φορτίο του κινητήρα το οποίο προέκυψε από επεξεργασία των μετρημένων τιμών πίεσης κυλίνδρου και το μηχανικό βαθμό απόδοσης κάθε κινητήρα.
- Δεδομένα από τις εργοστασιακές δοκιμές “shop test” και τις δοκιμές θαλάσσης “sea trial” τα οποία χρησιμοποιήθηκαν από το λογισμικό με το οποίο έγινε η επεξεργασία των μετρημένων τιμών πίεσης.

9.1 Συμπεράσματα για τη διαδικασία αξιολόγησης που είναι βασισμένη στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα πίεσης

- Ο αισθητήρας πίεσης που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της πίεσης καύσης δεν ήταν τοποθετημένος μετωπικά. Αντί αυτού ήταν τοποθετημένος (για πρακτικούς λόγους) σε απόσταση από τον θάλαμο καύσης, μέσω ενός συνδετικού σωλήνα και του εξαεριστικού κρουνού. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, η μετρημένη πίεση να είναι παραμορφωμένη, με το μέγεθος της παραμόρφωσης να εξαρτάται από τη διάμετρο και το μήκος του συνδετικού αγωγού.
- Η παραπάνω επίδραση ήταν πολύ μικρή για τους 2-X κινητήρες πρόωσης λόγω της χαμηλής ταχύτητας περιστροφής τους και της μεγάλης διαμέτρου των κυλίνδρων σε σχέση με αυτή των αγωγών που συνδέουν τον αισθητήρα με το θάλαμο καύσης.
- Για τις γεννήτριες η επίδραση ήταν εντονότερη με αποτέλεσμα την εμφάνιση ψευδούς (φαινόμενης) καύσης κατά τη φάση της εκτόνωσης.
- Η μέγιστη πίεση πίεσης καύσης σχετίζεται με το ρυθμό της καύσης, αλλά η τιμή της επηρεάζεται σημαντικά από την έναρξη της έγχυσης καυσίμου και την πίεση συμπίεσης. Γι’ αυτό το λόγο, ασφαλή συμπεράσματα με απευθείας σύγκριση μπορούν να εξαχθούν μόνο εάν τα προηγούμενα είναι ίδια.
- Για το λόγο αυτό ασφαλέστερη σύγκριση είναι αυτή που βασίζεται στη διαφορά $P_{fire}-P_{ign}$, η οποία επηρεάζεται κυρίως από το ρυθμό της καύσης και τη δυναμική προπορεία. Για τις περιπτώσεις για τις οποίες υπάρχουν δεδομένα πίεσης καυσίμου, είναι δυνατόν να αξιολογηθεί η επίδραση του καυσίμου με ασφαλή τρόπο καθώς μπορεί να προσδιορισθεί η δυναμική προπορείας έγχυσης (ακόμη και σε περιπτώσεις όπου οι διαφορές στις τιμές πίεσης συμπίεσης είναι μεγάλες).

9.2 Επίδραση του MGO σε δίχρονους κινητήρες πρόωσης

9.2.1 Επίδραση σε συμβατικούς κινητήρες με εκκεντροφόρο

Από την ανάλυση των δεδομένων που προήλθαν και από τα δύο συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν για τη καταγραφή της πίεσης καύσης και της πίεσης έγχυσης (στη μια περίπτωση) προέκυψαν τα ακόλουθα:

9.2.1.1 Επίδραση στο μηχανισμό έγχυσης:

- Η δυναμική προπορεία με MGO είναι ελαφρώς χαμηλότερη λόγω της επίδρασης των ιδιοτήτων του καυσίμου στην καμπύλη πίεσης έγχυσης.
- Η καθυστέρηση ανάφλεξης είναι μειωμένη για το MGO, λόγω του υψηλού αριθμού κετανίου του.

- Η πίεση έγχυσης με το MGO είναι γενικά χαμηλότερη. Αυτό αποδίδεται στις μεγαλύτερες διαρροές στην αντλία καυσίμου (μεταξύ του εμβόλου και χιτωνίου της) και στις χαμηλότερες τιμές πυκνότητας και συνεκτικότητας του καυσίμου.
- Για την περίπτωση λειτουργίας στο 75% του φορτίου με MGO εντοπίστηκε αρνητική επίδραση στη λειτουργία της βαλβίδας αναρρόφησης. Αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν σε μελλοντικές εφαρμογές.

9.2.1.2 Επίδραση στο μηχανισμό της καύσης και την απόδοση του κινητήρα:

- Η μέγιστη πίεση καύσης είναι χαμηλότερη με τη χρήση MGO.
- Η διαφορά $P_{fire}-P_{ign}$ είναι εμφανώς μειωμένη με τη χρήση MGO.
- Ο μέγιστος ρυθμός έκλυσης θερμότητάς είναι χαμηλότερος με MGO.
- Η γωνία όπου έχει καεί το 50% του καυσίμου είναι μικρότερη για MGO, μαρτυρώντας ταχύτερη καύση.
- Οι τιμές της γωνίας για την οποία έχει καεί το 95% του καυσίμου είναι παρόμοιες.
- Η καθυστέρηση έναυσης με MGO είναι μικρότερη. Η διαφορά είναι εντονότερη στα χαμηλά φορτία.
- Οι τιμές της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου είναι παρόμοιες με MGO και HFO αφού διορθωθούν για την ίδια τιμή θερμογόνου.
- Η επίδραση του MGO στο μηχανισμό της καύσης και την απόδοση μπορεί να ελαττωθεί με ρύθμιση της προπορείας, με χρήση του δείκτη VIT.

9.2.2 Επίδραση στους ηλεκτρονικά ελεγχόμενους κινητήρες

Η επίδραση του MGO στους δύο κινητήρες χωρίς εκκεντροφόρο ήταν παρόμοια και συνοψίζεται στα ακόλουθα:

- Η μέγιστη πίεση καύσης είναι περίπου ίδια, κάτι το οποίο είναι αποτέλεσμα της αυτόματης ρύθμισης της λειτουργίας. Δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν σαφή συμπεράσματα εκτός και αν η πίεση συμπίεσης και η προπορεία έγχυσης είναι ίδιες και για τα δύο καύσιμα.
- Η διαφορά $P_{fire}-P_{ign}$ είναι εμφανώς αυξημένη με τη χρήση MGO. Αυτό αποδίδεται στις ιδιότητες του καυσίμου.
- Ο μέγιστος ρυθμός καύσης με το MGO είναι χαμηλότερος στα χαμηλά φορτία.
- Η γωνία για την οποία έχει καεί το 50% του καυσίμου είναι η ίδια για τα δύο καύσιμα.
- Η γωνία για την οποία έχει καεί το 95% του καυσίμου είναι μεγαλύτερη για το MGO μαρτυρώντας ελαφρώς χαμηλότερο ρυθμό καύσης κατά τη φάση της εκτόνωσης.
- Η καθυστέρηση ανάφλεξης είναι μικρότερη με το MGO.
- Οι τιμές της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου είναι χαμηλότερες με MGO. Η μέση διαφορά κυμαίνεται στο $\sim +3\%$ μετά τη διόρθωση στην ίδια τιμή θερμογόνου.
- Λόγω της αυτόματης ρύθμισης της λειτουργίας του κινητήρα η επίδραση του καυσίμου είναι μικρή.

9.2.3 Επίδραση στην ημι-ηλεκτρονική μηχανή (οι βαλβίδες εξαγωγής ελέγχονται με εκκεντροφόρο)

Η επίδραση του MGO σε αυτό τον κινητήρα είναι παρόμοια και συνοψίζεται στα εξής:

- Η διαφορά $P_{fire}-P_{ign}$ είναι υψηλότερη με MGO. Αυτό αποδίδεται κυρίως στα χαρακτηριστικά του καυσίμου, ενώ στο χαμηλό φορτίο ενισχύεται από τη νωρίτερη έγχυση καυσίμου, προκειμένου να επιτευχθούν ίδιες τιμές μέγιστης πίεσης καύσης.
- Ο μέγιστος ρυθμός καύσης είναι μεγαλύτερος με MGO.
- Η γωνία για την οποία έχει καεί το 50% του καυσίμου είναι η ίδια και για τα δύο καύσιμα.
- Η γωνία για την οποία έχει καεί το 95% του καυσίμου είναι μεγαλύτερη για HFO, μαρτυρώντας ελαφρώς χαμηλότερο ρυθμό καύσης κατά τη φάση της εκτόνωσης.
- Η καθυστέρηση ανάφλεξης είναι μικρότερη με MGO.
- Οι τιμές της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου είναι χαμηλότερες για MGO μετά τη διόρθωση στην ίδια θερμογόνο. Η διαφορά είναι μεγαλύτερη όταν συγκρίνεται με τις περισσότερες (τεχνολογικά) ανεπτυγμένες ηλεκτρονικές μηχανές.

9.3 Επίδραση του MGO στους 4-χρονους βοηθητικούς κινητήρες

Όπως αναφέρεται και στο κυρίως κείμενο η επίδραση του MGO στον μηχανισμό της καύσης και την λειτουργική συμπεριφορά των κινητήρων αναμένεται να είναι αυξημένη, καθώς οι 4-χρονοι κινητήρες έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής. Ο λόγος είναι ότι οι διαφορές, όταν εκφράζονται σε μοίρες γωνίας στροφάλου είναι σημαντικά μεγαλύτερες.

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν δύο διαφορετικοί κινητήρες:

- Ένας καινούργιος κινητήρας με μικρό αριθμό ωρών λειτουργίας.
- Ένας παλαιότερος με περισσότερες ώρες λειτουργίας και μικρότερη διάμετρο εμβόλου.

9.3.1 Επίδραση στον βοηθητικό κινητήρα με λίγες ώρες λειτουργίας

- Η τιμές της μέγιστης πίεσης ήταν παρόμοιες για τα δύο καύσιμα, παρά τη νωρίτερη έναυση για την περίπτωση της λειτουργίας με MGO. Αυτό μαρτυρά χαμηλότερο ρυθμό έγχυσης καυσίμου και πιθανότατα αποδίδεται στις αυξημένες διαρροές στην αντλία καυσίμου.
- Ο μέγιστος ρυθμός καύσης είναι χαμηλότερος με MGO.
- Η γωνία για την οποία έχει καεί το 50% του καυσίμου είναι παρόμοια για τα δύο καύσιμα.
- Η συνολική διάρκεια καύσης είναι ελαφρώς μεγαλύτερη για το HFO.
- Η καθυστέρηση ανάφλεξης είναι μικρότερη με MGO.
- Οι τιμές της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου είναι ελαφρώς μεγαλύτερες για MGO, λόγω του χαμηλότερου ρυθμού έγχυσης καυσίμου εξαιτίας των ιδιοτήτων του.

9.3.2 Επίδραση στον βοηθητικό κινητήρα με πολλές ώρες λειτουργίας

- Η τιμές της μέγιστης πίεσης ήταν παρόμοιες για τα δύο καύσιμα, παρά τη νωρίτερη έναυση για την περίπτωση της λειτουργίας με MGO. Αυτό μαρτυρά χαμηλότερο ρυθμό έγχυσης καυσίμου και πιθανότατα αποδίδεται στις αυξημένες διαρροές στην αντλία καυσίμου.
- Ο μέγιστος ρυθμός καύσης είναι παρόμοιος για τα δύο καύσιμα.
- Η γωνία για την οποία έχει καεί το 50% του καυσίμου είναι μεγαλύτερη για MGO μαρτυρώντας χαμηλότερο ρυθμό καύσης στο αρχικό στάδιο.
- Η γωνία για την οποία έχει καεί το 95% του καυσίμου είναι παρόμοια για τα δύο καύσιμα μαρτυρώντας παρόμοια διάρκεια καύσης.
- Η καθυστέρηση ανάφλεξης είναι χαμηλότερη για MGO.
- Οι τιμές ειδικής κατανάλωσης καυσίμου είναι πρακτικά οι ίδιες.

9.4 Γενικά Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις

Από την ανάλυση που διενεργήθηκε για όλους τους τύπους κινητήρων προέκυψαν οι ακόλουθες γενικές διαπιστώσεις:

- Η επίδραση του MGO στην απόδοση του κινητήρα και την καύση σχετίζεται με τον τύπο του κινητήρα και την κατάσταση του. Ως εκ τούτου, είναι δύσκολο να συναχθούν γενικά συμπεράσματα για την επίδρασή του καυσίμου στην λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα.
- Η επίδραση του MGO είναι εντονότερη για τους κινητήρες που έχουν σύστημα έγχυσης καυσίμου (αντλίες καυσίμων) με αυξημένες φθορές, δηλαδή αυξημένο διάκενο εμβόλου-κυλίνδρου. Αυτό οφείλεται στις αυξημένες διαρροές που οδηγούν σε αργή αύξηση της πίεσης καυσίμου με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται η αρχή της έγχυσης (δυναμική προπορεία) και να γίνεται μικρότερος ο ρυθμός έγχυσης.
- Η επίδραση του MGO είναι πιο έντονη στους 4-χρονους βοηθητικούς κινητήρες λόγω της υψηλότερης ταχύτητας περιστροφής τους.
- Η επίδραση του MGO στους συμβατικούς 2-χρονους κινητήρες είναι πιο έντονη σε σύγκριση με εκείνη στους τεχνολογικά εξελιγμένους ηλεκτρονικούς κινητήρες.
- Η επίδραση του MGO στη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα και το μηχανισμό της καύσης μπορεί να αντισταθμιστεί εν μέρει με κατάλληλη ρύθμιση της δυναμικής προπορείας έγχυσης.
- Η χρήση MGO οδηγεί γενικά στα ακόλουθα αποτελέσματα για όλους τους τύπους κινητήρων:

- ✓ Ελαφρώς καθυστερημένη έναρξη έγχυσης λόγω των αυξημένων διαρροών από το συγκρότημα εμβόλου-κυλίνδρου της αντλίας καυσίμου (για κινητήρες με εμβολοφόρο αντλία). Αυτό με τη σειρά του επηρεάζει το μηχανισμό της έγχυσης και κατά συνέπεια τη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα.
- ✓ Μείωση της καθυστέρησης ανάφλεξης λόγω του αυξημένου αριθμού κετανίου. Αυτό στις περισσότερες περιπτώσεις εν μέρει αντισταθμίζει τη μείωση του δυναμικού χρονισμού έγχυσης που αναφέρεται παραπάνω.
- ✓ Υψηλότερες τιμές διαφοράς $P_{fire}-P_{ign}$ που οφείλονται στην ταχύτερη καύση του εγχυόμενου καυσίμου.
- ✓ Η χρήση του MGO σε δίχρονους κινητήρες, έχει σε γενικές γραμμές ως αποτέλεσμα τη μείωση των τιμών της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου. Ωστόσο, αυτή είναι η περίπτωση μόνο για κινητήρες με συστήματα ψεκασμού σε καλή κατάσταση. Για κινητήρες με φθαρμένα συστήματα ψεκασμού καυσίμου οι τιμές SFOC μπορεί ακόμη και να αυξηθούν. Αυτό δεν είναι άμεση συνέπεια των χαρακτηριστικών του καυσίμου, αλλά το αποτέλεσμα της επίδρασής τους επί του μηχανισμού έγχυσης.
- ✓ Η διαφορά της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (SFOC) με MGO στους 2-χρονους κινητήρες είναι πιο έντονη στους λιγότερο προηγμένους (τεχνολογικά).
- ✓ Για τους 4-χρονους κινητήρες η χρήση MGO στους κινητήρες που εξετάστηκαν δεν οδήγησε σε μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (SFOC_ λόγω της επίδρασής του στην λειτουργία του συστήματος έγχυσης καυσίμου και κυρίως στη δυναμική προπορεία έγχυσης. Η μακροχρόνια χρήση MGO μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην λειτουργία του συστήματος έγχυσης καυσίμου λόγω των χαμηλότερων λιπαντικών του ιδιοτήτων και του ιξώδους του. Αυτό παρατηρήθηκε στο συμβατικό 2-χρονο κινητήρα για τον οποίο η χρήση του MGO στο 75% είχε αρνητική επίδραση στη λειτουργία της βαλβίδας αναρρόφησης.

Σε γενικές γραμμές, μπορεί να ειπωθεί ότι η επίδραση του τύπου του καυσίμου στην απόδοση και τον μηχανισμό της καύσης σε ένα ναυτικού κινητήρα δεν είναι μόνο αποτέλεσμα του ίδιου του καυσίμου (δηλαδή καθυστέρηση ανάφλεξης κ.λπ.), αλλά κυρίως αποτέλεσμα της επίδρασης του στο μηχανισμό έγχυσης, δηλαδή τη δυναμική προπορεία, την πίεση και το ρυθμό έγχυσης του καυσίμου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] John B. Heywood (1989). Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill
- [2] Κωνστ. Δ. Ρακόπουλος και Δημ. Θ. Χουντάλας (1998). Καύση Ρύπανση Εμβολοφόρων ΜΕΚ. Αθήνα, Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου
- [3] Mark C. Ford (2012). A master's guide to: Using fuel oil onboard ships. [online], [pdf.], Available at: <http://www.standard-club.com/media/24163/AMastersGuidetoUsingFuelOilOnboardships.pdf>, [Accessed 4 July 2016]
- [4] CIMAC (2013). GUIDELINE FOR THE OPERATION OF ENGINES ON LOW SULPHUR DIESEL. [online], [.pdf], Available at: http://www.cimac.com/cms/upload/workinggroups/WG7/CIMAC_SG1_Guideline_Low_Sulphur_Diesel.pdf, [Accessed 4 July 2016]
- [5] ABS (1984). Notes on Heavy Fuel Oil. [online], [.pdf.], Available at: https://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&Guides/Current/31_HeavyFuelOil/Pub31_HeavyFuelOil, [Accessed 4 July 2016]
- [6] MAN Diesel and Turbo (-). Operation on low-sulphur fuels. [.pdf], Available at: <http://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/technical-papers/operation-on-low-sulphur-fuels.pdf?sfvrsn=20>, [Accessed 4 July 2016]
- [7] Henrik Worren (2010). Thesis on Marine Fuels. [online], [.pdf], Available at: <http://ntnu.diva-portal.org/smash/get/diva2:375635/FULLTEXT01.pdf>, [Accessed 4 July 2016]
- [8] ABS (2014). Fuel Switching Advisory Notice. [online], [.pdf], Available at: <https://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/References/ABS%20Advisories/FuelSwitchingAdvisory>, [Accessed 4 July 2016]
- [9] Wartzila (2006). Low Sulphur Guidelines. [online], [.pdf], Available at: <http://www.intertanko.com/upload/24779/low sulphurguidelines.pdf>, [Accessed 4 July 2016]
- [10] Chris van Gijssel and Roelf Drijfholt (2009). Distillate Fuel Use Wartzila 2-Stroke Engine Practical Experience. [online], [.pdf], Available at: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jime/44/6/44_865/pdf, [Accessed 4 July 2016]
- [11] Nikolaos F. Sakellaris (2016). Development of a Physically- Based Simulation and Diagnosis Methodology for Supercharging Systems and its Application on Large Scale Marine Diesel Engines. PhD. National Technical University of Athens.
- [12] Dimitrios T. Chountalas and Georgios Mavropoulos (2016). Training in Marine Diesel Engines.
- [13] Maria Tsobanoglou (2015). Evaluation of effect of HFO (RMG380) and MGO (DMA) in Main Engine Operation.
- [14] Φαρμακός Ευάγγελος (2015). Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για τη Προσομοίωση του Κλειστού Κύκλου Κινητήρων Diesel με Χρήση του Πειραματικού Ρυθμού Έκλυσης Θερμότητας. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [15] Daihatsu. Environmentally Friendly Gensets Diesel Engine 6DE-18. [online], Available at: <http://www.dhtd.co.jp/en/products/marine/auxiliary/6DE-18.html>, [Accessed 4 July 2016]
- [16] marine.man.eu. L23/30H. [online], Available at: <http://marine.man.eu/gensets/marine-gensets/l23-30h>, [Accessed 4 July 2016]
- [17] MAN (2014). MAN B&W S50ME-B9.3-TII Project Guide Electronically Controlled Two-stroke Engines with Camshaft Controlled Exhaust Valves. [online], [.pdf], Available at: http://marine.man.eu/applications/projectguides/2stroke/content/epub/S50ME-B9_3.pdf, [Accessed 4 July 2016]
- [18] MAN (2014). MAN B&W S60MC-C8.2-TII Project Guide Camshaft Controlled Two-stroke Engines. [online], [.pdf], Available at: http://marine.man.eu/applications/projectguides/2stroke/content/printed/S60MC-C8_2.pdf, [Accessed 4 July 2016]
- [19] MAN (2014). MAN B&W S50ME-B9.3-TII Project Guide Electronically Controlled Two-stroke Engines. [online], [.pdf], Available at: http://marine.man.eu/applications/projectguides/2stroke/content/printed/S60ME-C8_2.pdf, [Accessed 4 July 2016]

[20] Νικόλαος Καραμπετάκης (2011). Εισαγωγή στη Fortran 90/95/2003. Θεσσαλονίκη, Ζήτη