



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Πειραματική Διερεύνηση της Επίδρασης της Ποιότητας του
Μείγματος στο Μηχανισμό της Καύσης του Εμβολοφόρου
Βενζινο-Κινητήρα R2800



Διπλωματική Εργασία:
Χριστίνα Ι. Νικήτα

Επιβλέπων: Δημήτριος Θ. Χουντάλας,
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2011

Πρόλογος

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη της λειτουργικής συμπεριφοράς του αστεροειδούς κινητήρα, τύπου R2800, της εταιρείας Pratt & Whitney και της επίδρασης του μείγματος στο μηχανισμό της καύσης. Ο συγκεκριμένος κινητήρας αποτελεί το προωθητικό σύστημα του αμφίβιου αεροσκάφους τύπου CL-215 της εταιρείας Canadair. Η Ελληνική Πολεμική Αεροπορία, έχει ήδη προμηθευτεί από το 1974 δεκατέσσερα τέτοιου τύπου αεροσκάφη τα οποία επανδρώνουν την 355 Μοίρα Τακτικών Μεταφορών που εδρεύει στην περιοχή της Ελευσίνας. Τα αεροσκάφη αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατάσβεση δασικών πυρκαγιών. Παρά το γεγονός ότι η χρήση του εμβολοφόρου κινητήρα τύπου R2800 στην πρόωση αμφιβίων αεροσκαφών μπορεί να θεωρηθεί ως ξεπερασμένη, εντούτοις οι καλές λειτουργικές επιδόσεις που επιδεικνύει στις ιδιαίτερα δυσμενείς συνθήκες κατάσβεσης πυρκαγιάς συμβάλλουν στη μέχρι σήμερα διατήρηση του αεροσκάφους CL-215 σε επιχειρησιακή ετοιμότητα. Η βέλτιστη λειτουργία του κινητήρα R2800 που εφοδιάζει το αεροσκάφος CL-215 είναι υψίστης σημασίας δεδομένων των ιδιαίτερα απαιτητικών συνθηκών πτήσεως. Όμως, λόγω της παλαιότητας του συγκεκριμένου τύπου κινητήρα ο έλεγχος για τη βέλτιστη λειτουργία του, η συντήρηση και η επισκευή του είναι διαδικασία επίπονη, πολυδάπανη και χρονοβόρα. Με στόχο την εύκολη και έγκυρη διάγνωση βλαβών στον συγκεκριμένο τύπο κινητήρα, αναπτύχθηκε κατάλληλη διαγνωστική τεχνική για κινητήρες σπινθηρισμού και αντίστοιχο διαγνωστικό λογισμικό (EDS-3), υπό την καθοδήγηση και επίβλεψη του Καθηγητή του Δ.Χουντάλα.

Η παρούσα εργασία εκτελέστηκε στα πλαίσια ερευνητικού έργου με τίτλο «Αξιολόγηση Δοκιμαστηρίου Κινητήρων R-2800» που έχει ανατεθεί από την Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία (EAB) στο εργαστήριο MEK του ΕΜΠ. Βασικός σκοπός του συγκεκριμένου ήταν η αξιολόγηση του υφιστάμενου δοκιμαστηρίου εμβολοφόρων κινητήρων R2800 που διαθέτει η EAB στις εγκαταστάσεις της στην Τανάγρα Βοιωτίας. Η ανωτέρω αξιολόγηση επετεύχθη μέσω της συγκριτικής αξιολόγησης ενός εμβολοφόρου βενζινοκινητήρα τύπου R2800 της Ελληνικής Πολεμικής Αεροπορίας που έχει επισκευασθεί από την EAB και ενός άλλου ίδιου τύπου κινητήρα που έχει επισκευασθεί στις Ηνωμένες πολιτείες Αμερικής (ΗΠΑ). Η ανωτέρω συγκριτική αξιολόγηση έγινε με χρήση του διαγνωστικού λογισμικού EDS-3 το οποίο εφαρμόστηκε για την επεξεργασία δύο ομάδων μετρήσεων (η μία ομάδα αφορά μετρήσεις σε κινητήρα R2800 που έχει επισκευασθεί στην EAB ενώ η δεύτερη ομάδα αφορά μετρήσεις ίδιου τύπου κινητήρα (με S/N: 35362) που έχει επισκευασθεί στις ΗΠΑ), οι οποίες έλαβαν χώρα στο δοκιμαστήριο της EAB. Στα πλαίσια αυτής της διερεύνησης μελετήθηκε και η επίδραση της ποιότητας του μείγματος στη λειτουργία και το μηχανισμό της καύσης που αποτελεί το κύριο αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Για τον σκοπό αυτό διεξήχθη εκτεταμένη πειραματική διερεύνηση στο δοκιμαστήριο της EAB όπου ελήφθησαν μετρήσεις διαφόρων λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα – όπως π.χ. η πίεση του οχετού εισαγωγής, η παροχή και η πίεση του καυσίμου, η θερμοκρασία των κεφαλών του κινητήρα κ.α. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με το πρωτόκολλο δοκιμών που υπαγορεύει ο κατασκευαστής του συγκεκριμένου τύπου κινητήρα. Ταυτόχρονα, με χρήση ειδικής μετρητικής διάταξης που αναπτύχθηκε στο ΕΜΠ υπό την επίβλεψη του Καθηγητή του Δ.Χουντάλα πραγματοποιήθηκε παράλληλη καταγραφή της πίεσης καύσης ενός κυλίνδρου και των σημάτων από το ηλεκτρικό σύστημα έναυσης του κινητήρα και των δύο σειρών κυλίνδρων. Σε κάθε ομάδα μετρήσεων ελήφθησαν μετρήσεις σε τέσσερις διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής, ήτοι 2000, 2300, 2500 και 2800 rpm. Σε κάθε ταχύτητα περιστροφής ελήφθησαν μετρήσεις για δύο καταστάσεις λειτουργίας που αφορούν στην ποιότητα του μείγματος καυσίμου-αέρα: λειτουργία με αρκετά πλούσιο μείγμα (rich operation) και λειτουργία με λιγότερο πλούσιο μείγμα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονισθεί ότι και στις δύο καταστάσεις λειτουργίας ο κινητήρας λειτουργεί με λόγους ισοδυναμίας αέρα-καυσίμου μικρότερους της μονάδας δηλαδή πάντα με πλούσιο μείγμα. Μετά την λήψη και την καταγραφή των μετρήσεων ακολουθεί η ανάλυση και αξιολόγησή τους με τη χρήση του διαγνωστικού λογισμικού EDS-3. Η πιστοποίηση της ορθότητας των συμπερασμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή του διαγνωστικού λογισμικού

πραγματοποιείται μέσω της συγκριτικής αξιολόγησης ορισμένων κρίσιμων λειτουργικών παραμέτρων (π.χ. ισχύς κινητήρα) με τις αντίστοιχες μετρημένες στο δοκιμαστήριο τιμές.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι αφενός μεν η αξιολόγηση και επιβεβαίωση της ομαλής και ικανοποιητικής λειτουργίας του συγκεκριμένου κινητήρα R2800 που δοκιμάστηκε στο δοκιμαστήριο της EAB, για να αξιολογηθεί η ποιότητα της επισκευής του τελευταίου και αφετέρου η διερεύνηση της επίδρασης του μείγματος αέρα-καυσίμου στο μηχανισμό της καύσης. Τα ανωτέρω επιτυγχάνονται μέσω της επεξεργασίας των λειτουργικών δεδομένων και της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τη διαγνωστική διαδικασία. Όσον αφορά στην αξιολόγηση της λειτουργικής συμπεριφοράς του κινητήρα, αυτή επιτυγχάνεται μέσω της συγκριτικής παράθεσης διαγραμμάτων, του χρονισμού του κινητήρα, της διάρκειας της καύσης και της διάρκειας του σπινθηρισμού. Από τη μελέτη των ανωτέρω λειτουργικών παραμέτρων προκύπτει μια σαφής εικόνα τόσο για την κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα που έχει επισκευασθεί στο εξωτερικό όσο και για την επάρκεια του δοκιμαστηρίου της EAB, όσον αφορά στην εκτέλεση αξιόπιστων ελέγχων της λειτουργικής κατάστασης κινητήρων R2800.

Όσον αφορά στη διερεύνηση της επίδρασης της ποιότητας του μείγματος αέρα - καυσίμου στο μηχανισμό της καύσης, αυτή πραγματοποιείται μέσω της συγκριτικής παράθεσης κρίσιμων παραμέτρων, όπως είναι ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, η μέγιστη θερμοκρασία της καύσης και η ειδική κατανάλωση καυσίμου, μεταξύ των δύο καταστάσεων λειτουργίας που μελετήθηκαν (rich operation και lean operation). Από τη συγκριτική αξιολόγηση των ανωτέρω παραμέτρων προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τον προσδιορισμό της κατάλληλης αναλογίας αέρα-καυσίμου που θα εξασφαλίζει τη βέλτιστη δυνατή λειτουργία του κινητήρα.

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στη σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου. Η εκπόνηση της εργασίας έλαβε χώρα από το Νοέμβριο του 2010 έως τον Σεπτέμβριο του 2011. Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην αποπεράτωσή της και ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή του ΕΜΠ, κο Δ. Χουντάλα, για την ουσιαστική καθοδήγηση και βοήθεια που μου προσέφερε. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα κο Ρούσσο Παπαγιαννάκη για τη βοήθεια και την άψογη συνεργασία μας καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Επίσης ευχαριστώ τον υποψήφιο διδάκτορα του ΕΜΠ κο Αντώνη Αντωνόπουλο, το τεχνικό προσωπικό της EAB, το τεχνικό προσωπικό στις εγκαταστάσεις του στρατιωτικού αεροδρομίου της Ελευσίνας που επέτρεψαν την παρακολούθηση και τη συμμετοχή μου στη διαδικασία λήψης μετρήσεων. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συμπαράστασή της όλα τα χρόνια της φοιτητικής μου πορείας και ιδιαίτερα τον πατέρα μου, ο οποίος με προσωπικές του θυσίες μου επέτρεψε να πραγματοποιήσω τις σπουδές που ήθελα.

Χριστίνα Ι. Νικήτα
Αθήνα, Οκτώβριος 2011

Πειραματική Διερεύνηση της Επίδρασης της Ποιότητας του Μείγματος στο Μηχανισμό της Καύσης του Εμβολοφόρου Κινητήρα R2800

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	1
Εισαγωγή	3
1 Αρχές Εμβολοφόρων Κινητήρων	5
1.1 Γενικά.....	5
1.2 Ο 4-χρονος βενζινοκινητήρας.....	8
1.2.1 Πραγματικός κύκλος λειτουργίας βενζινοκινητήρα.....	10
1.3 Περιγραφή της καύσης – Κύρια χαρακτηριστικά αυτής.....	13
1.4 Τυπικό δυναμοδεικτικό διάγραμμα πίεσης συναρτήσει της γωνίας στροφάλου.....	15
2 Εμβολοφόροι Κινητήρες Αεροσκαφών	17
2.1 Συστήματα ανάμειξης αέρα – καυσίμου.....	18
2.2 Συστήματα ανάφλεξης	20
2.3 Υπερτροφοδότηση	22
2.4 Ιδιαιτερότητες των Αεροπορικών Κινητήρων όσον αφορά στην Ποιότητα του Μείγματος Αέρα –Καυσίμου	
3 Περιγραφή του Κινητήρα R2800 που εφοδιάζει το Α/φος CL-215.....	24
3.1 Προδιαγραφές – Τεχνικά Στοιχεία και χαρακτηριστικά λειτουργίας της μηχανής.....	24
3.1.1 Γενικά.....	24
3.1.2 Χρονισμός των Βαλβίδων.....	25
3.1.3 Σύστημα Έναυσης.....	26

3.1.4	Σύστημα Καυσίμου.....	27
3.1.5	Σειρά Ανάφλεξης.....	28
3.2	Ανάλυση και συνοπτική παρουσίαση των επιμέρους τμημάτων του κινητήρα R2800.....	29
3.2.1	Εμπρόσθιο τμήμα.....	31
3.2.2	Εμπρόσθιο τμήμα παρελκομένων.....	32
3.2.3	Τμήμα στροφαλοθαλάμου.....	33
3.2.4	Τμήμα Υπερπλήρωσης.....	36
3.2.5	Ενδιάμεσο οπίσθιο τμήμα.....	37
3.2.6	Οπίσθιο τμήμα.....	38
3.2.7	Κύλινδροι και έμβολα.....	39
4	Υπάρχουσες Τεχνικές Ελέγχου Ισχύος του Κινητήρα R2800.....	41
5	Παρουσίαση της Πειραματικής Διαδικασίας - Περιγραφή του Δοκιμαστηρίου της EAB - Μετρητική Διάταξη ΕΜΠ.....	51
5.1	Παρουσίαση του Δοκιμαστηρίου της EAB.....	53
5.2	Περιγραφή της Μετρητικής Διάταξης του ΕΜΠ.....	56
5.3	Χρήση Μετρητικής Διάταξης.....	57
5.4	Μετρούμενα Μεγέθη.....	58
6	Διαγνωστική Διαδικασία με τη Χρήση του Λογισμικού EDS-3.....	59
6.1	Γενικά.....	59
6.2	Εισαγωγή στο περιβάλλον του διαγνωστικού λογισμικού EDS-3.....	61
6.3	Ανάλυση της Πορείας της Διάγνωσης.....	65
6.3.1	Προσδιορισμός Σημείου Εναύσεως και ΑΝΣ Κινητήρα.....	65
6.3.2	Προσδιορισμός Χρονισμού Σπινθήρα.....	66
6.4	Προσδιορισμός Χρονισμού των Βαλβίδων.....	68
6.4.1	Προσδιορισμός Σημείου Ανοίγματος Βαλβίδας Εξαγωγής.....	68
6.4.2	Προσδιορισμός Σημείου Κλεισίματος Βαλβίδας Εξαγωγής.....	69
6.4.3	Προσδιορισμός Σημείου Κλεισίματος Βαλβίδας Εισαγωγής.....	70

6.5	Ολοκλήρωση Διαγνωστικής Διαδικασίας	71
6.5.1	Επιλογή “RESULTS”	72
7	Αξιολόγηση της λειτουργίας του κινητήρα R2800	75
7.1	Σημείο Έναυσης και Διάρκεια Σπινθηρισμού	75
7.1.1	Λειτουργία με Αρκετά Πλούσιο Μείγμα (Rich Operation)	76
7.1.2	Λειτουργία με Λιγότερο Πλούσιο Μείγμα (Lean Operation)	80
7.2	Διάρκεια του Σπινθηρισμού.....	83
7.3	Διάρκεια της Κάυσης.....	84
7.3.1	Λειτουργία με Αρκετά Πλούσιο Μείγμα.....	85
7.3.2	Λειτουργία με Λιγότερο Πλούσιο Μείγμα.....	88
7.4	Ισχύς του κινητήρα	91
8	Επίδραση της ποιότητας του μείγματος στη λειτουργία του κινητήρα R280093	
8.1	Πορεία της Καύσης συναρτήσει της ποιότητας του μείγματος.....	93
8.2	Διάρκεια Κάυσης Συναρτήσει της Ποιότητας του Μείγματος.....	97
8.3	Μέγιστη Θερμοκρασία Καύσης Συναρτήσει της Ποιότητας του Μείγματος.....	98
8.4	Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου Συναρτήσει της Ποιότητας του Μείγματος.....	99
8.4.1	Εκτίμηση Παροχής Μάζας Αέρα με Χρήση Μαθηματικών Σχέσεων Υπολογισμού από την Μηχανική Ρευστών.....	101
8.4.2	Εκτίμηση Παροχής Αέρα από την Εμπειρική Σχέση του Κατασκευαστή.....	105
9	Σύνοψη-Συμπεράσματα	110
	Βιβλιογραφία-Πηγές.....	113

Περίληψη

Στο πρώτο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι βασικές έννοιες και οι αρχές λειτουργίας των εμβολοφόρων κινητήρων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στον τετράχρονο κινητήρα σπινθηρισμού, στην κατηγορία του οποίου υπάγεται και ο υπό εξέταση κινητήρας τύπου R2800. Γίνεται αναλυτική περιγραφή του ιδανικού κύκλου λειτουργίας και επιπλέον περιγράφονται όλες εκείνες οι παράμετροι που συντελούν στην απόκλιση του πραγματικού κύκλου λειτουργίας από τον αντίστοιχο ιδανικό. Τέλος, γίνεται συνοπτική αναφορά στις έννοιες «Δυναμοδεικτικό Διάγραμμα» και «Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας» οι οποίες θα μας απασχολήσουν στο κύριο μέρος της διπλωματικής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο επισημαίνονται και περιγράφονται οι ιδιαιτερότητες ενός εμβολοφόρου κινητήρα σπινθηρισμού αεροπορικής χρήσης. Οι απότομες εναλλαγές των συνθηκών εισόδου καθιστούν απαραίτητη τη χρήση διαφόρων βοηθητικών συστημάτων, η λειτουργία των οποίων παρουσιάζεται συνοπτικά στη συγκεκριμένη ενότητα.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής παρουσίαση και ανάλυση των επι μέρους τμημάτων του υπο εξέταση κινητήρα τύπου R2800 που εφοδιάζει το Α/φος CL-215.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρατίθενται αποσπάσματα από τα εγχειρίδια ελέγχου και συντήρησης του κινητήρα R2800 που αφορούν στη διαδικασία που ακολουθείται για τον έλεγχο ισχύος του κινητήρα καθώς και τις απαιτούμενες διορθώσεις που εισάγονται στις τιμές των λαμβανομένων μετρήσεων. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρατίθενται πληροφορίες σχετικά με το περιθώριο ασφαλούς λειτουργίας του κινητήρα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση της πειραματικής διάταξης και αναλύεται η διαδικασία για τη λήψη των απαιτούμενων μετρήσεων. Αρχικά παρατίθεται φωτογραφικό υλικό τόσο από το δοκιμαστήριο της EAB όσο και από τη μετρητική διάταξη του ΕΜΠ που φέρει και το διαγνωστικό λογισμικό EDS-3. Επίσης στο συγκεκριμένο κεφάλαιο δίνονται πληροφορίες για τα σημεία λειτουργίας στα οποία ελήφθησαν οι μετρήσεις.

Το έκτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην παρουσίαση και ανάλυση της διαγνωστικής διαδικασίας, όπως αυτή πραγματοποιείται μέσω του διαγνωστικού λογισμικού EDS-3. Γίνεται χρήση μιας ενδεικτικής μέτρησης και επεξηγείται ο τρόπος που γίνεται η διαχείριση των αρχείων μετρήσεων «Πίεσης Αερίων Κυλίνδρου» και «Σήματος Σπινθηριστή».

Στο έβδομο κεφάλαιο, επιχειρείται η αξιολόγηση της λειτουργικής συμπεριφοράς του υπό εξέταση κινητήρα μέσω των αποτελεσμάτων που εξάγονται από το διαγνωστικό λογισμικό EDS-3. Η αξιολόγηση πραγματοποιείται τόσο στο σημείο του μέγιστου φορτίου (take off power- 2800rpm) όσο και σε ενδιάμεσα σημεία προκειμένου να καλυφθεί όλο το φάσμα λειτουργίας του κινητήρα. Συγκεκριμένα, μελετάται η ορθότητα του σημείου εναύσεως και η διάρκεια του σπινθηρισμού, δεδομένης της κρισιμότητας των δύο αυτών παραμέτρων στη δημιουργία και εξάπλωση του μετώπου της φλόγας μέσα στον κύλινδρο και επομένως στη σωστή εξέλιξη της καύσης του μείγματος αέρα-καυσίμου. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα του διαγνωστικού λογισμικού για το ρυθμό έκλυσης θερμότητας, μελετάται ο συσσωρευτικός ρυθμός καύσης καθώς και η διάρκεια της καύσης του μείγματος.

Στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται συγκριτική αξιολόγηση της λειτουργικής συμπεριφοράς του κινητήρα με κριτήριο την επίδραση της ποιότητας του μείγματος αέρα-καυσίμου. Συγκεκριμένα πραγματοποιείται διερεύνηση της επίδρασης της ποιότητας του μείγματος

τόσο στο ρυθμό έκλυσης θερμότητας όσο και στη διάρκεια της καύσης, ενώ ταυτόχρονα μελετάται η επίδραση του λόγου αέρα καυσίμου και σε άλλες λειτουργικές παραμέτρους, όπως η μέγιστη θερμοκρασία καύσης και η ειδική κατανάλωση καυσίμου. Τέλος υπολογίζεται η ισχύς του κινητήρα όπως αυτή προκύπτει από την εφαρμογή του διαγνωστικού λογισμικού EDS-3 και συγκρίνεται με την αντίστοιχη μετρημένη στο δοκιμαστήριο ισχύ.

Στο ένατο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που αφορούν στην λειτουργία του συγκεκριμένου κινητήρα R2800 και στην επίδραση της ποιότητας του μείγματος στο μηχανισμό της καύσης.

Εισαγωγή

Η Ελληνική Πολεμική Αεροπορία διαθέτει 14 αμφίβια αεροσκάφη Canadair CL-215 τα οποία επανδρώνουν την 355 Μοίρα Τακτικών Μεταφορών που εδρεύει στην περιοχή της Ελευσίνας και τα οποία χρησιμοποιούνται κατά κόρον για την κατάσβεση πυρκαγιών σε όλον τον Ελλαδικό χώρο. Τα αεροσκάφη αυτά φέρουν στις πτέρυγες τους από έναν εμβολοφόρο βενζινο-κινητήρα τύπου R-2800 της εταιρείας Pratt & Whitney. Οι κινητήρες των αεροσκαφών αυτών υφίστανται μεγάλες θερμικές φορτίσεις και διαβρώσεις κατά τις επιχειρήσεις κατάσβεσης με αποτέλεσμα η επισκευή τους να είναι ιδιαίτερα σημαντική και να επαναλαμβάνεται τουλάχιστον μία φορά το χρόνο πριν από την περίοδο Μαΐου-Οκτωβρίου που οι πιθανότητες πυρκαγιάς είναι μικρές.



Εικόνα 1: Canadair CL-215

Τον ετήσιο έλεγχο και την επισκευή των κινητήρων των Α/φών CL-215 έχει αναλάβει η ΕΑΒ στις εγκαταστάσεις της στην Τανάγρα Βοιωτίας. Για το σκοπό αυτό η ΕΑΒ πριν από αρκετά χρόνια προχώρησε στην κατασκευή δοκιμαστηρίου ώστε να μπορεί να δοκιμάζει και να επισκευάζει στις εγκαταστάσεις της τους κινητήρες R2800. Η κατασκευή του δοκιμαστηρίου δίνει τη δυνατότητα στην ΕΑΒ να ελέγξει άμεσα τον κινητήρα σε περίπτωση που παρατηρηθεί κάποια δυσλειτουργία και να προβεί σε άμεση επισκευή χωρίς την πολυέξοδη μεταφορά και επισκευή του στο εξωτερικό.

Για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων του συγκεκριμένου δοκιμαστηρίου αλλά και τον έλεγχο της ποιότητας επισκευής των κινητήρων R2800 ανατέθηκε το 2010 στο εργαστήριο Μηχανών Εσωτερικής Καύσης του ΕΜΠ η εκτέλεση σχετικής διερεύνησης στα πλαίσια σύμβασης υπό τον τίτλο «ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΟΚΙΜΑΣΤΗΡΙΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ R-2800» με επιστημονικό υπεύθυνο τον Καθηγητή κο Δ. Χουντάλα.

Βασικός στόχος της ανωτέρω διερεύνησης ήταν η γενικότερη αξιολόγηση του δοκιμαστηρίου εμβολοφόρων κινητήρων τύπου R-2800 που διαθέτει η ΕΑΒ στις εγκαταστάσεις της καθώς και των εκτελούμενων εργασιών επισκευής. Η αξιολόγηση βασίσθηκε κύρια στην εκτέλεση στο συγκεκριμένο δοκιμαστήριο δύο ομάδων μετρήσεων και τη συγκριτική αξιολόγηση αυτών. Η μία ομάδα αφορά εμβολοφόρο βενζινοκινητήρα τύπου R2800 Α/φους CL-215 που έχει επισκευασθεί από την ΕΑΒ ενώ η άλλη ομάδα αφορά άλλο κινητήρα ίδιου τύπου (R-2800) με S/N: 35362, που έχει επισκευασθεί στο εξωτερικό και ο οποίος διατέθηκε στην ΕΑΒ συνοδευόμενος από σχετικό πρωτόκολλο δοκιμών.

Σε κάθε ομάδα μετρήσεων ελήφθησαν μετρήσεις σε τέσσερις διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής, ήτοι 2000, 2300, 2500 και 2800 rpm. Σε κάθε ταχύτητα περιστροφής ελήφθησαν μετρήσεις για δύο καταστάσεις λειτουργίας που αφορούν στην ποιότητα του μείγματος αέρα-καυσίμου : λειτουργία με αρκετά πλούσιο μείγμα (rich operation) και λειτουργία με λιγότερο πλούσιο μείγμα (lean operation). Λαμβανομένου υπ' όψιν του γεγονότος ότι η καταγραφή της πίεσης καύσης, πέραν των πληροφοριών που προσφέρει για την ίδια τη θερμοδυναμική λειτουργία του κινητήρα, προσφέρει επίσης πολύ σημαντικές πληροφορίες (π.χ. χρονισμός έναυσης ή σπινθηρισμού, χρονισμός βαλβίδων κ.α.) οι οποίες είναι αδύνατον να συλληχθούν με άλλο τρόπο, κρίθηκε σκόπιμο να ληφθούν μετρήσεις, επιπλέον των υπαρχόντων, τόσο για την πίεση καύσης κυλίνδρου όσο και από το σύστημα έναυσης του κινητήρα. Προς αυτήν την κατεύθυνση έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο MEK του ΕΜΠ, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Δ.Χουντάλα, κατάλληλη μετρητική διάταξη με την οποία λαμβάνονται οι συγκεκριμένες μετρήσεις πίεσης αερίων κυλίνδρου και σήματος από το σύστημα ανάφλεξης. Μετά τη λήψη και την καταγραφή των μετρήσεων ακολουθεί η ανάλυση και η αξιολόγηση τους με τη χρήση ειδικά εξελιγμένου διαγνωστικού λογισμικού EDS-3, το οποίο έχει αναπτυχθεί και εξελιχθεί στο Εργαστήριο MEK του ΕΜΠ υπό την καθοδήγηση του Καθηγητή κ^{ου} Δ. Χουντάλα. Η πιστοποίηση της ορθότητας των συμπερασμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή του διαγνωστικού λογισμικού πραγματοποιείται μέσω της συγκριτικής αξιολόγησης ορισμένων κρίσιμων λειτουργικών παραμέτρων (π.χ. ισχύς κινητήρα) με τις αντίστοιχες μετρημένες στο δοκιμαστήριο τιμές.

Οι βασικοί στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι :

- Η αξιολόγηση της λειτουργικής συμπεριφοράς του κινητήρα R2800 που δοκιμάσθηκε στο δοκιμαστήριο της EAB, η οποία πραγματοποιείται μέσω της συγκριτικής παράθεσης των δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων, του χρονισμού του κινητήρα, της διάρκειας της καύσης και της διάρκειας του σπινθηρισμού. Από την συγκεκριμένη αξιολόγηση προκύπτει μια σαφής εικόνα τόσο για την κατάσταση λειτουργίας του υπό εξέταση κινητήρα όσο και για την επάρκεια του δοκιμαστηρίου της EAB, όσον αφορά την εκτέλεση αξιόπιστων ελέγχων της λειτουργικής κατάστασης κινητήρων τύπου R-2800.
- Η διερεύνηση της επίδρασης της ποιότητας του μείγματος αέρα – καυσίμου τόσο στο μηχανισμό της καύσης που λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό των κυλίνδρων όσο και στην εν γένει λειτουργική συμπεριφορά του υπό εξέταση κινητήρα R-2800. Η διερεύνηση αυτή πραγματοποιείται μέσω της συγκριτικής παράθεσης ορισμένων κρίσιμων παραμέτρων, όπως π.χ. ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, η μέγιστη θερμοκρασία καύσης και η ειδική κατανάλωση καυσίμου, μεταξύ των δύο καταστάσεων λειτουργίας που μελετήθηκαν (rich operation και lean operation). Από την συγκεκριμένη διερεύνηση προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τον προσδιορισμό της κατάλληλης αναλογίας αέρα – καυσίμου που θα εξασφαλίζει την βέλτιστη δυνατή λειτουργία του κινητήρα.

Σε κάθε περίπτωση, οι στόχοι της παρούσας εργασίας, όπως αυτοί αναλυτικά παρουσιάζονται ανωτέρω, επιτυγχάνονται μέσω της των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τη διαγνωστική διαδικασία και την εφαρμογή του διαγνωστικού λογισμικού EDS-3.

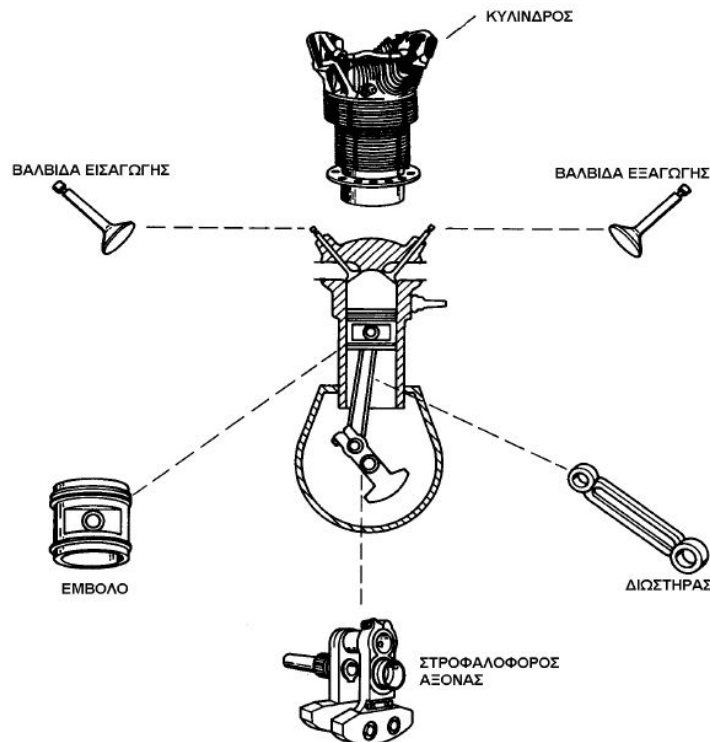
Κεφάλαιο 1^ο

Αρχές Εμβολοφόρων Κινητήρων

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται κάποια εισαγωγικά θεωρητικά στοιχεία για το σχεδιασμό και τη λειτουργία των εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής κάυσης.

1.1 Γενικά

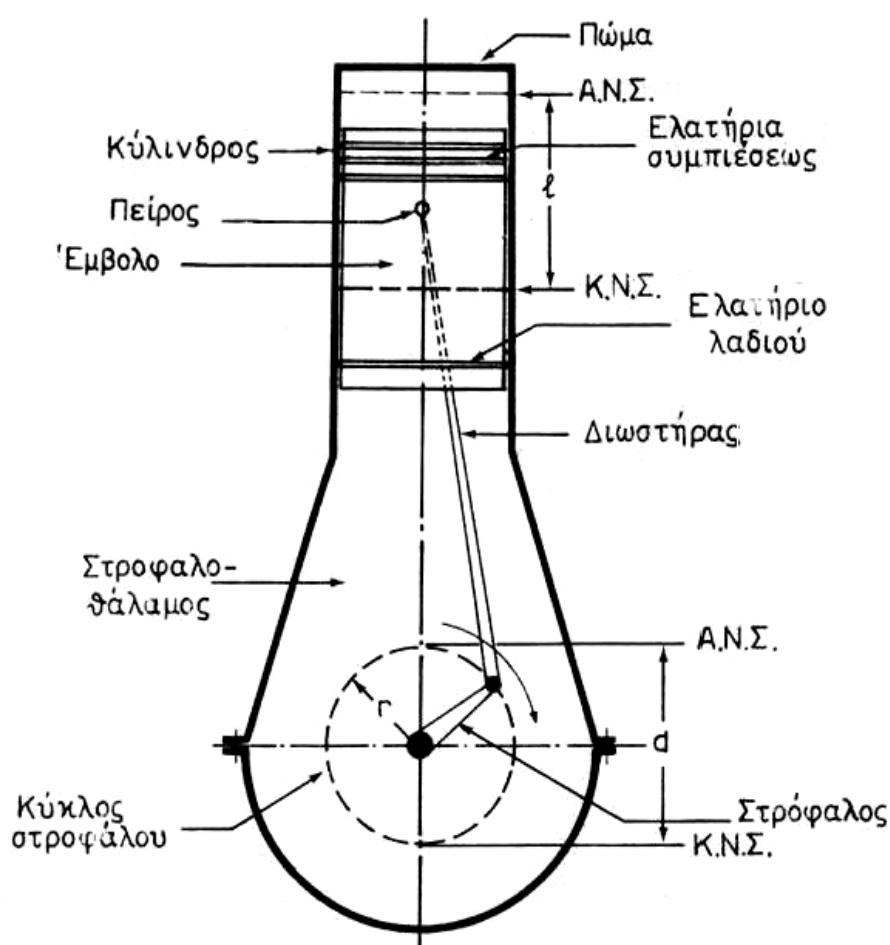
Οι εμβολοφόροι κινητήρες αποτελούνται από ένα σύστημα κυλίνδρου – εμβόλου. Το έμβολο εκτελεί παλινδρομική κίνηση μέσα στον κύλινδρο υπό την πίεση που ασκούν σε αυτό τα καυσαέρια από την καύση του καυσίμου. Η παλινδρομική αυτή κίνηση του εμβόλου μεταδίδεται ως περιστροφική στον άξονα του κινητήρα με κατάλληλο μηχανισμό που αποτελείται από το διωστήρα και το στρόφαλο. Ο άξονας του κινητήρα αποδίδει το μηχανικό έργο. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά τα κύρια εξαρτήματα των παλινδρομικών εμβολοφόρων κινητήρων (βενζινοκίνητων ή πετρελαιοκίνητων):



Εικόνα 1.1: Κύρια στοιχεία παλινδρομικού εμβολοφόρου κινητήρα

Η καύση και οι διεργασίες που συντελούν σε αυτήν, πραγματοποιούνται στο χώρο που σχηματίζεται μεταξύ του ανώτερου τμήματος του κυλίνδρου και της άνω επιφάνειας του εμβόλου και ορίζεται ως θάλαμος καύσης. Ο όγκος του χώρου αυτού είναι μεταβλητός και εξαρτάται από τη θέση στην οποία βρίσκεται το έμβολο.

Η ολική απόσταση που διανύει το έμβολο κατά την παλινδρομική του κίνηση μέσα στον κύλινδρο ονομάζεται διαδρομή του εμβόλου (stroke). Το σημείο του κυλίνδρου όπου το έμβολο βρίσκεται στη μεγαλύτερη απόσταση από το διαμήκη άξονα του στροφαλοφόρου, ονομάζεται **Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ – Top Dead Center)**. Αντίθετα, το σημείο στο οποίο το έμβολο απέχει τη μικρότερη απόσταση από το διαμήκη άξονα ονομάζεται **Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ – Bottom Dead Center)**. Η διαφορά μεταξύ των τιμών του όγκου στα δύο αυτά σημεία ονομάζεται όγκος εμβολισμού. Στο ΑΝΣ ο όγκος του χώρου του θαλάμου καύσης λαμβάνει τη μικρότερη τιμή του (επιζήμιος όγκος -) ενώ η μέγιστη επιτυγχάνεται στο ΚΝΣ.



Εικόνα 1.2: Θέσεις Άνω και Κάτω Νεκρού Σημείου

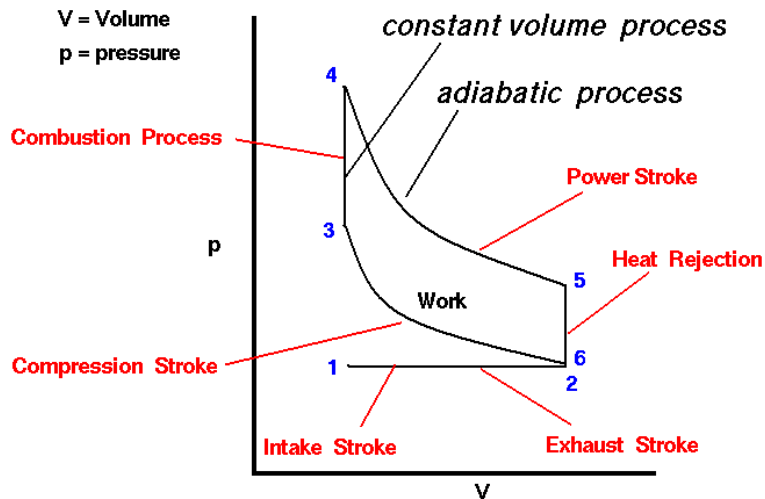
Η απαραίτητη για τη διαδικασία της καύσης ποσότητα ατμοσφαιρικού αέρα εισάγεται μέσω των βαλβίδων εισαγωγής (ή των θυρίδων στην περίπτωση των δίχρονων κινητήρων). Η όλη διεργασία εισαγωγής – εξαγωγής επηρεάζει άμεσα τη δομή και την απόδοση του κινητήρα και εξαρτάται από τον αριθμό των χρόνων (strokes) του κινητήρα. Οι κινητήρες, ανάλογα με τους χρόνους λειτουργίας τους, διακρίνονται σε δύο είδη: τους δίχρονους (two stroke) και τους τετράχρονους (four stroke).

Ο όρος χρόνος δηλώνει μία διαδρομή του εμβόλου από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ, ή το αντίθετο και αντιστοιχεί σε περιστροφή 180° του στροφαλοφόρου άξονα. Στους δίχρονους κινητήρες απαιτούνται δύο διαδρομές του εμβόλου (360°) για την ολοκλήρωση του θερμοδυναμικού κύκλου. Στους τετράχρονους κινητήρες απαιτούνται τέσσερις διαδρομές, δηλαδή δύο πλήρεις στροφές του στροφαλοφόρου άξονα (720°).

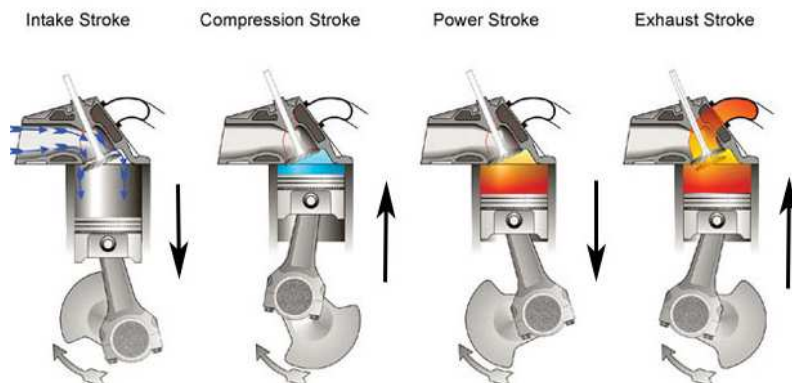
Φυσικά, τόσο στους τετράχρονους, όσο και στους δίχρονους κινητήρες, ο θερμοδυναμικός κύκλος καλύπτει τις ίδιες πέντε βασικές φάσεις λειτουργίας του κινητήρα: Εισαγωγή – Συμπίεση – Καύση – Εκτόνωση – Εξαγωγή.

1.2 Ο 4-χρονος βενζινοκινητήρας

Η θεωρητική λειτουργία του τετράχρονου βενζινοκινητήρα περιγράφεται από θερμοδυναμικό κύκλο ο οποίος βασίζεται στον ιδανικό κύκλο αέρα Otto, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες των διεργασιών εισαγωγής – εξαγωγής και των τεσσάρων χρόνων. Ο ιδανικός θερμοδυναμικός κύκλος τετράχρονου κινητήρα Otto, σε διάγραμμα πίεσης - όγκου ($p-v$), παριστάνεται στην εικόνα 1.3, ενώ η σειρά των διεργασιών στους χρόνους αυτούς φαίνεται στην εικόνα 1.4



Εικόνα 1.3 : Ιδανικός κύκλος Otto



Εικόνα 1.4 : Οι 4 χρόνοι λειτουργίας του 4χρονου κινητήρα

Στη συνέχεια παρατίθενται αναλυτικά, οι διεργασίες που πραγματοποιούνται σε κάθε χρόνο του κύκλου λειτουργίας ενός βενζινοκινητήρα με την παραδοχή ότι αυτός ακολουθεί τον ιδανικό κύκλο αέρα Otto. Θεωρείται δηλαδή ότι δεν υπάρχουν απώλειες θερμότητας προς τα τοιχώματα του κυλίνδρου, το εργαζόμενο μέσο του κύκλου είναι αέρας σταθεράς

συνθέσεως και ποσότητας, η συμπίεση και η εκτόνωση γίνονται ισεντροπικά και ότι οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής του κινητήρα ανοίγουν και κλείνουν ακαριαία ακριβώς τις στιγμές που το έμβολο περνά από τα νεκρά σημεία.

- **1^{ος} χρόνος – Εισαγωγή:**

Το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ. Η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει ενώ η βαλβίδα εξαγωγής μετά από ένα σημείο παραμένει κλειστή. Η κίνηση του εμβόλου δημιουργεί υποπίεση στο θάλαμο καύσης (δηλαδή τον κύλινδρο) με συνέπεια την εισροή μείγματος αέρα - καυσίμου μέσα σε αυτόν από τη βαλβίδα εισαγωγής. Κατά τη διάρκεια της μεταβολής αυτής στον ιδανικό κύκλο, ισχύει η παραδοχή ότι η πίεση μέσα στον κύλινδρο παραμένει σταθερή και ίση με την ατμοσφαιρική. Αντίθετα, η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική διότι ένα ποσοστό των καυσαερίων παραμένει μέσα στον κύλινδρο ενώ υπάρχει και συναλλαγή θερμότητας με τα τοιχώματα. Στο διάγραμμα, (Εικόνα 3.2), η μεταβολή αυτή παριστάνεται από τη γραμμή 1-2.

- **2^{ος} χρόνος – Συμπίεση:**

Στην αρχή του χρόνου αυτού το έμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ. Οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι κλειστές. Το έμβολο ξεκινά την κίνησή του προς το ΑΝΣ. Η μεταβολή που πραγματοποιείται είναι αδιαβατική αφού γίνεται η παραδοχή ότι τα τοιχώματα και η κεφαλή του κυλίνδρου είναι θερμικά μονωμένα. Η πίεση και η θερμοκρασία του μείγματος αυξάνονται. Συνήθεις τιμές στο ΑΝΣ είναι από 8 έως 15 bar για την πίεση και 270 έως και 380°C για την θερμοκρασία. Στο διάγραμμα (Εικόνα 1.3) η μεταβολή παριστάνεται από τη καμπύλη 2-3.

- **3^{ος} χρόνος – Καύση και εκτόνωση:**

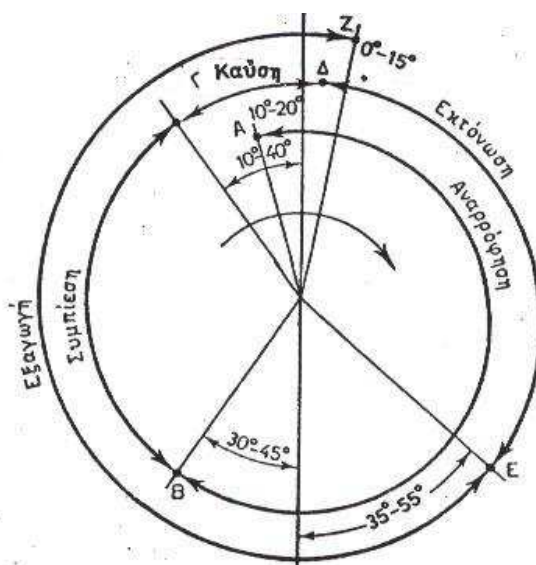
Κατά τη διάρκεια του χρόνου αυτού οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής παραμένουν κλειστές. Το έμβολο αρχικά βρίσκεται στο ΑΝΣ και τότε πραγματοποιείται έναυση του μείγματος (αέρα – καυσίμου – υπόλοιπων καυσαερίων) με τη βοήθεια ηλεκτρικής εκκένωσης του σπινθηριστή. Η διεργασία αυτή έχει τη μορφή έκρηξης και το έμβολο μετακινείται ελάχιστα κατά την πολύ σύντομη διάρκειά της, ώστε θεωρούμε ότι η μεταβολή γίνεται υπό σταθερό όγκο κυλίνδρου. Με τη λήξη της καύσης, η πίεση των καυσαερίων ανέρχεται σε 25 έως 50 bar ενώ η θερμοκρασία τους σε 1500 έως 2200°C. Με τις βαλβίδες πάντα κλειστές, η υψηλή πίεση μετακινεί το έμβολο προς το ΚΝΣ – περνώντας στη διεργασία της εκτόνωσης με ταυτόχρονη παραγωγή έργου. Η διεργασία αυτή θεωρείται αδιαβατική. Όταν το έμβολο φτάσει στο ΚΝΣ, η πίεση έχει μειωθεί σε 2,5 έως 4,5 bar και η θερμοκρασία σε 400 έως 500°C. Αυτός είναι ο μόνος από τους χρόνους του κινητήρα που παράγεται μηχανικό έργο. Στο διάγραμμα, (Εικόνα 1.3), η μεταβολή της καύσης παριστάνεται από τη γραμμή 3-4 και αυτή της εκτόνωσης από την καμπύλη 4-5.

- **4^{ος} χρόνος – Εξαγωγή:**

Με το τέλος της εκτόνωσης ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής. Η βαλβίδα εισαγωγής παραμένει κλειστή. Τα καυσαέρια υπό την πίεση των 2,5 έως 4,5 bar εξέρχονται στην ατμόσφαιρα χωρίς – θεωρητικά – να έχει μετακινηθεί το έμβολο από το ΚΝΣ. Η διεργασία, λοιπόν, θεωρείται ισόχωρη κατά το ένα τμήμα της και παριστάνεται στο διάγραμμα από τη γραμμή 5-6. Η πίεση στον κύλινδρο μειώνεται στην τιμή της ατμοσφαιρικής. Κατά το άλλο τμήμα της διεργασίας που υπολείπεται, αυτή πραγματοποιείται υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση και παριστάνεται στο διάγραμμα από τη γραμμή 6-1. Μόλις το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, κλείνει η βαλβίδα εξαγωγής και ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής για την πραγματοποίηση του επόμενου κύκλου.

1.2.1 Πραγματικός κύκλος λειτουργίας βενζινοκινητήρα

Στον πραγματικό κύκλο λειτουργίας του τετράχρονου βενζινοκινητήρα, παρουσιάζονται αρκετές αποκλίσεις σε σχέση με τις αντίστοιχες θερμοδυναμικές διεργασίες που περιγράφονται στον αντίστοιχο ιδανικό κύκλο, όπως είναι π.χ. η χρονική στιγμή έναρξης και λήξης των διεργασιών, η οποία στον πραγματικό κύκλο δε γίνεται στο ΑΝΣ και στο ΚΝΣ, αλλά σε ενδιάμεσες θέσεις της διαδρομής του εμβόλου. Οι διεργασίες αυτές απεικονίζονται σε **σπειροειδές διάγραμμα**, (εικόνα 1.5), όπου σημειώνονται οι αντίστοιχες γωνίες του στροφάλου.



Εικόνα 1.5 : Σπειροειδές διάγραμμα διεργασιών 4χρονου κινητήρα

Οι πλέον χαρακτηριστικές διαφορές των πραγματικών διεργασιών από τις αντίστοιχες ιδανικές είναι οι εξής:

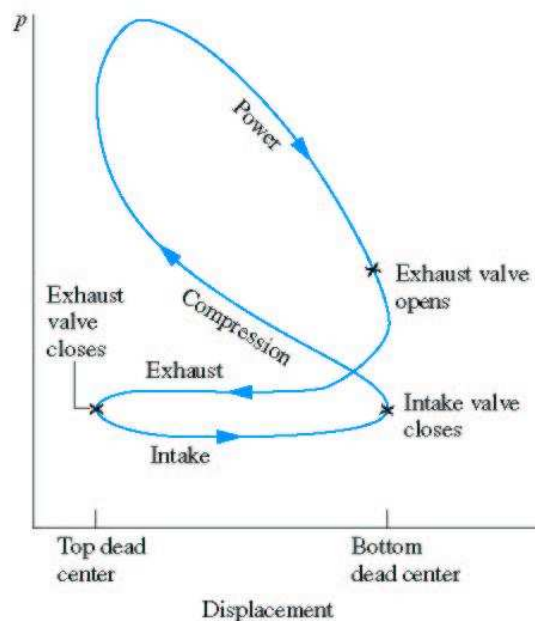
- Το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής πραγματοποιείται στο σημείο Α, δηλαδή όταν ο άξονας του στροφάλου βρίσκεται σε θέση 10° έως 20° πριν το ΑΝΣ. Η βαλβίδα εξαγωγής παραμένει ανοικτή για 0° έως 15° μετά το ΑΝΣ. Η διάταξη αυτή επιτρέπει τον καλύτερο καθαρισμό του κυλίνδρου από τα καυσαέρια.
- Η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει σε 30° έως 45° μετά την διέλευση του εμβόλου από το ΚΝΣ και όχι στο ΚΝΣ. Αυτό συμβάλλει στην εισροή μεγαλύτερης ποσότητας αέρα στον κύλινδρο. Όπως αναφέρθηκε, στην παρούσα φάση της διεργασίας η πίεση στον κύλινδρο είναι μικρότερη της ατμοσφαιρικής όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ. Έτσι επιτυγχάνεται η περαιτέρω εισροή αέρα.
- Ο σπινθηρισμός και η έναυση πραγματοποιούνται σε θέση 10° έως 40° πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ – σημείο Γ. Με τον τρόπο αυτόν, το καύσιμο μείγμα έχει το χρόνο να καεί σχεδόν τελείως όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ ή λίγο αργότερα, στο σημείο Δ. Τότε επιτυγχάνεται η παραγωγή του μέγιστου έργου από την εκτόνωση των καυσαερίων.
- Η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει στο σημείο Ε, δηλαδή 35° έως 55° πριν το ΚΝΣ, έτσι ώστε τα καυσαέρια να αρχίσουν να εξέρχονται προς την ατμόσφαιρα έγκαιρα.

Συνοψίζοντας τα ανωτέρω, προκύπτει ότι στους τετράχρονους βενζινοκινητήρες παρατηρούνται:

- ✓ Προπορεία στο άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής: Άνοιγμα βαλβίδας πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ.
- ✓ Αργοπορεία στο κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής: Κλείσιμο βαλβίδας εισαγωγής αφού το έμβολο περάσει από το ΚΝΣ.
- ✓ Προπορεία στο σπινθηρισμό- που συνήθως ονομάζεται προανάφλεξη ή αβάνς: Δημιουργία σπινθήρα πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ.
- ✓ Προπορεία στο άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής: Άνοιγμα βαλβίδας πρώτου το έμβολο φτάσει στο ΚΝΣ.
- ✓ Αργοπορεία στο κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής: Κλείσιμο βαλβίδας εξαγωγής αφού το έμβολο περάσει από το ΑΝΣ.

Τα εύρη των γωνιών που αναφέρονται αφορούν σε βενζινοκινητήρες φυσικής αναπνοής. Σε υπερπληρωμένους κινητήρες όπως ο R2800 συνήθως το διάστημα επικάλυψης των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής είναι αυξημένο. Επίσης σε αεροπορικές εφαρμογές δίνεται σχετικά αυξημένη προπορεία σπινθηρισμού για τη διασφάλιση της έναυσης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο πραγματικός κύκλος λειτουργίας ενός τετράχρονου βενζινοκινητήρα δίνεται στο Σχήμα 1.6



Εικόνα 1.6: Πραγματικός κύκλος λειτουργίας βενζινοκινητήρα

Παρατηρώντας το σχήμα 1.6, διαπιστώνουμε ότι ο κύκλος αποτελείται από δύο μέρη όσον αφορά στη παραγωγή έργου. Η πρώτη, (compression-power), έχει θετικό εμβαδόν

(δεξιόστροφη φορά διαγραφής) οπότε, με το πέρας των διεργασιών που περιγράφει, παράγεται μηχανικό έργο. Η δεύτερη, (exhaust-intake), έχει αρνητικό εμβαδόν (αριστερόστροφη φορά διαγραφής) και απαιτεί την εισαγωγή μηχανικού έργου για να πραγματοποιηθεί η διεργασία.

Οι αποκλίσεις αυτές, ως προς τον ιδεατό κύκλο λειτουργίας, οφείλονται σε διάφορους λόγους, οι κυριότεροι των οποίων παρατίθενται στην συνέχεια:

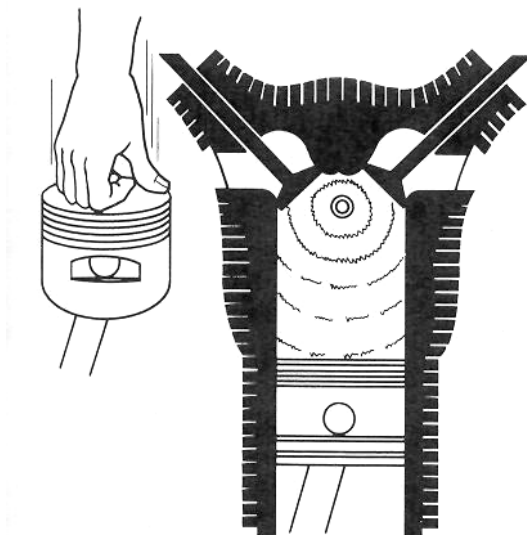
Στον πραγματικό κύκλο λειτουργίας, η συμπίεση του εργαζόμενου μέσου δεν είναι ισεντροπική, καθώς η κεφαλή και τα τοιχώματα του κυλίνδρου δεν είναι μονωμένα και ανταλλάσσουν θερμότητα με το περιβάλλον. Επίσης, η διεργασία της καύσης δεν είναι ισόχωρη όπως απαιτεί ο ιδανικός κύκλος Otto. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επικρατεί μειωμένη μέγιστη πίεση καύσης στον κύλινδρο στη διάρκεια της καύσης, σε σχέση με αυτήν της ιδανικής διεργασίας καύσης. Τμήμα της θερμότητας που εκλύεται κατά τη διάρκεια της καύσης μεταφέρεται προς τα τοιχώματα του κυλίνδρου και από εκεί, μέσω του συστήματος ψύξης, στην ατμόσφαιρα. Τέλος, η εκτόνωση των καυσαερίων δεν τελειώνει στο ΚΝΣ, αλλά νωρίτερα.

Σύμφωνα με τις παραπάνω επισημάνσεις, η απόκλιση του πραγματικού κύκλου από τον αντίστοιχο ιδανικό συνεπάγεται τα εξής:

- Απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον.
- Μειωμένη απόδοση ωφέλιμου έργου.
- Μείωση της απόδοσης του κινητήρα.
- Μείωση της επιτυγχανόμενης μέγιστης θερμοκρασίας καύσης.

1.3 Περιγραφή της καύσης – Κύρια χαρακτηριστικά αυτής

Σε έναν συμβατικό βενζινοκινητήρα το καύσιμο κι ο αέρας αναμειγνύονται, εισέρχονται μέσω της βαλβίδας εισαγωγής στον κύλινδρο, αναμειγνύονται με τα παραμένοντα καυσαέρια στον κύλινδρο και μετά συμπιέζονται. Κάτω από φυσιολογικές συνθήκες, εικόνα 1.7, η καύση αρχίζει πριν το έμβολο φθάσει το ΑΝΣ, με τη βοήθεια ενός σπινθηριστή. Αφού πραγματοποιηθεί η ανάφλεξη, μια τυρβώδης φλόγα διαδίδεται εντός του θαλάμου καύσης και προχωρά έως τα τοιχώματα καταναλώνοντας το καύσιμο μείγμα.



Εικόνα 1.7 : Φυσιολογική καύση σε έναν κινητήρα Otto

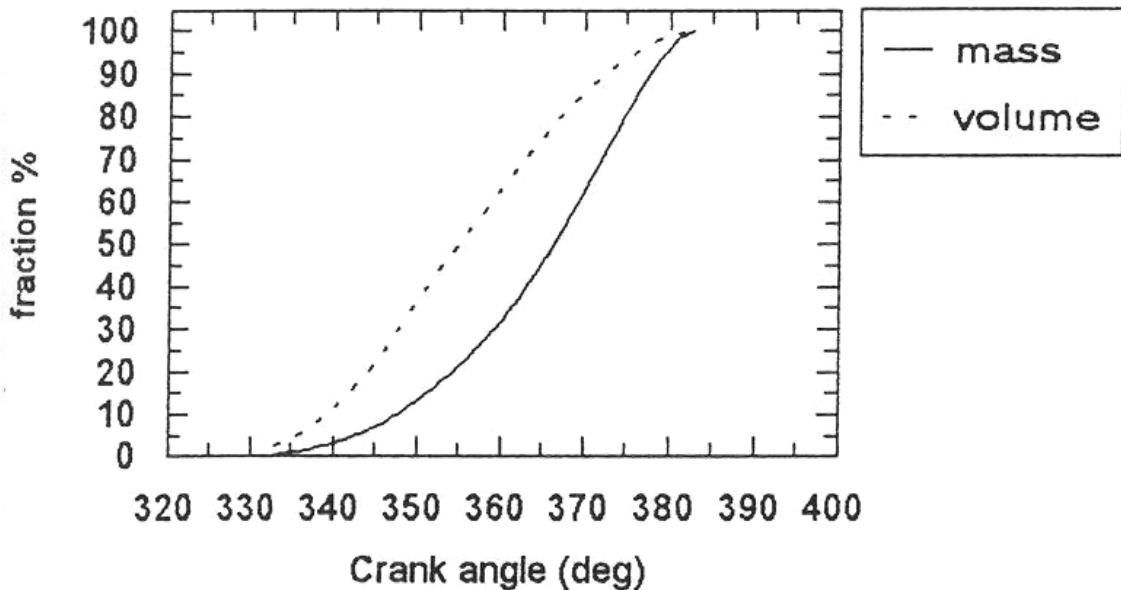
Κατά τη διάρκεια της καύσης, μεσολαβεί ένα διάστημα έως ότου αρχίσει η καύση που ονομάζεται καθυστέρηση ανάφλεξης. Καθώς η διαδικασία εξελίσσεται, η πίεση αυξάνεται πάνω από την τιμή που θα είχε κατά την απουσία της καύσης. Η πίεση φτάνει μια μέγιστη τιμή μετά το ΑΝΣ, αλλά πριν το μείγμα καεί πλήρως και στη συνέχεια αρχίζει να μειώνεται, καθώς ο όγκος του κυλίνδρου συνεχίζει να αυξάνεται κατά τη διαδικασία της αποτόνωσης.

Η εξέλιξη της φλόγας επηρεάζεται από κύκλο σε κύκλο λειτουργίας, αφού η διαμόρφωση της πίεσης και των κλασμάτων επί τοις εκατό του καμένου όγκου και καμμένης μάζας, διαφέρουν σημαντικά από κύκλο σε κύκλο. Για έναν πολυκύλινδρο κινητήρα αυτές οι ποσότητες διαφέρουν τόσο από κύκλο σε κύκλο λειτουργίας, όσο και από κύλινδρο σε κύλινδρο. Ειδικότερα, εξαιρετικά σημαντική είναι η επίδραση της σύστασης του μείγματος και της κίνησης αυτού στην περιοχή γύρω από το σπινθηριστή, καθώς τα στοιχεία αυτά επηρεάζουν τη δημιουργία και εξέλιξη της φλόγας κατά τη διάρκεια της έναυσης και της καύσης αντίστοιχα.

Όπως απεικονίζεται και στην εικόνα 1.8, το κλάσμα του καμένου όγκου αυξάνει πιο απότομα σε σχέση με το κλάσμα της καμμένης μάζας, συναρτήσει της γωνίας στροφάλου. Αυτό σε ένα μεγάλο ποσοστό οφείλεται στο ότι η πυκνότητα του άκαυστου μείγματος, μπροστά από το μέτωπο της φλόγας, είναι περίπου τέσσερις φορές μεγαλύτερη της

πυκνότητας των καυσαερίων, που παράγονται πίσω από την φλόγα. Έναν ακόμη λόγο αποτελεί το γεγονός ότι όταν η φλόγα έχει εξελιχθεί σε όλο τον κύλινδρο, ένα ποσοστό της τάξης του 25% της μάζας του μείγματος παραμένει άκαυστο. Με βάση τα ανωτέρω, γίνεται ο διαχωρισμός του φαινομένου της καύσης σε τέσσερα στάδια:

- Έναυση
- Ανάπτυξη της φλόγας
- Διάδοση της φλόγας
- Ολοκλήρωση της καύσης



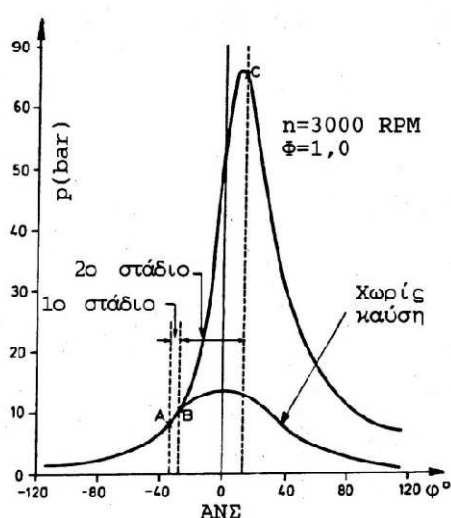
Εικόνα 1.8: Γραφική παράσταση κλάσματος καμένου όγκου και καμμένης μάζας - γωνίας στροφάλου

Το φαινόμενο της καύσης πρέπει να εξελίσσεται γύρω από το ΑΝΣ, για την επίτευξη μέγιστης ισχύος και ροπής. Η καύση διαρκεί τυπικά περίπου 30 με 90 μοίρες γωνίας στροφάλου. Ξεκινάει πριν το τέλος της συμπίεσης, συνεχίζεται στο αρχικό στάδιο της αποτόνωσης και τελειώνει με την επίτευξη της μέγιστης πίεσης.

Η πίεση, η ισχύς και η ροπή μεταβάλλονται με τη μεταβολή του χρόνου έναυσης σε σχέση με το ΑΝΣ. Εάν η καύση ξεκινήσει πολύ πριν το ΑΝΣ, το έργο της συμπίεσης, που μεταφέρεται από το έμβολο στα αέρια του κυλίνδρου, αυξάνεται. Εάν το τέλος της καύσης αργήσει, με την καθυστέρηση του χρόνου ανάφλεξης, η μέγιστη πίεση επιτυγχάνεται αργότερα, κατά τη διάρκεια της αποτόνωσης, και είναι μειωμένη σε μέγεθος. Αυτές οι αλλαγές μειώνουν το έργο, που κατά τη διάρκεια της αποτόνωσης μεταφέρεται από τα αέρια του κυλίνδρου στο έμβολο. Ο βέλτιστος χρόνος έναυσης επιτυγχάνεται όταν το άθροισμα (αλγεβρικό) των δύο έργων λάβει τη μέγιστη τιμή του. Εάν ο χρόνος έναυσης μειωθεί ή αυξηθεί, από αυτό το βέλτιστο, η ροπή μειώνεται. Ο βέλτιστος χρονισμός εξαρτάται από τη θεώρηση της εξέλιξης και αναπαραγωγής της καύσης και από τις λεπτομέρειες που αφορούν στην ολοκλήρωση της φλόγας όταν αυτή φτάσει στα τοιχώματα του κυλίνδρου. Όλα αυτά εξαρτώνται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κινητήρα, από τις συνθήκες λειτουργίας και από τη σύσταση του μείγματος.

1.4 Τυπικό δυναμοδεικτικό διάγραμμα πίεσης συναρτήσει της γωνίας στροφάλου

Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα πίεσης αποτελεί μια γραφική απεικόνιση του επιπέδου της πίεσης που επικρατεί μέσα στον κύλινδρο και συνήθως δίνεται συναρτήσει του όγκου του θαλάμου καύσης ή της γωνίας στροφάλου. Όσον αφορά στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα συναρτήσει της γωνίας στροφάλου αυτό διακρίνεται σε δύο στάδια. Το πρώτο αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα για το σχηματισμό ενός αυτο-διαδιδόμενου μετώπου φλόγας με όγκο περίπου 0.1% του V_c (επιζήμιος όγκος) και το δεύτερο αντιστοιχεί στη διάδοση της φλόγας δια μέσου του θαλάμου καύσεως. Τα δύο αυτά στάδια απεικονίζονται στο παρακάτω δυναμοδεικτικό διάγραμμα συναρτήσει της γωνίας στροφάλου (εικόνα 1.9)



Εικόνα 1.9 Στάδια της καύσεως σε δυναμοδεικτικό διάγραμμα βενζινοκινητήρα

Το πρώτο στάδιο, τμήμα AB, αντιστοιχεί σε μία περίοδο καθυστέρησης η οποία εξαρτάται από την πίεση, τη θερμοκρασία και τη σύνθεση του μείγματος. Μέχρι να σχηματιστεί ο πυρήνας αυτός, δηλαδή να αποκτήσει μέγεθος ίσο με την κλίμακα της τύρβης, η διάδοση της φλόγας δεν επηρεάζεται από την ένταση της τύρβης, άρα και την ταχύτητα περιστροφής και έτσι η χρονική διάρκεια του σταδίου αυτού είναι σταθερή (περίπου 0.5ms). Όμως εκφραζόμενη σε γωνία στροφάλου, σύμφωνα με τη σχέση

$$\Delta\varphi = 6 \cdot n \cdot \Delta t \quad (1.1)$$

φ γωνία στροφάλου σε μοίρες
 n στροφές κινητήρα σε rpm
 Δt χρονική μεταβολή σε sec

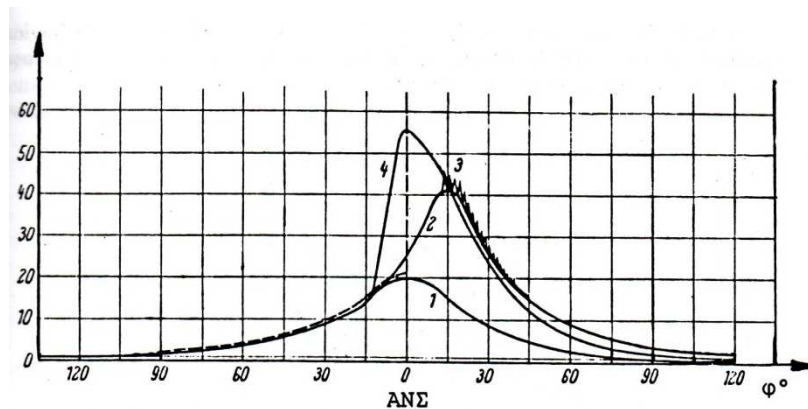
η διάρκεια αυτής αυξάνει αναλογικώς με την ταχύτητα περιστροφής.

Το δεύτερο στάδιο, τμήμα BC, που είναι εμφανές στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα (πάνω από τη γραμμή πίεσης χωρίς καύση), επηρεάζεται από τους ίδιους παράγοντες με το πρώτο στάδιο αλλά επιπλέον επηρεάζεται και από την ένταση της τύρβης. Στο

συγκεκριμένο σημείο είναι σκόπιμο να εισάγουμε την έννοια της ταχύτητας διαδόσεως της τυρβώδους φλόγας η οποία είναι ο συγκερασμός της ταχύτητας καύσεως και της μεταφορικής ταχύτητας με την οποία ωθείται το μέτωπο της φλόγας από το συνεχώς αποτονούμενο καμμένο τμήμα του μείγματος. Η ταχύτητα διαδόσεως της τυρβώδους φλόγας λοιπόν, αυξάνεται αναλογικώς προς την ένταση της τύρβης, η οποία αυξάνεται αναλογικώς προς την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, οπότε η διάρκεια της σε μοίρες γωνίας στροφάλου είναι σταθερή, ανεξάρτητα από την ταχύτητα περιστροφής.

Συμπερασματικά, η συνολική αύξηση του διαστήματος καύσεως σε μοίρες γωνίας στροφάλου με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής, επιβάλλει την εκάστοτε αποκατάσταση της προπορείας εναύσεως.

Στην εικόνα 1.10 φαίνονται τρία δυναμοδεικτικά διαγράμματα λειτουργίας ενός κινητήρα Otto, με κανονική κάυση, με κρουστική καύση-που γίνεται φανερή με τη σοβαρή ταλάντωση της γραμμής αποτονώσεως- και με πυρανάφλεξη οπότε έχουμε μεγάλη ανύψωση πιέσεων. Οι δύο ανώμαλες αυτές μορφές της καύσεως, που συνοδεύονται και από ανάλογο θόρυβο, πρέπει να αποφεύγονται, διότι προκαλούν μείωση του βαθμού αποδόσεως και της παραγόμενης ισχύος καθώς και καταστροφή του κινητήρα. Ιδιαίτερα η κρουστική καύση έχει καταστροφικές συνέπειες και μπορεί να αποφευχθεί με κάυσιμο υψηλού οκτανίου.

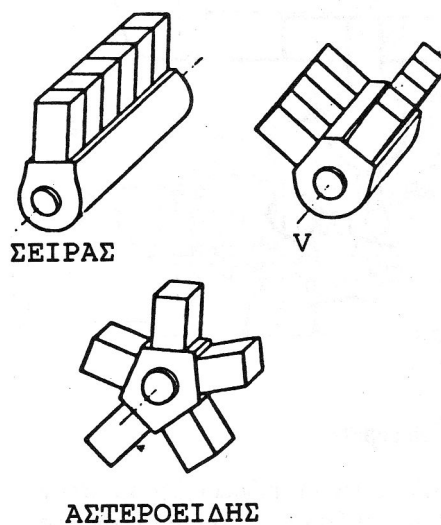


Εικόνα 1.10: Δυναμοδεικτικά διαγράμματα βενζινοκινητήρα. 1.ετεροκίνηση, 2.ομαλή κάυση, 3.Κρουστική κάυση, 4.Πυρανάφλεξη

Κεφάλαιο 2^ο

Εμβολοφόροι Κινητήρες Αεροσκαφών

Οι εμβολοφόροι κινητήρες αεροσκαφών είναι κατά βάση όμοιοι με αυτούς των επίγειων μέσων μεταφοράς. Σε αεροπορικές εφαρμογές έχουν χρησιμοποιηθεί εμβολοφόροι κινητήρες με διάφορες διατάξεις κυλίνδρων όπως κινητήρες τύπου σειράς, τύπου V και αστεροειδείς (εικόνα 2.1). Ωστόσο με την πάροδο των χρόνων οι αστεροειδείς κινητήρες επικράτησαν. Οι λόγοι που ώθησαν τις βιομηχανίες αεροσκαφών στην επιλογή αστεροειδών κινητήρων ήταν αφενώς ο περιορισμένος χώρος τον οποίο καταλαμβάνουν αυτού του είδους οι κινητήρες και αφετέρου η ανάγκη χρήσης κινητήρων με μεγάλο λόγο ισχύος/βάρους. Οι αστεροειδείς κινητήρες, σε σχέση με κινητήρες ίδιου αριθμού κυλίνδρων αλλά με άλλη διάταξη αυτών, παρέχουν μεγαλύτερα επίπεδα ισχύος για δεδομένο βάρος γεγονός που εδραίωσε τη χρήση τους.



Εικόνα 2.1: Εμβολοφόροι κινητήρες με διαφορετική διάταξη κυλίνδρων

Διαφοροποιήσεις των αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων σε σχέση με άλλες εφαρμογές προκύπτουν επίσης από την ανάγκη αυτοί οι κινητήρες να λειτουργούν ομοιόμορφα σε αρκετά μεγάλο φάσμα μεταβολής των ατμοσφαιρικών συνθηκών (πίεσης και θερμοκρασίας), οι οποίες μεταβάλλονται σημαντικά κατά τη διάρκεια της πτήσης.

Στη συνέχεια, παρατίθεται συνοπτική περιγραφή ορισμένων από τα βασικότερα υποσυστήματα εμβολοφόρων κινητήρων αεροπορικής χρήσης .

2.1 Συστήματα ανάμειξης αέρα – καυσίμου

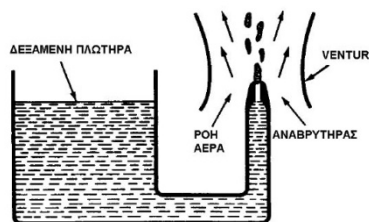
Τα συστήματα εισαγωγής αέρα – καυσίμου έχουν ως σκοπό να «υπολογίσουν» την ποσότητα του αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα και να προσθέσουν σε αυτήν μία αντίστοιχη ποσότητα καυσίμου ώστε να δημιουργηθεί ο κατάλληλος λόγος αέρα – καυσίμου. Τα περισσότερα από τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν τη ροή του εισερχόμενου αέρα για τη δημιουργία μιας ανάλογης διαφοράς πίεσης, η οποία, τελικά υπολογίζει τη σωστή ποσότητα καυσίμου που θα αναμειχθεί με την ποσότητα του εισερχόμενου αέρα.

Τα συστήματα εισαγωγής αέρα – καυσίμου διακρίνονται σε:

- **Συστήματα έμμεσης έγχυσης καυσίμου ή αναμεικτήρες (carburetors).** Το καύσιμο αναρροφάται λόγω της υποπίεσης που δημιουργείται στη ροή του εισερχόμενου αέρα. Οι αναμεικτήρες μπορεί να είναι:

- **Αναμεικτήρες με πλωτήρα (float – type carburetors):**

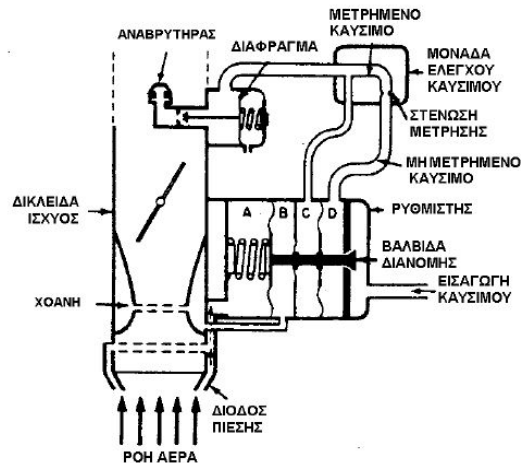
Χρησιμοποιούνται σε κινητήρες μικρού μεγέθους. Βασικά μειονεκτήματά τους είναι ότι είναι επιρρεπείς στις κινήσεις του αεροσκάφους καθώς είναι δυνατή η μετατόπιση του πλωτήρα, με συνέπεια την προβληματική τροφοδοσία με καύσιμο του αναβρυτήρα που μπορεί να επιφέρει ακόμη και τη διακοπή της λειτουργίας του κινητήρα και ότι είναι ευάλωτοι στην παγοποίηση η οποία παίρνει επικίνδυνες διαστάσεις στη δικλείδα ισχύος (throttle valve). Η αρχή λειτουργίας τους παρουσιάζεται στην εικόνα 2.2.



Εικόνα 2.2 Αρχή λειτουργίας αναμεικτήρα με πλωτήρα

- **Αναμεικτήρες πίεσης (pressure injection carburetors):**

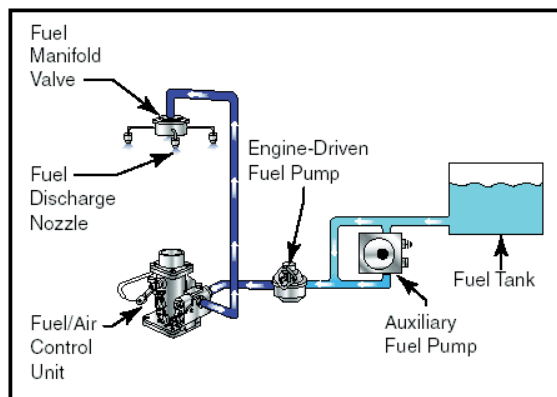
Χρησιμοποιούνται σε κινητήρες μεγάλου μεγέθους ή σε κινητήρες που λειτουργούν είτε σε μεγάλα ύψη είτε κάτω από ειδικές συνθήκες. Ένα βασικό τους πλεονέκτημα ως προς τους αναμεικτήρες με πλωτήρα είναι ότι η καλή λειτουργία τους δεν εξαρτάται από τις κινήσεις κατά την πτήση του αεροσκάφους, ενώ δεν παρουσιάζουν μεγάλη πιθανότητα παγοποίησης διότι η έγχυση του καυσίμου γίνεται μετά τη δικλείδα ισχύος όπου επικρατούν υψηλότερες θερμοκρασίες. Τυπικό σύστημα αναμεικτήρα πίεσης δίνεται στην εικόνα 2.3



Εικόνα 2.3: Αναμεικτήρας Πίεσης

Οι αναμεικτήρες επίσης διακρίνονται ανάλογα με τη φορά της ροής του αέρα στο εσωτερικό τους, σε **ανοδικούς (updraft carburetors)** και σε **καθοδικούς αναμεικτήρες (downdraft carburetors)**.

- **Συστήματα άμεσης έγχυσης καυσίμου (fuel injection systems)**, όπου το καύσιμο ψεκάζεται με τη βοήθεια αντλίας πίεσης στη ροή του εισερχόμενου αέρα ή απ' ευθείας μέσα στον κύλινδρο με τη χρήση ακροφυσίων/εγχυτήρων. Αναπαράσταση τυπικού συστήματος άμεσης έγχυσης δίνεται στην εικόνα 2.4



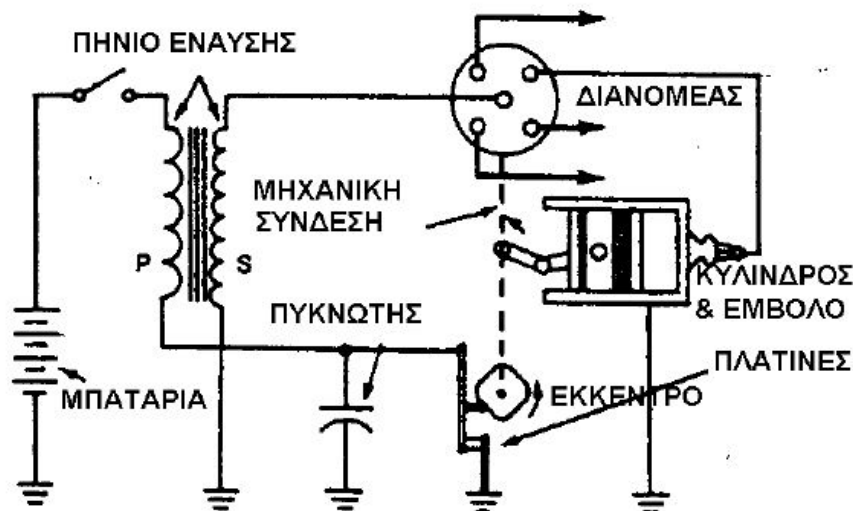
Εικόνα 2.4: Διάταξη συστήματος άμεσης έγχυσης καυσίμου

2.2 Συστήματα ανάφλεξης

Κατά τη διάρκεια του 2^{ου} χρόνου του κύκλου λειτουργίας του τετράχρονου βενζινοκινητήρα και καθώς το έμβολο πλησιάζει το ΑΝΣ του κυλίνδρου, οι σπινθηριστές (μπουζι – spark plugs) παρέχουν ηλεκτρικό σπινθήρα ώστε το συμπιεσμένο μείγμα ατμών καυσίμου και αέρα να αναφλεγεί. Οι σπινθηριστές αποτελούν τμήμα του συστήματος ανάφλεξης του κινητήρα και παρέχουν σπινθήρα περιοδικά σε κάθε κύλινδρο σε μία συγκεκριμένη θέση του εμβόλου και των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής. Τα συστήματα ανάφλεξης διακρίνονται σε αυτά που χρησιμοποιούν **συσσωρευτή** και σε αυτά που χρησιμοποιούν **μανιατό (σπινθηροπαραγωγός – magneto)**.

• Συστήματα ανάφλεξης με συσσωρευτή

Η πηγή της ενέργειας είναι μία μπαταρία. Χρησιμοποιείται ένα πηνίο ανάφλεξης (ignition coil) το οποίο, ουσιαστικά, είναι ένας συνδυασμός πηνίων, του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος. Η περιέλιξη του πρώτου είναι συνδεδεμένη με τη μπαταρία, φέρει σύρμα μεγάλης διατομής και μεταφέρει ρεύμα του οποίου η κίνηση δημιουργεί μαγνητικό πεδίο. Η δεύτερη περιέλιξη έχει λεπτό σύρμα, είναι τυλιγμένη γύρω από το πρωτεύον πηνίο χωρίς να υπάρχει καμία επαφή μεταξύ τους (στην πραγματικότητα είναι μονωμένες). Στο κύκλωμα τοποθετείται ένας διακόπτης, οι πλατίνες (breaker contact points). Ένα έκκεντρο (cam), που παίρνει κίνηση από το στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα, ανοίγει τις πλατίνες και διακόπτεται η ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο πρωτεύον. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μηδενιστεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου – που εμφανίζεται με τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος στις σπείρες του πρωτεύοντος - και να αναπτυχθεί υψηλή τάση στο δευτερεύον πηνίο. Αυτή οδηγείται μέσω του διανομέα (distributor) στους σπινθηριστές του κυλίνδρου που έχει σειρά να πραγματοποιήσει διεργασία έναυσης. Σχεδιάγραμμα τυπικού συστήματος ανάφλεξης με χρήση συσσωρευτή φαίνεται στην εικόνα 2.5.

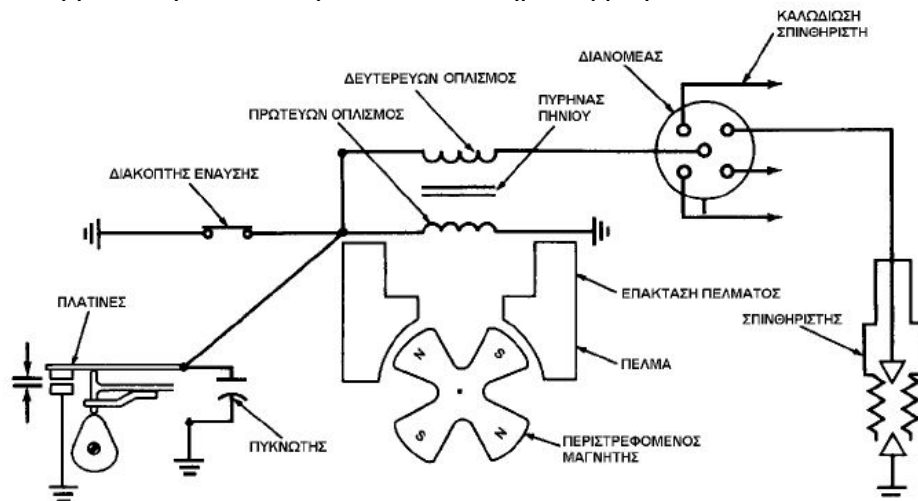


Εικόνα 2.5 : Σύστημα ενάυσεως με συσσωρευτή

- **Συστήματα ανάφλεξης με μανιατό**

Το μανιατό (**magneto**) είναι μία γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος (alternate current – ac) η οποία παράγει ηλεκτρικούς παλμούς υψηλής τάσης για την επίτευξη της ανάφλεξης ενός κινητήρα. Η ανάφλεξη με τη χρήση του μανιατό υπερτερεί από αυτή με μπαταρία διότι στις υψηλές ταχύτητες του κινητήρα παράγεται πιο δυνατός σπινθήρας. Επιπρόσθετα, το μανιατό είναι μία αυτόνομη μονάδα, εντελώς ανεξάρτητη από οποιαδήποτε άλλη ηλεκτρική πηγή, γεγονός που καθιέρωσε τη χρήση του στους εμβολοφόρους αεροπορικούς κινητήρες για θέματα αξιοπιστίας και ασφαλείας.

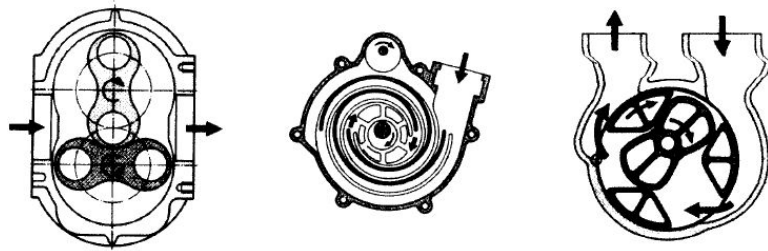
Τρία κυκλώματα αποτελούν το μανιατό: το μαγνητικό, το πρωτεύον και το δευτερεύον. Το μαγνητικό κύκλωμα περιλαμβάνει, γενικά, το μόνιμο μαγνήτη, τον πυρήνα του πηνίου, τα πέταλα των πόλων και τις επεκτάσεις τους. Το πρωτεύον κύκλωμα αποτελείται από τον πρωτεύοντα οπλισμό του πηνίου, τις επαφές ή πλατίνες και τον πυκνωτή. Τέλος, το δευτερεύον κύκλωμα αποτελείται από το δευτερεύοντα οπλισμό του πηνίου, το διανομέα, το ρότορα του μαγνήτη, τις καλωδιώσεις και τους σπινθηριστές.



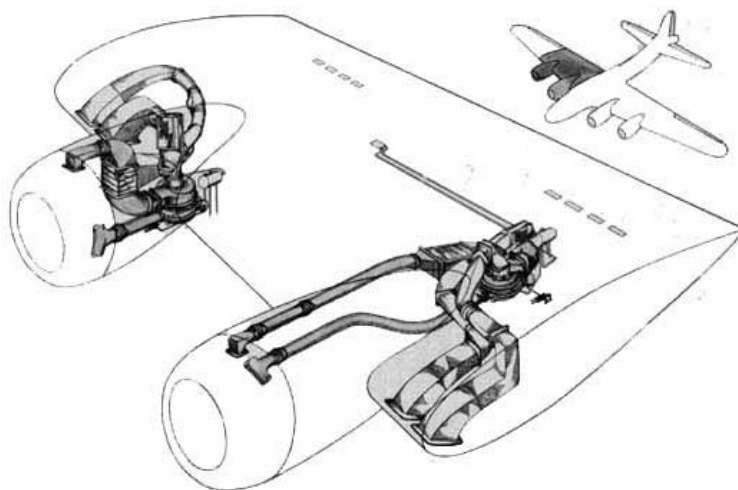
Εικόνα 2.6 : Διάταξη κυκλωμάτων συστήματος ενάυσεως με μανιατό

2.3 Υπερτροφοδότηση

Λόγω της μείωσης της πυκνότητας με την αύξηση του υψόμετρου και της συνεπαγόμενης μείωσης της παραγόμενης ισχύος οι εμβολοφόροι κινητήρες αεροσκαφών είναι κατά κανόνα υπερτροφοδοτούμενοι. Η λειτουργία σε περιβάλλον μειωμένης πυκνότητας αέρα κάνει απαραίτητη τη χρήση συστημάτων υπερτροφοδότησης για την ανάκτηση της αποδιδόμενης ισχύος (σε σύγκριση με τη λειτουργία σε συνθήκες αέρα στο επίπεδο της θάλασσας). Μάλιστα η εξέλιξη των συστημάτων υπερπλήρωσης ξεκίνησε από τις αεροπορικές εφαρμογές για να αντισταθμίσει αυτήν την απώλεια ισχύος σε πτήσεις μεγάλου υψόμετρου. Χωρίς τη χρήση υπερτροφοδοτών, προκειμένου να επιτευχθεί αντιστάθμιση της απώλειας ισχύος λόγω μείωσης της πυκνότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, απαιτείται αύξηση της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα ή αύξηση του όγκου εμβολισμού. Η μεν πρώτη λύση οριοθετείται λόγω της αύξησης των μηχανικών απωλειών, η οποία είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας περιστροφής, η δε αύξηση του όγκου εμβολισμού οδηγεί σε βαρύτερους και πιο ογκώδεις κινητήρες που όπως επεξηγήθηκε και νωρίτερα αποφεύγονται σε αεροπορικές εφαρμογές. Συνεπώς η χρήση υπερτροφοδοτών υπερτερεί και για το λόγο αυτό έχει πρακτικά επικρατήσει. Στην εικόνα 2.7 φαίνονται τύποι υπερτροφοδοτών κινητήρων αεροσκαφών και στην εικόνα 2.8 τυπική απεικόνιση της τοποθέτησής τους στις πτέρυγες ενός αεροσκάφους.



Εικόνα 2.7 Τύποι μηχανικών συμπιεστών που χρησιμοποιούνται στην υπερτροφοδότηση αεροσκαφών



Εικόνα 2.8: Υπερτροφοδότηση σε αεροπορικούς κινητήρες

2.4 Ιδιαιτερότητες των Αεροπορικών Κινητήρων όσον αφορά στην Ποιότητα του Μείγματος Αέρα –Καυσίμου.

Παράλληλα με την υπερτροφοδότηση οι εμβολοφόροι αεροπορικοί κινητήρες λειτουργούν με ιδιαίτερα χαμηλούς λόγους ισοδυναμίας αέρα-καυσίμου. Αυτό γίνεται για τους ακόλουθους λόγους :

- την επίτευξη ασφαλούς έναυσης,
- την μεγιστοποίηση της αποδιδόμενης ισχύος και
- την ψύξη των κεφαλών του κινητήρα λόγω των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών του χρησιμοποιούμενου καυσίμου.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, όπως θα φανεί στα επόμενα κεφάλαια, ο λόγος ισοδυναμίας αέρα-καυσίμου κυμαίνεται απο 0.6 έως 0.8. Και σε αυτήν την περίπτωση στόχος παραμένει η ελαχιστοποίηση της απώλειας ισχύος στις συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες αέρα περιβάλλοντος που επηρεάζουν έντονα τη λειτουργία του κινητήρα.

Κεφάλαιο 3^ο

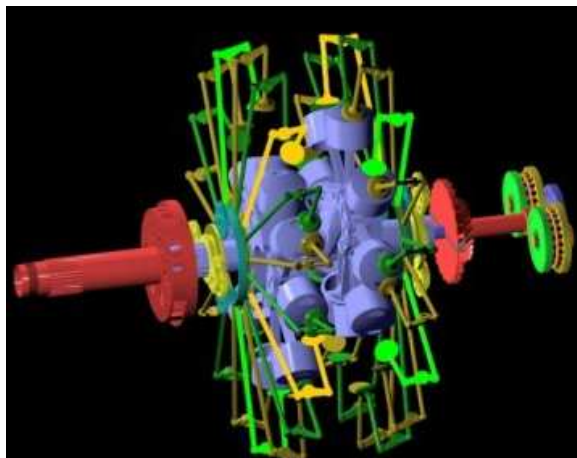
Περιγραφή του Κινητήρα R2800 που εφοδιάζει το Α/φος CL-215.

3.1 Προδιαγραφές – Τεχνικά Στοιχεία και χαρακτηριστικά λειτουργίας της μηχανής

Στο κεφάλαιο αυτό θα εισέλθουμε σε λεπτομερέστερη περιγραφή του υπό εξέταση κινητήρα R2800 της Pratt & Whitney. Συγκεκριμένα, θα παρατεθούν ορισμένα από τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του κινητήρα, κάποια από τα οποία θα χρησιμοποιηθούν αργότερα και στην παραμετρική ανάλυση και αξιολόγηση της λειτουργικής του συμπεριφοράς.

3.1.1 Γενικά

Ο κινητήρας του αεροσκάφους είναι ο R2800 της κατασκευάστριας εταιρείας Pratt & Whitney. Πρόκειται για κινητήρα δύο σειρών κυλίνδρων αστεροειδή (ή ακτινικό), αερόψυκτο, με μέγιστη ισχύ της τάξεως των 2100 HP στις 2800 σαλ. Αποτελείται από 18 συνολικά κυλίνδρους κατανεμημένους σε 2 σειρές. Η διάμετρος του κάθε κυλίνδρου είναι 14.605 cm (5.75 in) ενώ η διαδρομή εμβόλου είναι 15.24 cm (6 in). Ο όγκος εμβολισμού ανέρχεται σε 45.949 cm³ (2804 in³). Ο λόγος συμπίεσης είναι 6.75:1 ενώ οι λόγοι μετάδοσης της κίνησης στο γρναζοκιβώτιο (Gear Box) πριν από το στροφείο διακρίνονται σε υψηλό και χαμηλό και έχουν τιμές 9.45:1 και 7.29:1, αντίστοιχα.



Εικόνα 3.1: Σχηματική αναπαράσταση των κινητών μερών του κινητήρα R2800

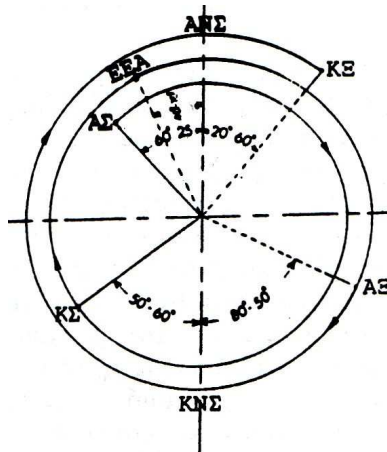
Στον πίνακα Π3.1 που ακολουθεί δίνονται κάποια επιπλέον τυπικά χαρακτηριστικά του κινητήρα R2800:

Διάμετρος στροφείου	29.21 cm
Λόγος μείωσης ταχύτητας έλικας	450:1
Διάμετρος κυκλικού πλαισίου στήριξης των μπουλονιών	85.725 cm
Μέγιστο βάρος κινητήρα	1064 kg
Μέγιστη διάμετρος κινητήρα	134.11 cm
Μέγιστο ύψος κινητήρα	199.11 cm
Θέση κέντρου βάρους κατά προσέγγιση, θεωρούμενη μπροστά από την πίσω όψη του πίσω τμήματος του στροφαλοθαλάμου	29.97 cm

Πίνακας Π3.1: τυπικά χαρακτηριστικά κινητήρα R2800

3.1.2 Χρονισμός των Βαλβίδων

Οι χρονικές στιγμές κατά τις οποίες ανοίγουν ή κλείνουν οι βαλβίδες καλούνται «χρόνοι διανομής» και τα αντίστοιχα διαγράμματα που απεικονίζουν αυτές τις στιγμές σε ένα κύκλο λειτουργίας καλούνται διαγράμματα διανομής ή σπειροειδή διαγράμματα. Ένα τυπικό διάγραμμα διανομής για υπερπληρωμένο βενζινοκινητήρα δίνεται στην εικόνα 3.2.



Εικόνα 3.2: Διάγραμμα χρόνων διανομής τυπικού υπερπληρωμένου βενζινοκινητήρα

Για το χρονισμό των βαλβίδων του κινητήρα R2800 συγκεκριμένα ισχύουν τα εξής:

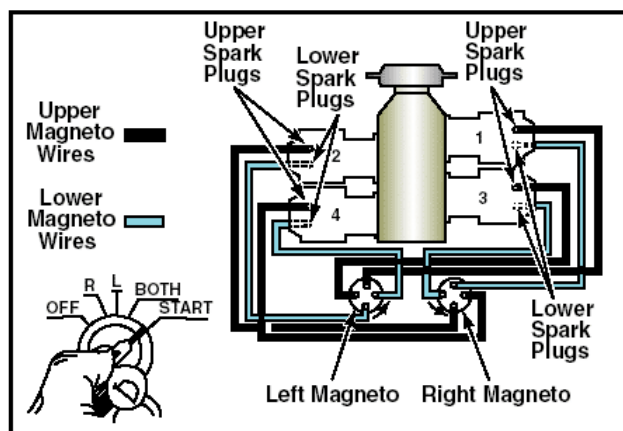
- Άνοιγμα βαλβίδας εισαγωγής (ΑΣ): 36° πριν το ANΣ
- Κλείσιμο βαλβίδας εισαγωγής (ΚΣ): 60° μετά το ΚΝΣ

- Άνοιγμα βαλβίδας εξαγωγής (ΑΞ): 70° πριν το ΚΝΣ
- Κλείσιμο βαλβίδας εξαγωγής (ΚΞ): 26° μετά το ΑΝΣ

Απο τα ανωτέρω προκύπτει ότι για τον κινητήρα R2800, κατά τη διάρκεια ενός κύκλου λειτουργίας σε ένα κύλινδρο τόσο η βαλβίδα εισαγωγής όσο και η βαλβίδα εξαγωγής παραμένουν ανοιχτές για συνολικά 276° γωνίας στροφάλου.

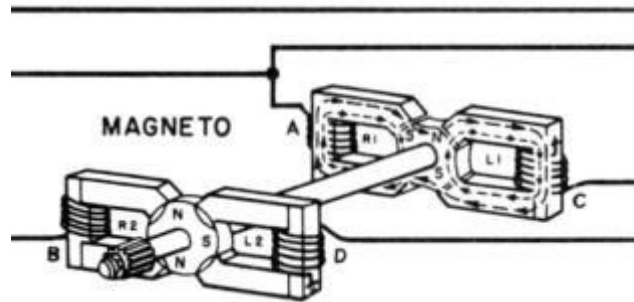
3.1.3 Σύστημα Έναυσης

Ο τύπος του μανιατού (σπινθηροπαραγωγός), που χρησιμοποιείται στον κινητήρα παρέχει και χαμηλή και υψηλή τάση. Ουσιαστικά πρόκειται για δύο διπλά συστήματα μανιατού, ένα για την υψηλή και ένα για τη χαμηλή τάση. Αξίζει να σημειωθεί, ότι εξαιτίας της κρισιμότητας του συστήματος ανάφλεξης για την ασφαλή λειτουργία του κινητήρα, είναι πάγια πρακτική να χρησιμοποιούνται δύο συστήματα ανάφλεξης. Κάθε ένα από τα δύο μανιατό επενεργεί ανεξάρτητα για την παραγωγή σπινθήρα στον έναν από τους δύο σπινθηριστές κάθε κυλίνδρου



Εικόνα 3.3: Διάταξη συστήματος έναυσης με χρήση δύο διπλών μανιατό

Το διπλό μανιατό (Double type magneto) αποτελείται από δύο μανιατό που μοιράζονται έναν κοινό περιστρεφόμενο μαγνήτη (εικόνα 3.4). Περιλαμβάνει δύο ζεύγη από πλατινές και η υψηλή τάση διοχετεύεται μέσω είτε του διανομέα του μανιατού είτε διανομέων που βρίσκονται σε άλλο σημείο του κινητήρα. Τα ζεύγη των πλατινών παράγουν αντίστοιχο αριθμό σπινθήρων σε κάθε περιστροφή του μαγνήτη.



Εικόνα 3.4: Διάταξη διπλού μανιατό

Η φορά περιστροφής του οδηγού του μανιατού είναι αυτή των δεικτών του ρολογιού και ο λόγος ταχύτητάς του προς τον στροφαλοφόρο άξονα λαμβάνει την τιμή: 1.125:1. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι η προπορεία έναυσης στην οποία είναι ρυθμισμένος να λειτουργεί ο κινητήρας είναι 21° πριν το ΑΝΣ.

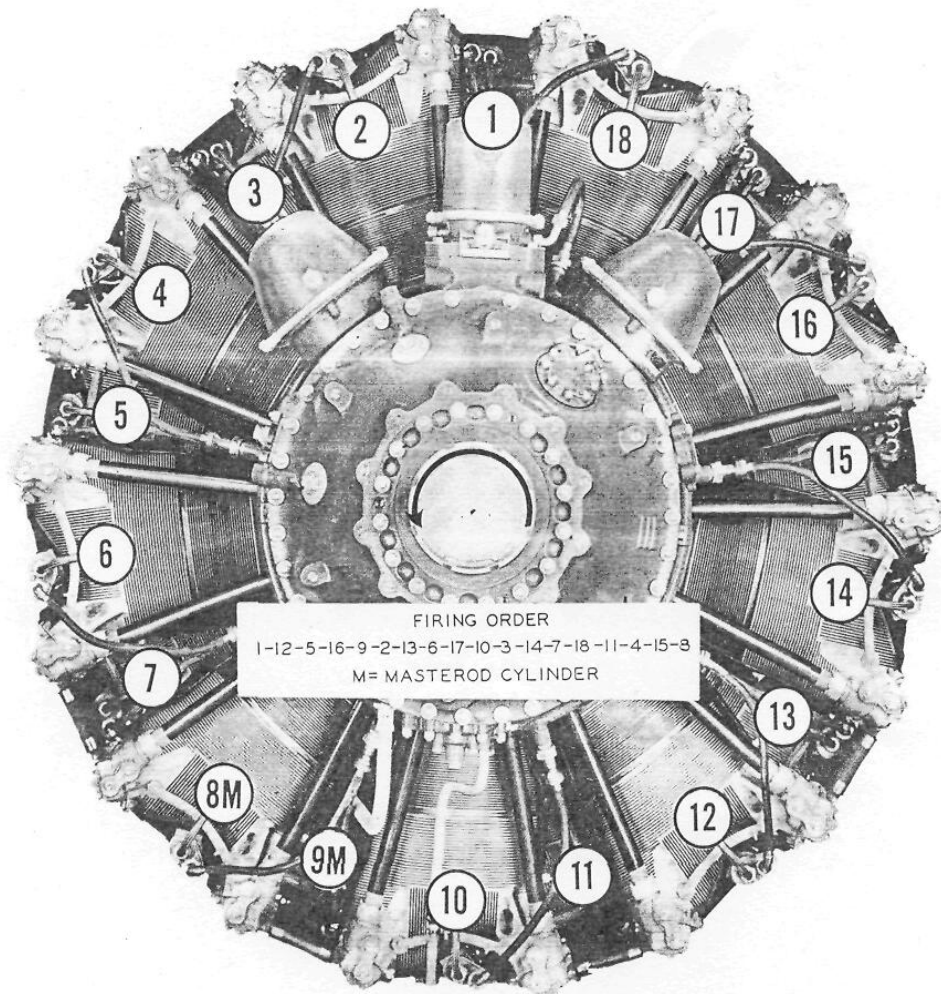
3.1.4 Σύστημα Καυσίμου

Ο κινητήρας έχει σύστημα καρμπυρατέρ Stromberg PR-58E5 για την προετοιμασία του αέριου μείγματος, δηλαδή πρόκειται για σύστημα έμμεσης έγχυσης με αναμεικτήρα πίεσης όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.1. Σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας του συστήματος αυτού μία μάζα εισαγόμενου αέρα χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της πίεσης του καυσίμου σε ένα σύστημα έγχυσης το οποίο είναι αυτό που, με τη σειρά του, καθορίζει τη ροή καυσίμου. Ο αναμεικτήρας, λοιπόν, αυξάνει την παροχή καυσίμου ανάλογα με τη μάζα του εισαγόμενου αέρα και προσδιορίζει με ακρίβεια το λόγο αέρα – καυσίμου. Βασικά εξαρτήματα είναι η χοάνη, η δικλείδα ισχύος (throttle valve), ο αναβρυτήρας (fuel nozzle), ο ρυθμιστής (regulator) και η μονάδα ελέγχου του καυσίμου (Fuel Control Unit).

Το απαιτούμενο καύσιμο είναι τύπου 100/130 octane. Το καύσιμο αυτό σε σχέση με τη βενζίνη που χρησιμοποιείται σε εμβολοφόρους κινητήρες επίγειων μέσων μεταφοράς έχει χαμηλότερη τάση ατμών γεγονός που του δίνει τη δυνατότητα να παραμένει στην υγρή φάση σε πτήση με υψόμετρο παρά τα χαμηλά επίπεδα πίεσης που επικρατούν.

3.1.5 Σειρά Ανάφλεξης

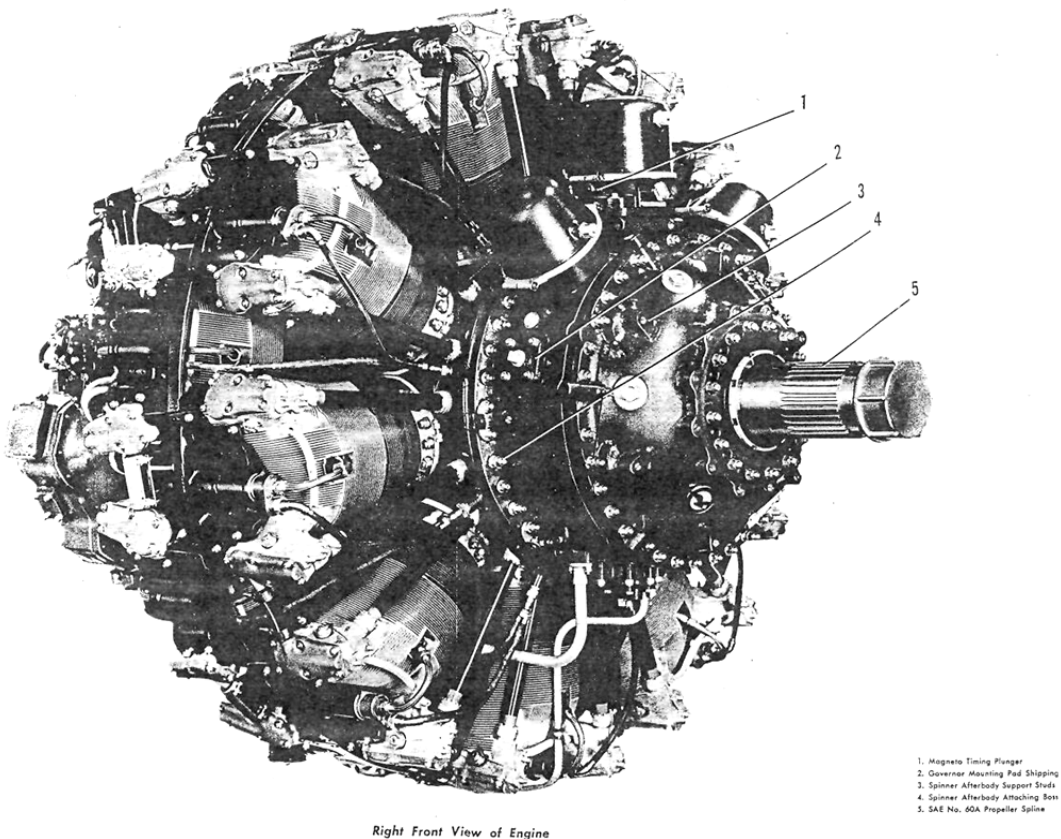
Η σειρά ανάφλεξης αποτελεί πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό για τον κινητήρα και την ομαλή λειτουργία του. Η επιλογή της κατάλληλης σειράς ανάφλεξης οδηγεί σε μειωμένα επίπεδα κραδασμών και ομαλότερη λειτουργία του κινητήρα. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.5, η κανονική σειρά ανάφλεξης για τους 18 κυλίνδρους του κινητήρα R2800 είναι 1-12-5-16-9M-2-13-6-17-10-3-14-7-18-11-4-15-8M. Οι δύο κύλινδροι που ακολουθούνται από το γράμμα «M» είναι οι κύριοι κύλινδροι κάθε σειράς. Η ιδιαιτερότητά τους οφείλεται στην άμεση συνδεσμολογία τους με το στροφαλοφόρο άξονα η οποία θα επεξηγηθεί στη συνέχεια σε αντίστοιχη παράγραφο.



Εικόνα 3.5: Σειρά ανάφλεξης στον R-2800

3.2 Ανάλυση και συνοπτική παρουσίαση των επιμέρους τμημάτων του κινητήρα R2800

Στην εικόνα 3.6 που ακολουθεί απεικονίζεται η δεξιά και μπροστινή όψη του κινητήρα του αεροσκάφους CL-215, R-2800.



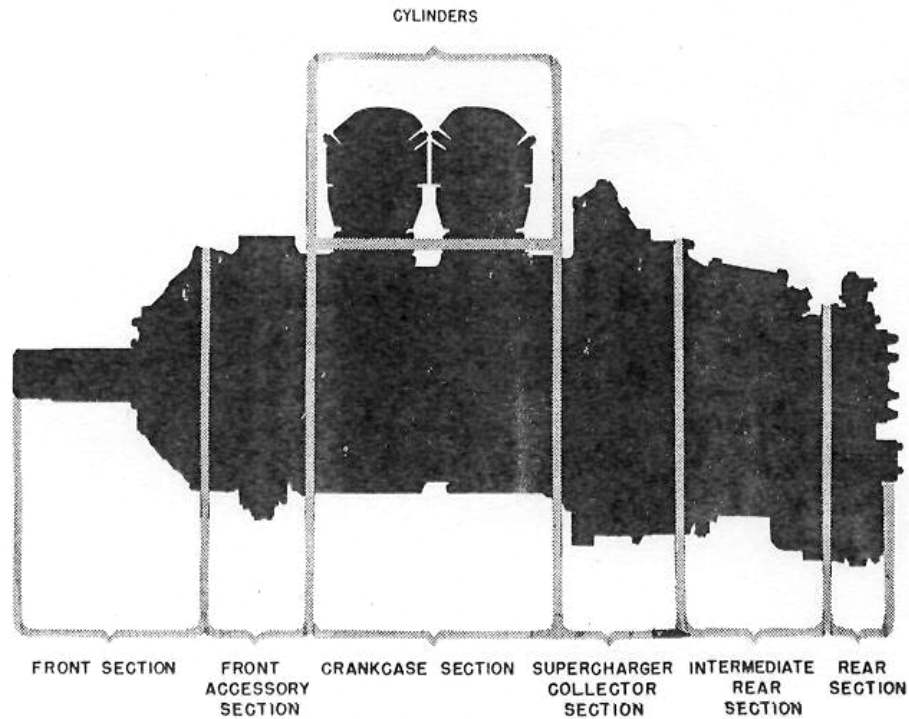
Εικόνα 3.6: Ο R-2800 του CL-215

Ο κινητήρας μπορεί να επιμεριστεί για ευκολία σε επτά (7), διαφορετικά μέρη τα οποία είναι:

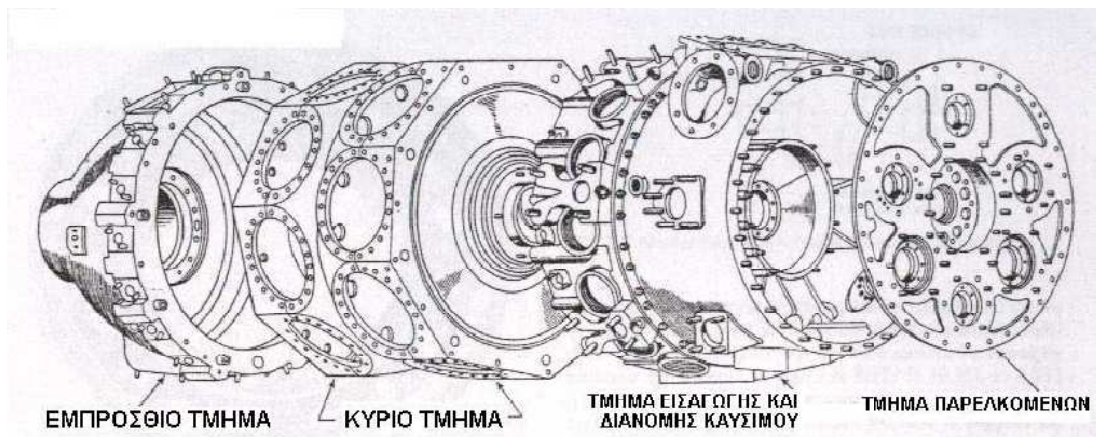
1. Το εμπρόσθιο τμήμα (εμπρόσθιο μέρος)
2. Το εμπρόσθιο τμήμα παρελκομένων
3. Το τμήμα του στροφαλοθαλάμου
4. Το τμήμα υπερπλήρωσης

5. Το ενδιάμεσο οπίσθιο τμήμα
6. Το οπίσθιο τμήμα
7. Οι κύλινδροι

Τα προαναφερθέντα τμήματα του κινητήρα παρουσιάζονται στις εικόνες 3.7 και 3.8.



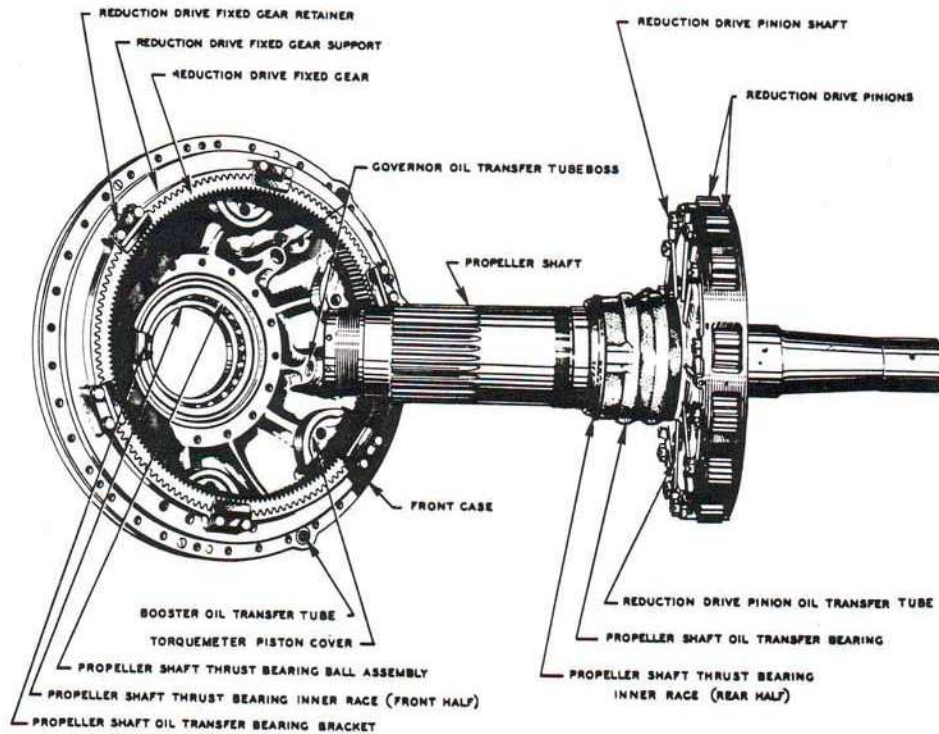
Εικόνα 3.7: Διαχωρισμός του R-2800 σε επιμέρους τμήματα



Εικόνα 3.8 : Σχηματική αναπαράσταση τμημάτων του κινητήρα R2800

3.2.1 Εμπρόσθιο τμήμα

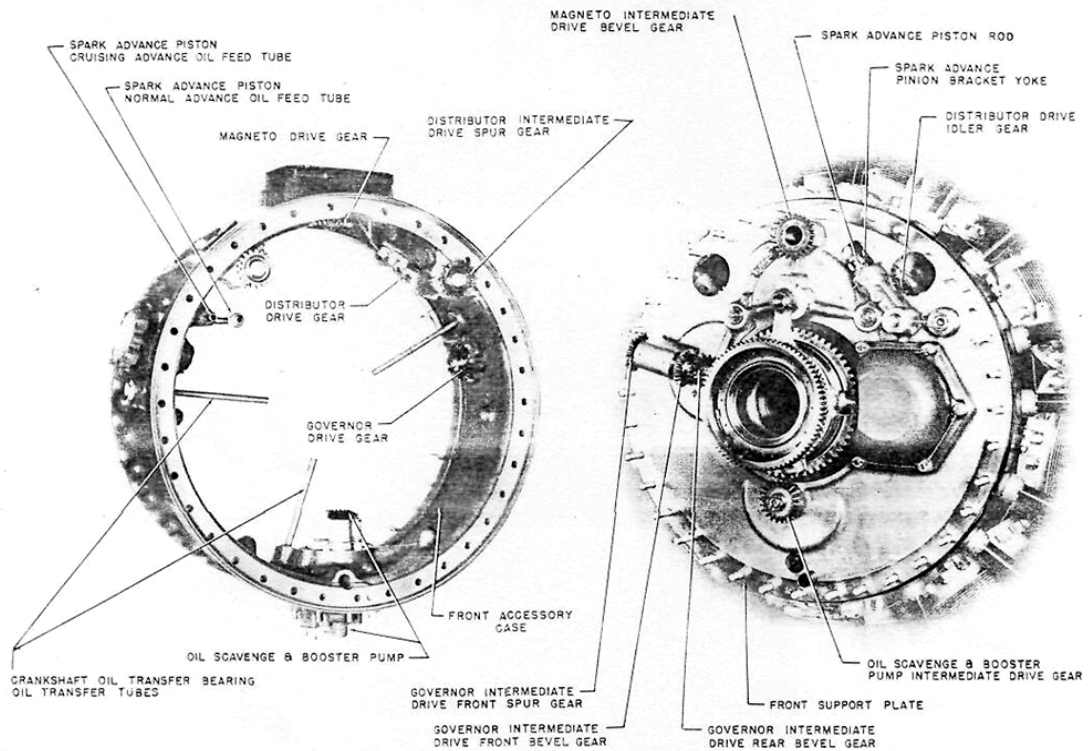
Το εμπρόσθιο μέρος του κινητήρα ενσωματώνει ένα κοίλο εξάρτημα στην μπροστινή του άκρη, στο οποίο εδράζεται το έδρανο κύλισης του άξονα της έλικας, κατάλληλο για μεταφορά μεγάλων αξονικών φορτίων. Εκτός από τη στήριξη της έλικας, σε αυτό το τμήμα του κινητήρα είναι τοποθετημένο σύστημα αυτομάτου ελέγχου μεταφοράς ελαίου διαμέσου σωληνώσεων οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη λίπανση των γραναζιών του άξονα της έλικας. Ο λόγος μείωσης των στροφών της έλικας είναι 20:9 και γίνεται μέσω πλανητικού συστήματος οδοντωτών τροχών.



Εικόνα 3.9: Το εμπρόσθιο τμήμα του κινητήρα και ο άξονας της έλικας

3.2.2 Εμπρόσθιο τμήμα παρελκομένων

Το εμπρόσθιο τμήμα παρελκομένων και λοιπών εξαρτημάτων, εφοδιάζεται με εξωτερικά έδρανα για την στήριξη ενός διπλού μανιατού, δύο διανομέων, μιας μονάδας ρύθμισης της προπορεία ανάφλεξης, ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου της έλικας και της αντλίας λαδιού του κινητήρα. Στην εσωτερική του επιφάνεια, το τμήμα αυτό, υποστηρίζει τα οδηγά γρανάζια των δύο διανομέων και τη σωλήνωση μεταφοράς του ελαίου.

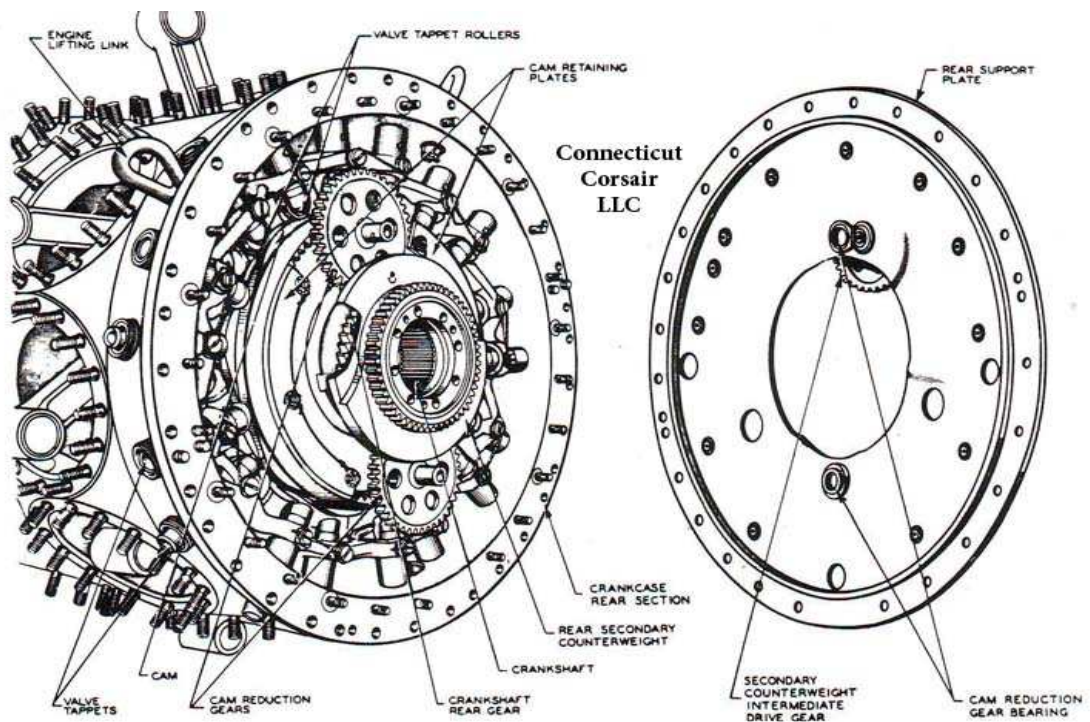


Εικόνα 3.10 : Εμπρόσθιο τμήμα παρελκομένων και εμπρόσθιο «πίατο» στήριξης

Η εμπρόσθια πλάκα στήριξης («πίατο» στήριξης), στεγάζει τα ενδιάμεσα γρανάζια, τα οποία και «καθοδηγούν» τα εμπρόσθια εξαρτήματα, τον εμπρόσθιο έκκεντρο μηχανισμό και τα μπροστινά αντισταθμιστικά του στροφαλοφόρου άξονα.

3.2.3 Τμήμα στροφαλοθαλάμου

Το τμήμα του στροφαλοθαλάμου αποτελείται από τρία ξεχωριστά τμήματα τα οποία συγκρατούνται μαζί, με πείρους (στήριξης) και ειδικά μπουλόνια. Γύρω από την εξωτερική περιφέρεια της διάταξης του στροφαλοθαλάμου, βρίσκονται τοποθετημένες δύο σειρές εδράνων στήριξης για τους κυλίνδρους. Για την υποστήριξη του στροφαλοφόρου άξονα στις άκρες του, προ-ρυθμισμένοι τριβείς με προστασία από αλουμίνιο μαζί με τις επιφάνειες των οδηγών τριβών, προσαρμύζονται στην οπή των εμπρόσθιων και οπίσθιων τμημάτων του στροφαλοθαλάμου. Ο στροφαλοφόρος άξονας υποστηρίζεται από ένα έδρανο κύλισης αποτελούμενο από δύο μέρη, το οποίο και εντοπίζεται στο κεντρικό τμήμα του στροφαλοθαλάμου και συγκρατείται στη θέση του από πλάκες (πιάτα) διατήρησης-στήριξης στο εμπρός και οπίσθιο μέρος αυτού. Η εμπρός πλάκα φαίνεται στην εικόνα 3.10 της προηγούμενης παραγράφου και η οπίσθια πλάκα στην εικόνα 3.11.

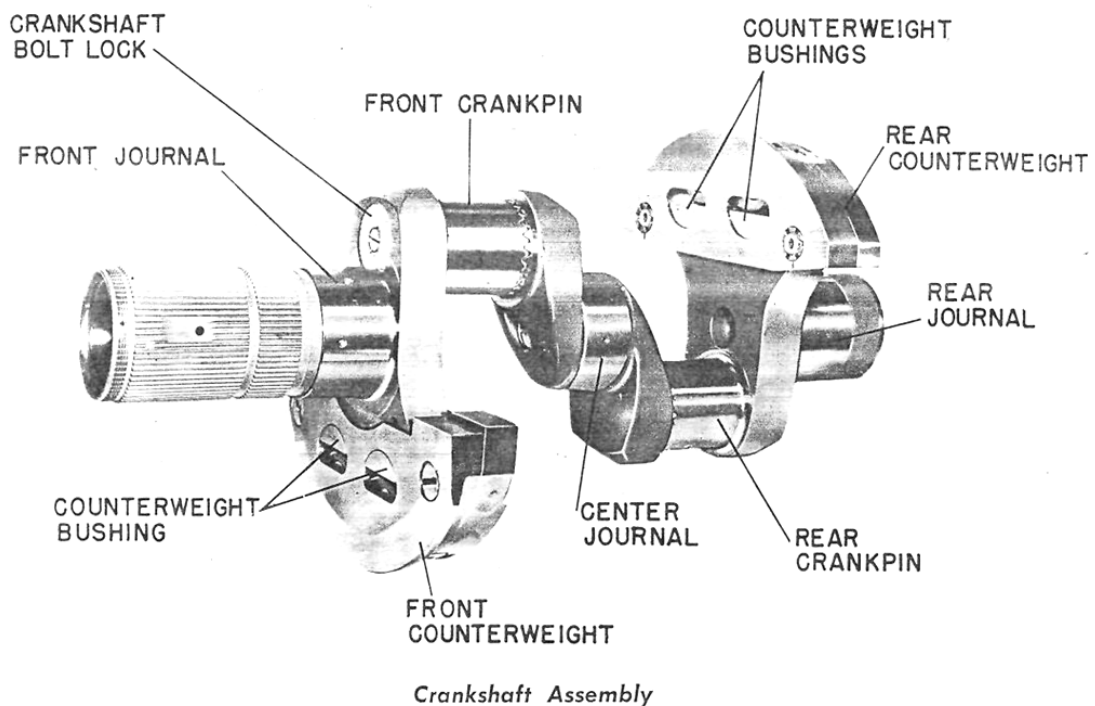


Εικόνα 3.11: Στροφαλοθάλαμος και οπίσθια πλάκα στήριξης

Τα εμπρός και πίσω κύρια έδρανα κύλισης, στρέφονται μέσα στο τμήμα του στροφαλοθαλάμου, στις εμπρός και πίσω άκρες αυτού, αντίστοιχα. Τα γρανάζια των εκκέντρων και τα αντίστοιχα έδρανα κύλισης τους στηρίζονται πάνω σε ειδικές κυκλικές διατάξεις (cam retaining plates) στα εμπρόσθια και οπίσθια τμήματα του στροφαλοθαλάμου. Οι οδηγοί των ωστηρίων κίνησης των βαλβίδων και οι ίδιοι οι μοχλοί κίνησης, για την εμπρόσθια αλλά και οπίσθια σειρά των κυλίνδρων, στηρίζονται και αυτοί στους εμπρόσθιους και οπίσθιους τομείς του στροφαλοθαλάμου, αντίστοιχα.

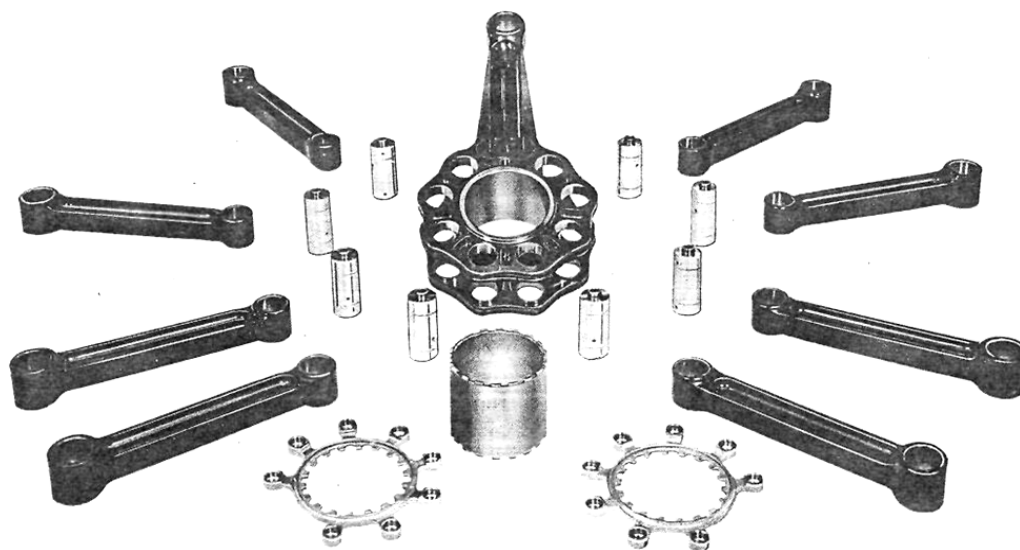
Το οπίσθιο πιάτο στήριξης το οποίο εμφανίζεται επίσης στην εικόνα 3.11 είναι «ασφαλισμένο» στο οπίσθιο μέρος του στροφαλοθαλάμου και στηρίζει την πίσω άκρη καθενός από τα πίσω γρανάζια των έκκεντρων μηχανισμών αλλά και το εμπρός άκρο των οπίσθιων αντισταθμιστικών και ενδιάμεσων οδηγών του γρναζωτού άξονα.

Το πιο σημαντικό εξάρτημα-κομμάτι του τμήματος του στροφαλοθαλάμου είναι ο στροφαλοφόρος άξονας. Ο στροφαλοφόρος άξονας αποτελείται από 3 τμήματα όπως φαίνεται στην εικόνα 3.12. Τα δύο ακριανά συνδέονται με το ενδιάμεσο τμήμα με ειδικούς πείρους που περνούν μέσα από τα κομβία (crankpins) του ενδιάμεσου τμήματος του στροφαλοφόρου άξονα. Στην εικόνα 3.12 διακρίνονται επίσης τα αντισταθμιστικά του άξονα που ενσωματώνονται με στόχο τη μείωση των κραδασμών κατά την περιστροφή του.



Εικόνα 3.12: Συνδεσμολογία του στροφαλοφόρου άξονα

Σε έναν αστεροειδή κινητήρα, όπως ο R2800, οι διωστήρες των εμβόλων είναι συνδεδεμένοι στον στρόφαλο με έναν κεντρικό αρθρωτό σύνδεσμο. Υπάρχει ένας κύριος διωστήρας ο οποίος είναι πακτωμένος στον σύνδεσμο και αποτελεί το διωστήρα του κύριου εμβόλου, ενώ οι υπόλοιποι είναι αρθρωτοί. Στην εικόνα 3.13 απεικονίζεται ο ακριβής τύπος της συνδεσμολογίας διωστήρων που χρησιμοποιείται στον κινητήρα R-2800. Οι τετράχρονοι αστεροειδείς κινητήρες έχουν μόνο αριθμό κυλίνδρων ανά αστέρα έτσι ώστε η έναυση να γίνεται ανά δεύτερο κύλινδρο επιτυγχάνοντας ομαλότερη λειτουργία και μειωμένα επίπεδα κραδασμών.

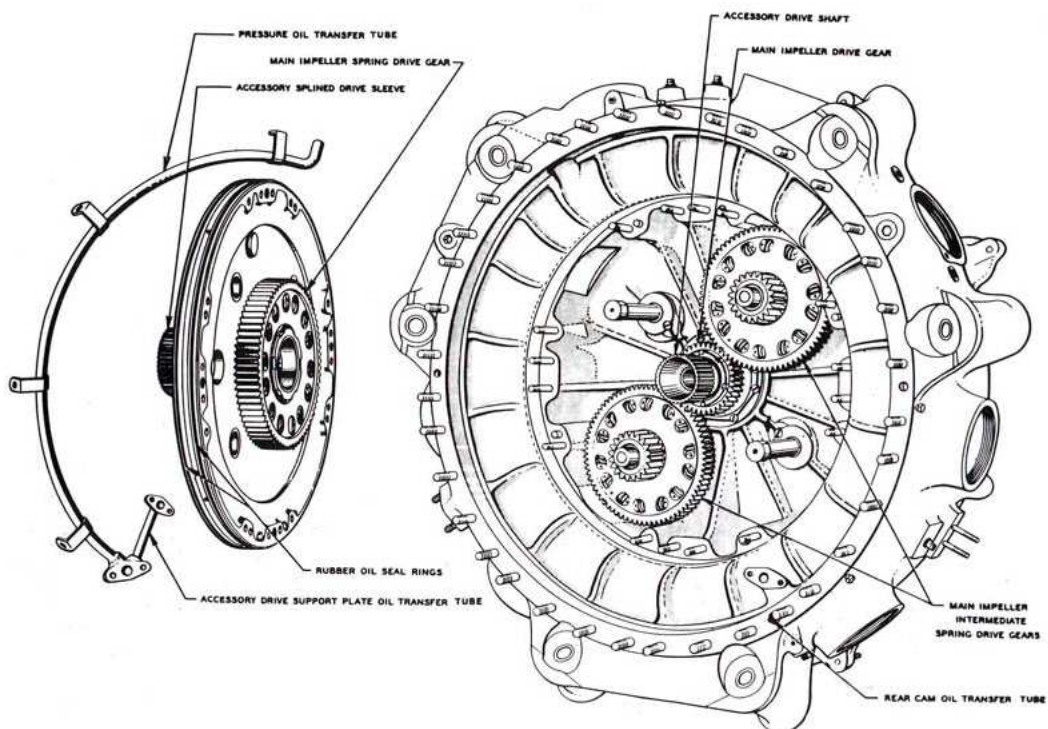


Εικόνα 3.13: Διωστήρες και συνδέσεις στον R-2800

3.2.4 Τμήμα Υπερπλήρωσης

Ο θάλαμος υπερπλήρωσης αποτελεί μια κατασκευή από χυτό κράμα μαγνησίου (Mg), η οποία και προσκολλάται στο οπίσθιο τμήμα του στροφαλοθαλάμου και στο ενδιάμεσο οπίσθιο τμήμα όπου στεγάζεται το στροφέιο.

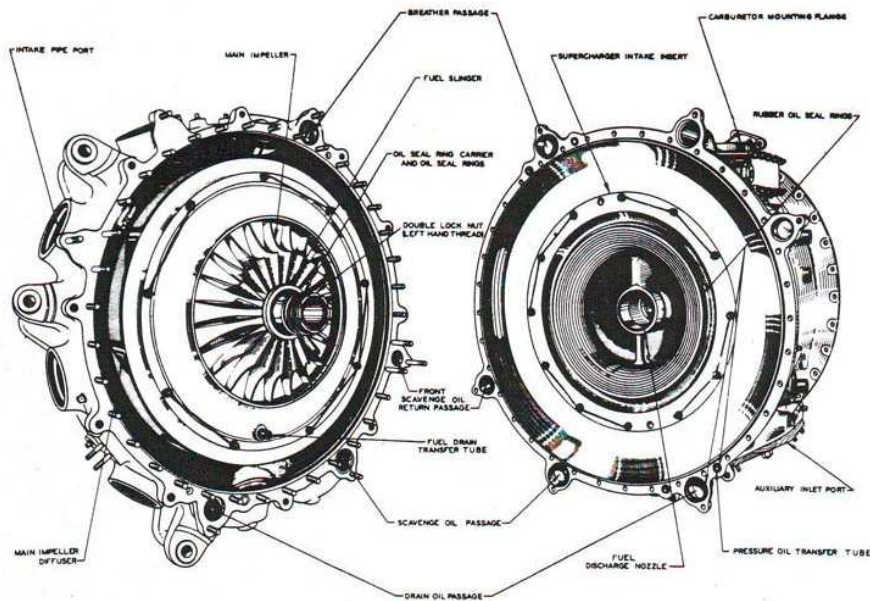
Η εμπρόσθια όψη του θαλάμου (εικόνα 3.14) περιλαμβάνει αλουμινένια κατασκευή η οποία και «φιλοξενεί» τα μπροστινά δαχτυλίδια ελαίου του άξονα του στροφείου και έναν αξονικό τριβέα με σκοπό την στήριξη του οπίσθιου άκρου του πίσω γραναζωτού άξονα αντιστάθμισης. Το τμήμα αυτό φέρει στην περιφέρειά του εννέα οπές εξόδου του αέρα. Σε κάθε τέτοια οπή προσαρτάται ένας αυλός εισαγωγής σχήματος Υ, μέσω του οποίου το μίγμα καυσίμου-αέρα μεταφέρεται στον εμπρόσθιο και στον οπίσθιο, κάθε φορά, κύλινδρο. Επιπροσθέτως, έξι διατάξεις στήριξης τοποθετούνται στην περιφέρεια του θαλάμου, οι οποίες και περιλαμβάνουν ασάλινα πλαίσια ώστε να παρέχουν την απαιτούμενη στήριξη στους βραχίονες της μηχανής.



Εικόνα 3.14: Τμήμα υπερπλήρωσης

3.2.5 Ενδιάμεσο οπίσθιο τμήμα

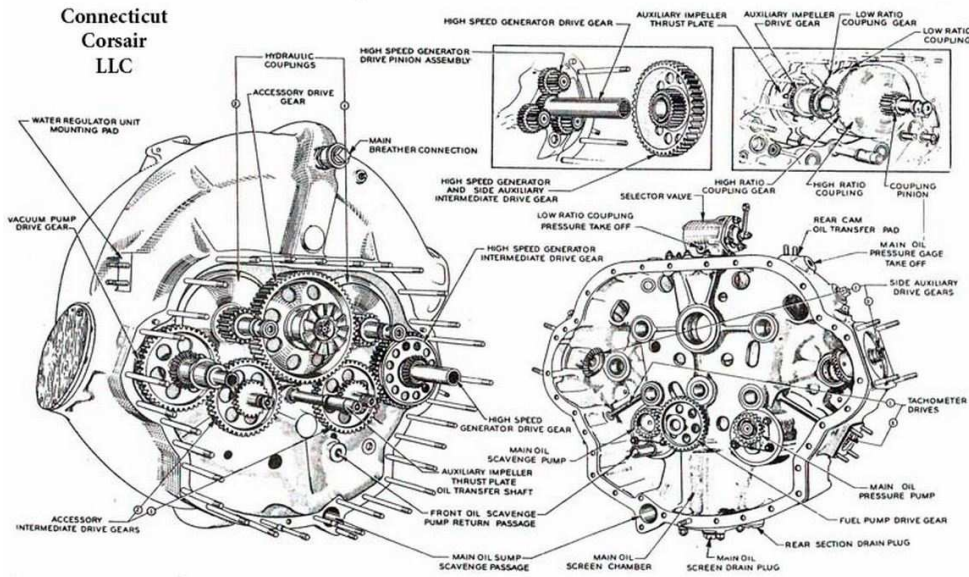
Ο ενδιάμεσος οπίσθιος θάλαμος ο οποίος είναι προσκολλημένος στο πίσω μέρος του θαλάμου υπερπλήρωσης, περιλαμβάνει το στροφείο και τους οδηγούς άξονες των παρελκομένων ενώ παρέχει στήριξη στο εμπρόσθιο άκρο των αξόνων και στις ποικίλες σειρές των γραναζιών των παρελκομένων. Στην εμπρόσθια όψη του εν λόγω τμήματος του κινητήρα, τοποθετείται η είσοδος της υπερπλήρωσης η οποία σχηματίζει έναν λαιμό κατάλληλο για την εισαγωγή του αέρα στο στροφείο.



Εικόνα 3.15: Ενδιάμεσο οπίσθιο τμήμα

3.2.6 Οπίσθιο τμήμα

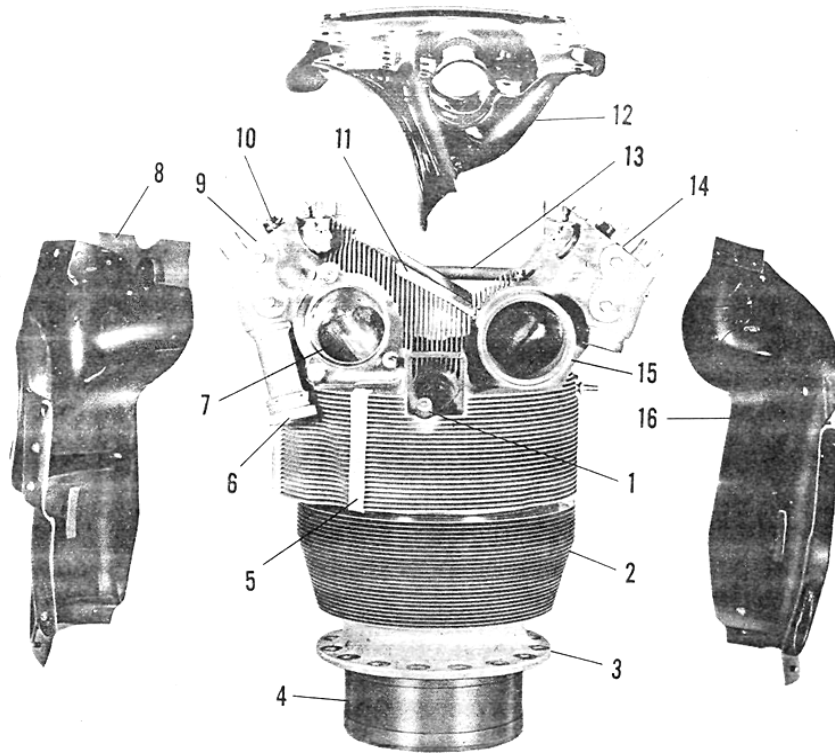
Ο οπίσθιος θάλαμος ο οποίος ακολουθεί το ενδιάμεσο οπίσθιο τμήμα του κινητήρα, περιλαμβάνει βάσεις στήριξης για πληθώρα παρελκομένων και λοιπών εξαρτημάτων και μαζί με το θάλαμο που προηγείται, «στεγάζει» και στηρίζει τις απαραίτητες εκείνες σειρές γραναζιών για την μεταχείριση των παρελκομένων, και τον στροφέα. Στην οπίσθια όψη του θαλάμου αυτού, βρίσκονται εγκατεστημένες οι κύριες αντλίες ελαίου. Στο κέντρο της βάσης του οπίσθιου θαλάμου του R-2800, τοποθετείται ένας επιπλέον θάλαμος πίεσης ελαίου για αποστράγγιση (φιλτράρισμα), ο οποίος περιέχει την συνδεσμολογία του φίλτρου αποστράγγισης και μία βαλβίδα ελέγχου του ελαίου.



Εικόνα 3.16: οπίσθιο τμήμα κινητήρα R2800

3.2.7 Κύλινδροι και έμβολα

Οι κύλινδροι, εικόνα 3.17, κατασκευάζονται με σφυρηλάτηση ατσάλιου και αποτελούν ενιαίο τμήμα με την κεφαλή. Χιτώνια από σφυρήλατο αλουμίνιο, στα οποία έχουν διαμορφωθεί τα πτερύγια ψύξης, τοποθετούνται στο κεντρικό τμήμα της κυλινδρικής κατασκευής με θερμική μέθοδο.



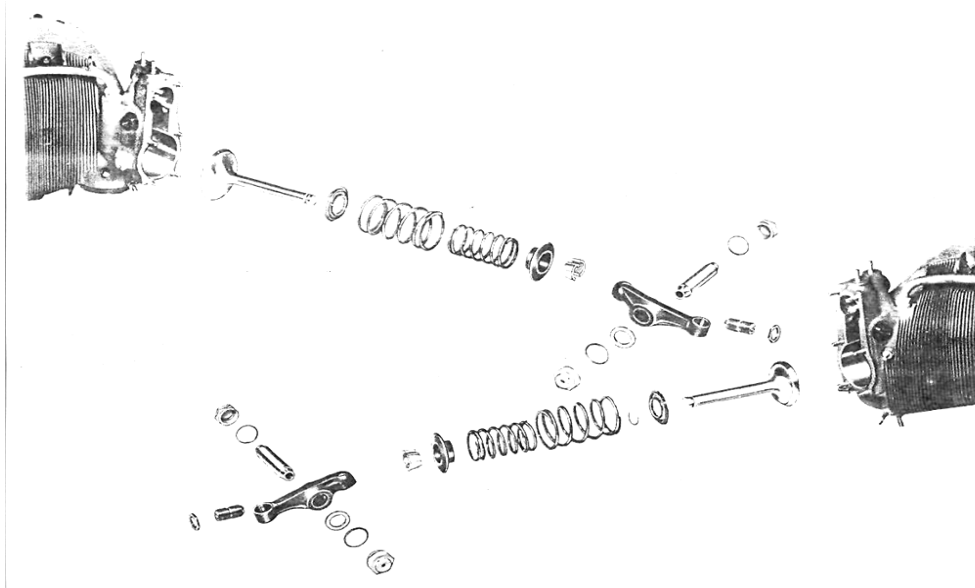
- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Thermocouple Adapter | 9. Exhaust Rockerbox |
| 2. Cylinder Barrel Muff Fins | 10. Valve Adjusting Screw |
| 3. Cylinder Flange | 11. Head Fin Protector |
| 4. Cylinder Skirt | 12. Inter-Ear Deflector |
| 5. Cylinder Fin Damper | 13. Inter Ear Drain Tube |
| 6. Exhaust Pushrod Cover Extension | 14. Inlet Rockerbox |
| 7. Exhaust Port | 15. Rear Intake Pipe Coupling |
| 8. Left Inter-Cylinder Deflector | 16. Right Inter-Cylinder Deflector |

Rear Cylinder Assembly

Εικόνα 3.17: Ο κύλινδρος του R-2800

Οι κεφαλές είναι και αυτές κατασκευασμένες από σφυρήλατο αλουμίνιο μαζί με τα πτερύγια ψύξης. Καθένας από τους κυλίνδρους έχει μία βαλβίδα εισαγωγής και μία εξαγωγής, καθώς και έδρες για την προσαρμογή των βαλβίδων. Η κυλινδροκεφαλή περιλαμβάνει επίσης οδηγούς των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής, σχήμα 3.18, κατασκευασμένους από χυτοσίδηρο (μαντέμι), υποδοχές (εισόδους) για δύο σπινθηροπαραγωγούς έναυσης (μπουζι) και δύο ατσάλινους πείρους για την στήριξη

καθενός από τους μοχλούς που κινούν της βαλβίδες. Οι κύλινδροι είναι εφοδιασμένοι με κολάρα (φλάντζες) και ασφαλιζονται-προσκολλώνται στον στροφαλοθάλαμο του κινητήρα.



Εικόνα 3.18: Συναρμολογήσεις των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής, οι οποίες βρίσκονται πάνω στον κύλινδρο

Τα έμβολα που χρησιμοποιούνται στον κινητήρα R-2800, τα οποία είναι αλουμινένια και με επίπεδη κεφαλή τύπου "full skirt". Κάθε έμβολο έχει πέντε δαχτυλιοειδής εσοχές. Στις πρώτες 3 εσοχές προσαρμόζονται τα ελατήρια συμπίεσης τα οποία στόχο έχουν να εμποδίζουν τη διέλευση καυσαερίων προς τον στροφαλοθάλαμο. Το πρώτο από αυτά λόγω υψηλής καταπόνησης και κακής λίπανσης υποβάλλεται σε επιχρωμίωση για να αυξηθεί η αντοχή του. Στη συνέχεια υπάρχουν τα ελατήρια ελαίου που στόχο έχουν την επίτευξη στεγανότητας του θαλάμου καύσης από το λάδι λίπανσης και ένα ελατήριο απόξεσης υπολειμμάτων ελαίου από τα τοιχώματα του κυλίνδρου.

Κεφάλαιο 4^ο

Υπάρχουσες Τεχνικές Ελέγχου Ισχύος του Κινητήρα R2800

Στη διάρκεια των δοκιμών του κινητήρα στο δοκιμαστήριο της EAB λαμβάνονται μετρήσεις που αφορούν στη λειτουργία του όπως η πίεση και η θερμοκρασία εισαγωγής, η θερμοκρασία των κεφαλών του κινητήρα, η πίεση και η θερμοκρασία που επικρατούν στον εξαεριστή κ.α. Στη συνέχεια υπολογίζονται μέσω κατάλληλων διαγραμμάτων οι απαιτούμενοι διορθωτικοί συντελεστές για κάθε μια από τις ανωτέρω πειραματικές ενδείξεις, έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη η επίδραση των μεταβαλλόμενων περιβαλλοντικών συνθηκών. Εν συνεχεία, γίνεται αναγωγή των μετρούμενων συνθηκών σε τυπικές συνθήκες, υπολογίζεται η διορθωμένη τιμή του φορτίου λειτουργίας της μηχανής και ελέγχονται έτσι τα επίπεδα ισχύος του κινητήρα.

Στο παρόν κεφάλαιο θα παραθέσουμε για εποπτικούς λόγους κάποια από τα διαγράμματα υπολογισμού των διορθωτικών συντελεστών λαμβάνοντας υπ' όψιν στοιχεία από το εγχειρίδιο συντήρησης του κατασκευαστή (Pratt & Whitney, 1955), από αντίστοιχα εγχειρίδια της εταιρείας Canadair (1986) καθώς επίσης και από κατάλληλα υπολογιστικά φύλλα (excel) που χρησιμοποιεί η EAB κατά τις οδηγίες του κατασκευαστή για τον υπολογισμό τους και τον έλεγχο ισχύος των κινητήρων R2800.

Αρχικά, οι ενδείξεις που απαιτούνται για τον έλεγχο του κινητήρα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα

Μετρούμενο Μέγεθος	Μονάδα Μέτρησης
M.A.P	In Hg
BMEP	Psi
Fuel Flow	pph
Engine RPM	rpm
C.H.T	Dec C
C.A.T	Dec C
T Dry	Dec C
T Wet	Dec C
Barometric Pressure	In Hg

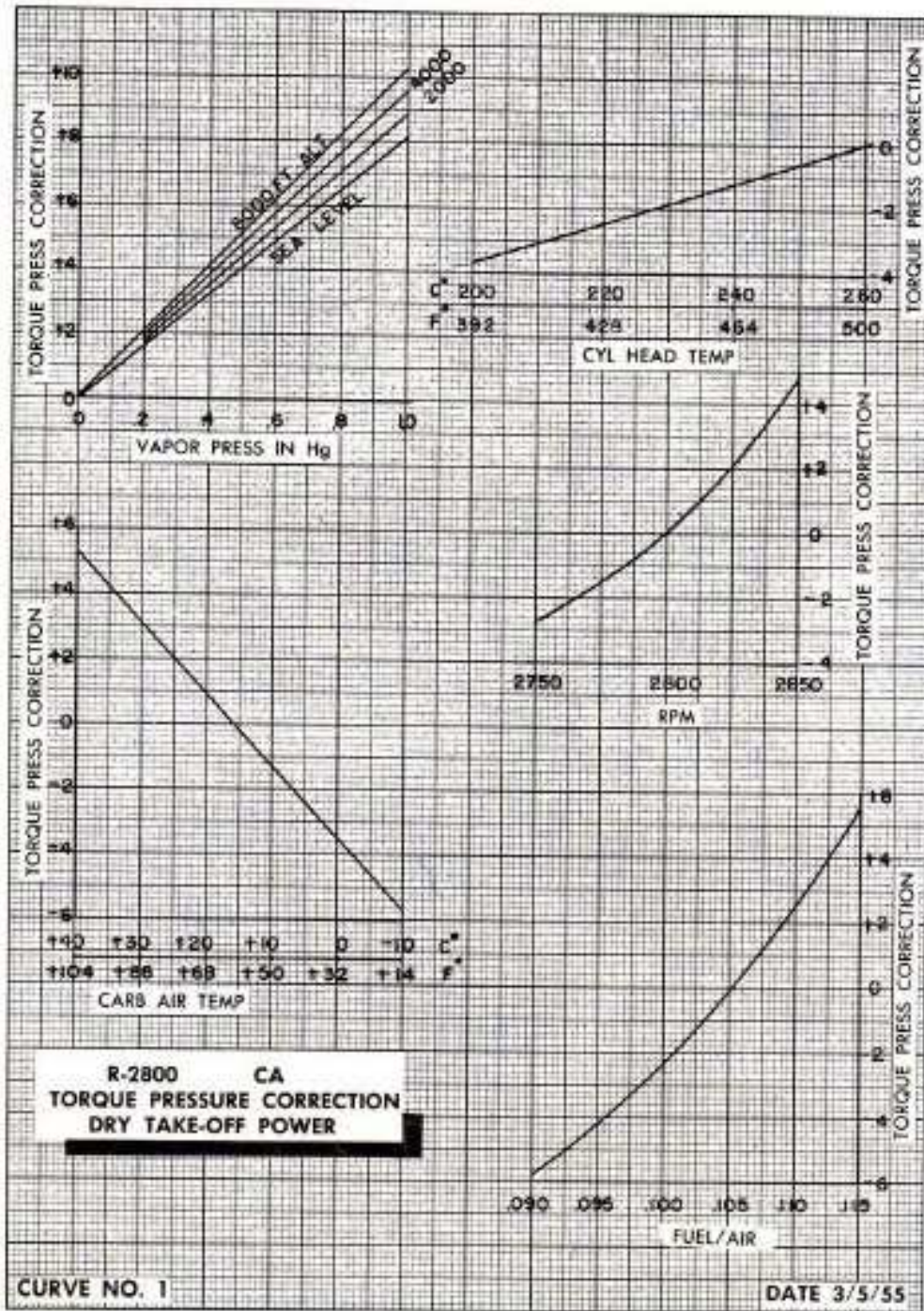
Πίνακας Π4.1 : Καταγραφόμενα λειτουργικά μεγέθη του κινητήρα

Όπου :

- M.A.P. : manifold absolute pressure / Πίεση οχετού εισαγωγής
- B.M.E.P. : brake mean effective pressure / Πίεση Ροπής
- Fuel Flow : Παροχή καυσίμου
- Engine RPM : ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα
- C.H.T. : cylinder head temperature / θερμοκρασία κεφαλών κυλίνδρων
- C.A.T. : carburetor air temperature / Θερμοκρασία αέρα στον εξαεριοτή
- T dry : Dry bulb temperature / Θερμοκρασία ψυχρής σφαίρας
- T wet : Wet bulb temperature / Θερμοκρασία υγρής σφαίρας
- Barometric Pressure / Βαρομετρική πίεση

Εφόσον συλλεγούν αυτά τα στοιχεία, διενεργώντας τις απαραίτητες μετρήσεις, γίνεται αναδρομή στα αντίστοιχα διαγράμματα προσδιορισμού των διορθωτικών συντελεστών για την παροχή αέρα και την πίεση ροπής του κινητήρα απ' όπου θα προσδιορίσουμε κατά πόσο η λειτουργία του κινητήρα μας βρίσκεται σε αποδεκτά όρια.

Ενδεικτικά, ακολουθούν παραδείγματα των διαγραμμάτων υπολογισμού των διορθωτικών συντελεστών:



15) - 6 -

Εικόνα 4.1 : Διαγράμματα υπολογισμού διορθώσεων από το εγχειρίδιο ελέγχου συντήρησης του κατασκευαστή (1955) για τη μέτρηση της πίεσης ροπής

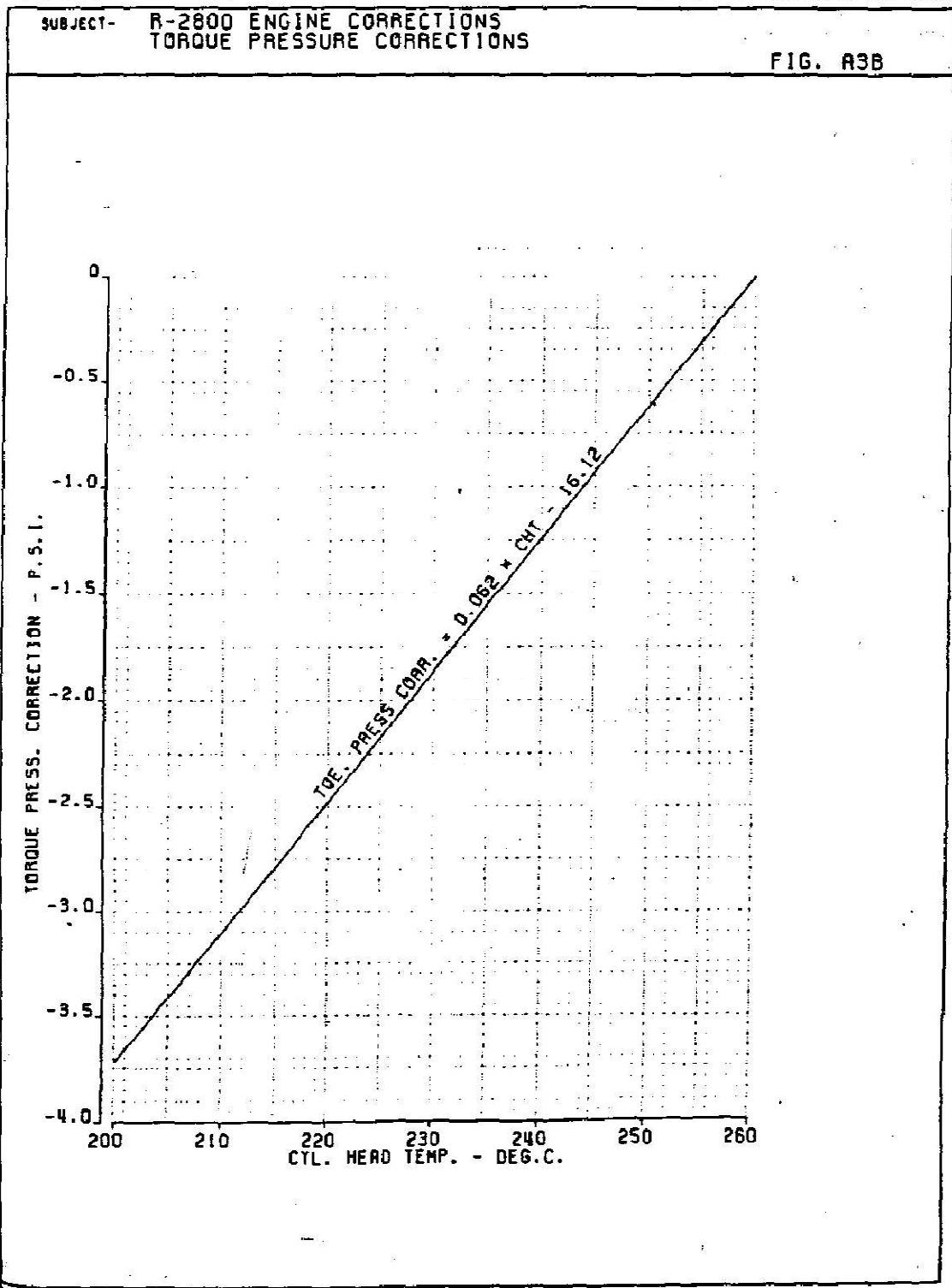
PREPARED B. B. PARRACK
CHECKED B. B. EDWARDS
APPROVED B. B. EDWARDS

Canadair

MODEL CL-215

APPENDIX I - A27

PAGE
REPORT CES-1000-APPX.1..
DATE 12/05/86



Εικόνα 4.2 : Διάγραμμα υπολογισμού διόρθωσης για τη μέτρηση της πίεσης ροπής σχετικά με τη θερμοκρασία των κεφαλών του κινητήρα

PREPARED B. PARACK.....
CHECKED R. A. EDWARDS.....
APPROVED R. A. EDWARDS.....

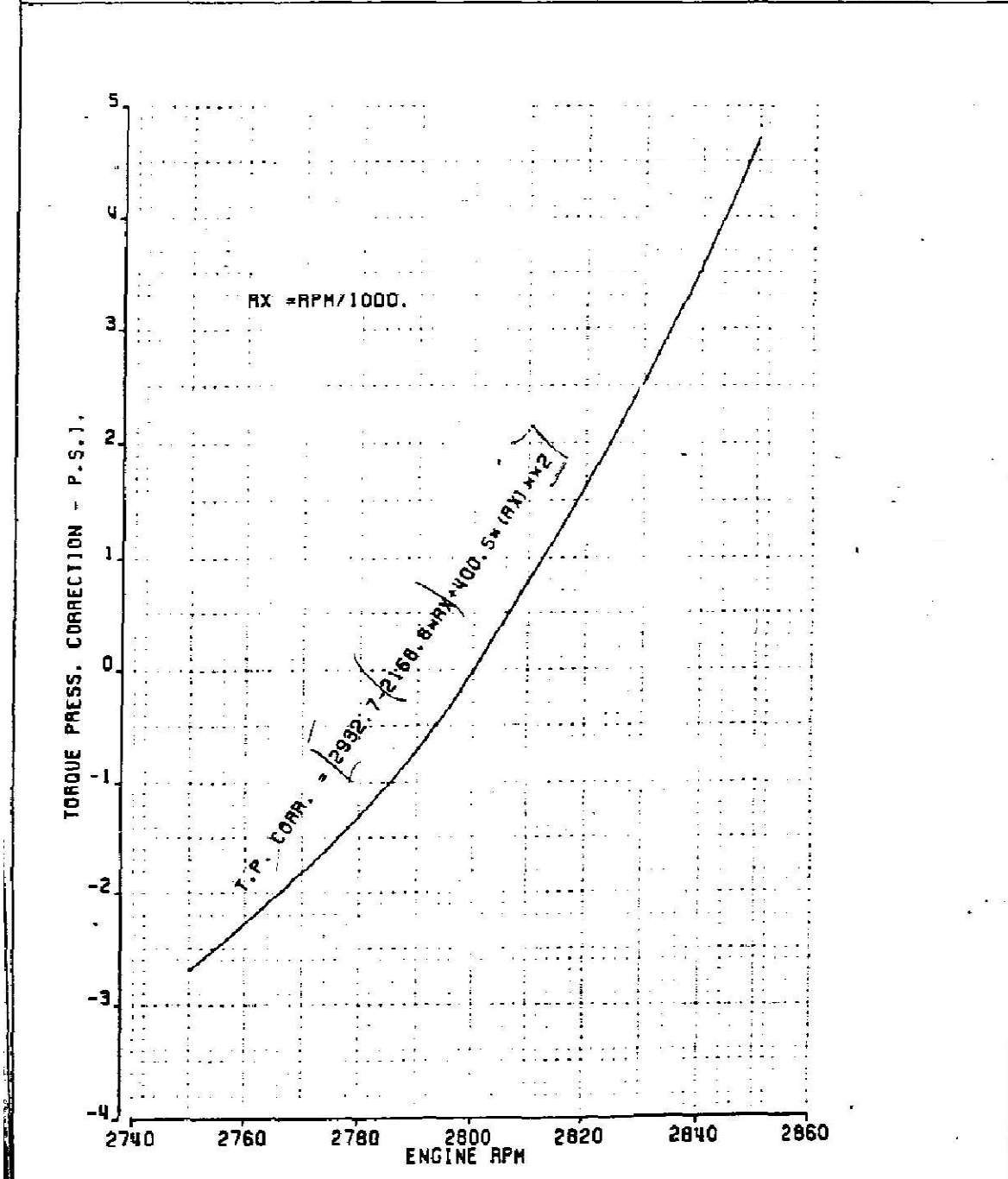
canadair

MODEL... CL-215.....

PAGE... APPENDIX I - A29
REPORT... CES-1000-APPX. I.
DATE... 13/05/86.....

SUBJECT- R-2800 ENGINE CORRECTIONS
TORQUE PRESSURE CORRECTIONS

FIG. A30



Εικόνα 4.3: Διάγραμμα για τη διόρθωση της πίεσης ροπής σε σχέση με την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα.

Η ΕΑΒ έχει προχωρήσει στη δημιουργία ενός υπολογιστικού φύλλου για την αναγωγή των μετρήσεων σε συνθήκες τυπικής ημέρας, το οποίο δίνεται στην εικόνα 4.4.

R2800 POWER CHECK CALCULATION SHEET

REF. E.O. 72-7200-06

CAUTION: OPERATOR IS ALLOWED TO EDIT VALUES ONLY IN CELLS WITH GREEN FONT

M.A.P	In Hg	48.1
BMEP	Psi	103
Fuel Flow	pph	1269
Engine RPM	rpm	2800
C.H.T	Dec C	230
C.A.T	Dec C	36
T Dry	Dec C	30
T Wet	Dec C	27
Barometric Prerssure	In Hg	29.4

W/O :	PRECISION
Date :	30-06-10
S/N :	35362

BMEP Required :	102.2	(without AIRFLOW CORRECTION)
BMEP Corrected :	113.9	
	11.6	

CALCULATIONS - CORRECTIONS

W	0.021
Vapour Pressure	0.991
Torque Correction	8.199 V.P.
Torque Correction	-1.860 CHT
Torque Correction	-0.020 RPM
Torque Correction	4.844 CAT
Torque Correction	-0.273 EXH B.P.
Airflow	14137.55
AIR COR	0 RPM
AIR COR	30.668 BARO
AIR COR	-579.600 CAT
AIR COR	270.000 CHT
SUM	13858.6
FF/SUM	0.092
Torque Correction	-5.16 F/A RATIO

FINAL TORQUE PRESSURE	
(including AIRFLOW CORRECTION)	
REQUIRED	102.2 psi
CORRECTED	108.7 psi
PERF. MARGIN	6.5 psi
ENGINE OK	

Εικόνα 4.4 : Υπολογιστικό φύλλο excel της επίσημης εταιρείας

Όπως περιγράφεται στην ανωτέρω εικόνα υπολογίζεται η ανηγμένη πίεση ροπής και η ανηγμένη παροχή αέρα με βάση τις διορθώσεις που επιβάλλει το εγχειρίδιο του κατασκευαστή. Οι διορθώσεις αυτές αφορούν στην τάση ατμών του καυσίμου, τη θερμοκρασία κεφαλών του κινητήρα, τη θερμοκρασία αέρα του εξαεριστή και τη βαρομετρική πίεση. Απαιτούμενες μετρήσεις για τους υπολογισμούς είναι τα μεγέθη που παρουσιάζονται στον πίνακα Π4.1.

Για εποπτικούς λόγους παρατίθεται στη συνέχεια μια επεξήγηση της διαδικασίας υπολογισμών των παραμέτρων που φαίνονται στην εικόνα 4.4. λαμβάνοντας υπ' όψιν τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στις εικόνες 4.1 έως 4.3:

Αρχικά υπολογίζεται η τάση ατμών του καυσίμου σύμφωνα με τη σχέση:

$$vp = \frac{866.6 \cdot w}{28.96 \cdot w + 18} \quad (4.1)$$

Όπου

$$w = 3.75 \cdot 10^{-3} + (2.791 \cdot 10^{-4} \cdot TWet) + (7.333 \cdot 10^{-4} \cdot TWet^2) + 3 \cdot 10^{-7} \cdot TWet^3 - 4.185 \cdot 10^{-4} \cdot (TDry - TWet) \quad (4.2)$$

Έπειτα υπολογίζονται οι διορθώσεις της πίεσης ροής που αφορούν στα παρακάτω μεγέθη:

- *Τάση ατμών*
 $Torque_{Cor_{vp}} = 8.275 \cdot vp \quad (4.3)$

- *Θερμοκρασία κεφαλών κινητήρα*
 $Torque_{Cor_{CHT}} = 0.062 \cdot CHT - 16.12 \quad (4.4)$

- *Ταχύτητα περιστροφής κινητήρα*
 $Torque_{Cor_{RPM}} = 2932.7 - 21.68 \cdot \frac{rpm}{1000} + 400.5 \cdot \left(\frac{rpm}{1000}\right)^2 \quad (4.5)$

- *Θερμοκρασία αέρα εξαεριωτή*
 $Torque_{Cor_{CAT}} = 0.229 \cdot CAT - 3.4 \quad (4.6)$

- *Βαρομετρική πίεση*
 $Torque_{Cor_{BP}} = 6.28 - 0.855 \cdot bp + 0.0215 \cdot bp^2 \quad (4.7)$

Πρέπει να υπολογιστεί και διόρθωση που αφορά στο λόγο καυσίμου αέρα. Για να είναι αυτό δυνατό, πρέπει αρχικά να υπολογιστεί η παροχή αέρα και να αναχθεί σε τυπικές συνθήκες.

Η παροχή αέρα χωρίς διόρθωση θα είναι:

$$\dot{m}_a = 335.5 * M.A.P. - 2000 \quad [pph] \quad (4.8)$$

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι διορθώσεις που αφορούν στα παρακάτω μεγέθη:

- Ταχύτητα περιστροφής κινητήρα
$$Airflow_{Cor_{RPM}} = 3.6 \cdot rpm - 10080 \quad (4.9)$$

- Βαρομετρική πίεση
$$Airflow_{Cor_{BP}} = 450 - 17.93 \cdot bp + 1.095 \cdot bp^2 \quad (4.10)$$

- Θερμοκρασία αέρα εξαεριωτή
$$Airflow_{Cor_{CAT}} = 414 - 27.6 \cdot CAT \quad (4.11)$$

- Θερμοκρασία κεφαλών κινητήρα
$$Airflow_{Cor_{CHT}} = 0.062 \cdot CHT - 16.12 \quad (4.12)$$

Άρα η ανηγμένη παροχή αέρα θα είναι

$$\dot{m}_{a_{cor}} = \dot{m}_a + Corrections$$

Όπου Corrections είναι το αλγεβρικό άθροισμα των επιμέρους διορθώσεων όπως αυτές προέκυψαν από τις εξισώσεις (4.9) έως (4.12)

Ο Λόγος καυσίμου – αέρα προκύπτει ως γνωστόν από τη σχέση:

$$FAR = \frac{FuelFlow}{\dot{m}_{a_{cor}}} \quad (4.13)$$

Όπου την παροχή καυσίμου λαμβάνουμε από τη μετρημένη στο δοκιμαστήριο τιμή.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τον λόγο καυσίμου – αέρα όπως υπολογίστηκε από την σχέση (4.13), υπολογίζεται η τελευταία διόρθωση της πίεσης ροπής που αφορά στο λόγο καυσίμου-αέρα:

- Λόγος αέρα – καυσίμου
$$Torque_{Cor_{FAR}} = 37.72 - 1107 \cdot FAR + 7571.4 \cdot FAR^2 \quad (4.14)$$

Συνεπώς, η πίεση ροπής με το συνυπολογισμό όλων των διορθώσεων προκύπτει από τη σχέση

$$Final\ bmeP = bmeP - Torque\ Corrections \quad (4.15)$$

Όπου *Torque Corrections* είναι το αλγεβρικό άθροισμα των διορθώσεων που προκύπτουν από τις σχέσεις (4.3) έως (4.7) και τη σχέση (4.14).

Η τιμή που προκύπτει από την σχέση (4.15) συγκρίνεται με την απαιτούμενη πίεση ροής, όπως αυτή υπολογίζεται από την σχέση :

$$bmepr_{required} = 2.69 * MAP - 27.14 \text{ [psi]} \quad (4.16)$$

Εάν, το πεδίο performance margin του υπολογιστικού φύλλου της εικόνας 4.4 - δηλαδή η διαφορά $Final\ bmepr - bmepr_{required}$ - προκύψει αρνητικό, τότε ο κινητήρας δεν λειτουργεί σε αποδεκτά επίπεδα και χρειάζεται επισκευή.

Κεφάλαιο 5^ο

Παρουσίαση της Πειραματικής Διαδικασίας - Περιγραφή του Δοκιμαστήριου της EAB - Μετρητική Διάταξη ΕΜΠ

Η κατασκευή του δοκιμαστήριου της EAB της έδωσε τη δυνατότητα να διενεργεί αυτόνομα τους ελέγχους των κινητήρων των αεροσκαφών της, στις δικές της εγκαταστάσεις μετά από κάθε επισκευή. Η διαδικασία λήψης των μετρήσεων στο δοκιμαστήριο γίνεται σύμφωνα με τις υποδείξεις του κατασκευαστή όπως αυτές αναγράφονται στο έγγραφο «CES1000_Iss4_App_I.pdf». Συγκεκριμένα γίνεται έλεγχος της αποδιδόμενης ισχύος του κινητήρα σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία:

1. Άνοιγμα του κανόνα καυσίμου (Throttle) για να επιτευχθεί ταχύτητα περιστροφής 2800 ± 10 rpm με παράλληλη όμως ρύθμιση του βήματος της έλικας ώστε η πίεση του οχετού εισαγωγής να είναι στη περιοχή 49-52 in Hg. Η απαίτηση για την πίεση του οχετού εισαγωγής είναι σημαντική καθώς μόνο σε αυτήν την περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα διαγράμματα αναγωγής που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4.
2. Σταθεροποίηση στροφών για τουλάχιστον 30 sec και καταγραφή των μεγεθών του πίνακα Π4.1.
3. Εφόσον απαιτηθεί, γίνεται διόρθωση των μετρημένων τιμών για να ληφθεί υπόψη η βαθμονόμηση των οργάνων.
4. Χρήση πρότυπου ψυχομετρικού χάρτη και της βαρομετρικής πίεσης για την εκτίμηση της τάσης ατμών.
5. Εκτίμηση του λόγου καυσίμου-αέρα με χρήση της μετρημένης παροχής καυσίμου και της υπολογισμένης παροχής αέρα.
6. Προσδιορισμός της καθαρής διόρθωσης ροπής με χρήση του υπολογισμένου λόγου καυσίμου-αέρα, της τάσης ατμών, της θερμοκρασία αέρα στον εξαεριωτή, της ταχύτητας περιστροφής, της υψηλότερης θερμοκρασίας κεφαλών και της βαρομετρικής πίεσης.
7. Εκτίμηση της ανηγμένης ροπής και σύγκρισή της με την αναμενόμενη.

Η EAB ακολουθώντας την προαναφερθείσα διαδικασία διέτελεσε δοκιμή του κινητήρα με S/N 35362 ο οποίος είχε ήδη επισκευασθεί και δοκιμαστεί στην επίσημη εταιρεία στις ΗΠΑ. Στόχος ήταν η αξιολόγηση του δοκιμαστήριου της μέσω της σύγκρισης των αποτελεσμάτων του στη μέτρηση των διαφόρων παραμέτρων λειτουργίας με αυτά του πρωτόκολλου δοκιμών που συνόδευε τον κινητήρα με S/N 35362.

Οι διαφοροποιήσεις που προέκυψαν δεν ήταν προφανές κατά πόσο οφείλονταν στις διαφορετικές συνθήκες κατά τη δοκιμή και κατά πόσο στο δοκιμαστήριο της EAB. Για αυτό το λόγο προτάθηκε από το ΕΜΠ -το οποίο όπως αναφέρθηκε και στο εισαγωγικό σημείωμα

ανέλαβε την αξιολόγηση του υπάρχοντος δοκιμαστηρίου ως προς την καταγραφή των μετρήσεων- λήψη επιπλέον μετρήσεων που αφορούν στην πίεση καύσης και το σήμα του συστήματος ανάφλεξης.

Οι επιπλέον μετρήσεις έγιναν με τη χρήση ειδικής μετρητικής διάταξης που αναπτύχθηκε στο ΕΜΠ και στη συνέχεια επεξεργάστηκαν από το ειδικό διαγνωστικό λογισμικό για εμβολοφόρους κινητήρες EDS-3. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν σε δύο κινητήρες, έναν που έχει επισκευασθεί στις εγκαταστάσεις της ΕΑΒ και τον κινητήρα με S/N 35362. Το διαγνωστικό λογισμικό λοιπόν εφαρμόστηκε για δύο λόγους: για να υπάρξει αξιολόγηση του ίδιου του δοκιμαστηρίου της ΕΑΒ ως προς την καταγραφή των διαφόρων παραμέτρων και για να συγκριθούν δύο κινητήρες, ένας που επισκευάστηκε από την ίδια και ένας που επισκευάστηκε στις ΗΠΑ.

Τα αποτελέσματα του διαγνωστικού λογισμικού ελέγχθησαν ως προς την ομοιότητα τους με αυτά της επίσημης εταιρείας στον κινητήρα με S/N 35362. Η σύγκριση φανέρωσε την αποτελεσματικότητα του διαγνωστικού λογισμικού καθώς οι διαφοροποιήσεις ήταν ελάχιστες. Επιπροσθέτως με τον τρόπο αυτό ελέγχθηκε και η ποιότητα επισκευής του κινητήρα.

Σύμφωνα με το τεχνικό προσωπικό της ΕΑΒ η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόδοση ισχύος του R2800 είναι απαραίτητη για τα αεροσκάφη CL-215. Προς αυτήν την κατεύθυνση κρίθηκε σκόπιμο να εξεταστεί η επίδραση της ποιότητας του μείγματος στο μηχανισμό της καύσης. Για το λόγο αυτό διενεργήθηκαν στον κινητήρα επιπλέον 2 σειρές μετρήσεων για λειτουργία με αρκετά πλούσιο και λιγότερο πλούσιο μείγμα. Σε κάθε σειρά μετρήσεων λήφθηκαν δεδομένα για 4 διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής ήτοι 2000, 2300, 2500 και 2800rpm ώστε να καλυφθεί όλο το φάσμα λειτουργίας του κινητήρα (απογείωση, πλεύση).

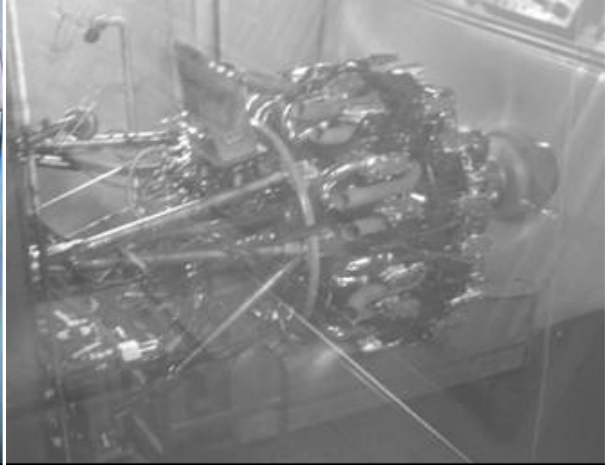
Στο παρόν κεφάλαιο, θα γίνει αναφορά στη διαδικασία λήψης των μετρήσεων με εκτενή παρουσίαση του δοκιμαστηρίου της ΕΑΒ καθώς και στην ειδική μετρητική διάταξη που έχει κατασκευαστεί και εξελιχθεί υπό την επίβλεψη του Καθ. Δ. Χουντάλα, στο ΕΜΠ, για την καταγραφή των απαραίτητων για το διαγνωστικό λογισμικό σημάτων.

5.1 Παρουσίαση του Δοκιμαστηρίου της EAB

Στις εικόνες 5.1 και 5.2 που ακολουθούν φαίνεται μια μακροσκοπική απεικόνιση του δοκιμαστηρίου όσον αφορά στη διάταξη ελέγχου της ισχύος κατά την διάρκεια ελέγχου του κινητήρα R2800



Εικόνα 5.1 Διάταξη Ελέγχου της Ισχύος του Κινητήρα και στο Δοκιμαστήριο της EAB



Εικόνα 5.2 Ο Κινητήρας κατά τη Διάρκεια της Δοκιμής στην EAB

Στην εικόνα 5.3 φαίνεται το σύστημα εξαγωγής του κινητήρα και στην εικόνα 5.4 δίνεται η διάταξη την οποία έχει αναπτύξει η EAB για την εισαγωγή του κινητήρα σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή στην οποία είναι προσαρμοσμένο το αισθητήριο για τη καταγραφή της θερμοκρασίας εισαγωγής.



Εικόνα 5.3 Διάταξη Εξαγωγής του Κινητήρα



Εικόνα 5.4 Διάταξη Συστήματος Εισαγωγής

Παράλληλα στην εικόνα 5.5 φαίνεται η έλικα δοκιμών σταθερού βήματος ενώ στην εικόνα 5.6 φαίνεται ένα τμήμα του συστήματος που έχει αναπτυχθεί στις εγκαταστάσεις της EAB με σκοπό την κατάλληλη διαμόρφωση της της εισαγωγής έτσι ώστε να είναι εφικτή η δοκιμή και η αξιολόγηση του συμπιεστή του συστήματος υπερπλήρωσης του κινητήρα (*Supercharger*).



Εικόνα 5.5 Έλικα Δοκιμών



Εικόνα 5.6 Νέα Διάταξη Εισαγωγής για τον Έλεγχο του Συμπιεστή

Στη συνέχεια απεικονίζεται ο πίνακας ελέγχου του θαλάμου του δοκιμαστηρίου όπου γίνεται η παρατήρηση και καταγραφή όλων των απαραίτητων, για τη διαγνωστική διαδικασία, λειτουργικών μεγεθών (εικόνες 5.7 και 5.8)



Εικόνα 5.7 Γενική Απεικόνιση της Διάταξης Ελέγχου του Κινητήρα



Εικόνα 5.8 Καταγραφή Λειτουργικών Μεγεθών

Στις επόμενες δύο εικόνες, (5.9 και 5.10), φαίνονται οι διατάξεις για τη ρύθμιση της ισχύος του κινητήρα, το σύστημα καταγραφής της θερμοκρασίας εισαγωγής και το σύστημα για τη καταγραφή και τον έλεγχο του ηλεκτρικού συστήματος ανάφλεξης, το οποίο όμως είναι πλέον ξεπερασμένης τεχνολογίας. Η καταγραφή του ηλεκτρικού συστήματος έγινε με τη μετρητική διάταξη του ΕΜΠ που θα επεξηγηθεί στην επόμενη παράγραφο.



Εικόνα 5.9 Ρύθμιση Ισχύος Κινητήρα



Εικόνα 5.10 Καταγραφή Θερμοκρασίας Εισαγωγής και Προβλεπόμενο Σύστημα Ελέγχου Συστήματος Ανάφλεξης

5.2 Περιγραφή της Μετρητικής Διάταξης του ΕΜΠ

Η μετρητική διάταξη που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο ΜΕΚ του ΕΜΠ υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ^{ου} Δ. Χουντάλα έχει μικρό και πρακτικό μέγεθος, (βλέπε εικόνα 5.11) και δύναται να χρησιμοποιηθεί είτε σε δοκιμαστήριο είτε στο ίδιο το αεροσκάφος χωρίς να απαιτείται η χρονοβόρα και επίπονη απομάκρυνση του κινητήρα. Όπως διακρίνεται και στην εικόνα 5.12 η μετρητική διάταξη διαθέτει κατάλληλα διαμορφωμένες υποδοχές προκειμένου να συνδέονται τα αισθητήρια πίεσης αερίων κυλίνδρου και ηλεκτρικού σήματος των σπινθηριστών, καθώς και έναν μικρό φορητό υπολογιστή που έχει ενσωματωμένο το διαγνωστικό λογισμικό. Επίσης, στην ίδια διάταξη φαίνεται και ο διακόπτης επιλογής της σειράς κυλίνδρων από την οποία λαμβάνεται κάθε φορά το σήμα των σπινθηριστών.

Η μετρητική διάταξη έχει ως στόχο τη λήψη μετρήσεων τόσο της πίεσης αερίων του κυλίνδρου όσο και μετρήσεων από το ηλεκτρικό κύκλωμα έναυσης του κινητήρα. Για το σκοπό αυτό κατασκευάσθηκε ειδική φύσσα που προσαρμόσθηκε στο δοκιμαστήριο της ΕΑΒ και ειδικός διανομέας για την καταγραφή των σημάτων των δύο σειρών των κυλίνδρων του υπό εξέταση κινητήρα R2800. Σε κάθε μέτρηση γινόταν καταγραφή της πίεσης του κυλίνδρου και των ηλεκτρικών σημάτων από τις δύο σειρές των κυλίνδρων.



Εικόνα 5.11 : Μετρητική διάταξη ΕΜΠ διακόπτες



Εικόνα 5.12 : Υποδοχές στη μετρητική διάταξη

5.3 Χρήση Μετρητικής Διάταξης

Κατά την πειραματική διαδικασία, το αισθητήριο πίεσεως πρέπει να προσαρμόζεται αφού ο κινητήρας έχει λειτουργήσει για αρκετό χρόνο ώστε η θερμοκρασία του λιπαντικού του να είναι κανονική. Μετά την προθέρμανση διακόπτεται η λειτουργία του κινητήρα και προσαρμόζεται το αισθητήριο σε έναν κύλινδρο στην θέση του ενός σπινθηριστή. Στην συνέχεια τίθεται ο κινητήρας σε λειτουργία και αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής του όσο το δυνατόν πιο γρήγορα (χρονικά) τουλάχιστον ως τις 1500 rpm ώστε να λειτουργεί υπό κάποιο φορτίο. Αυτό απαιτείται διότι σε λειτουργία υπό χαμηλό φορτίο ο βενζινοκινητήρας παρουσιάζει σχετικά μεγάλη ανομοιομορφία λειτουργίας από κύκλο σε κύκλο. Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατόν να έχουμε ακόμη και κύκλους λειτουργίας με μη ορθή έως και ανύπαρκτη έναυση.

Στην συνέχεια με τη χρήση του διαγνωστικού συστήματος λαμβάνονται οι μετρήσεις στα διάφορα φορτία και στη συνέχεια διακόπτεται η λειτουργία του κινητήρα.

Παράλληλα με τις μετρήσεις μέσω του διαγνωστικού συστήματος EDS-3 λαμβάνονται και μετρήσεις από τα όργανα που βρίσκονται στον θάλαμο χειρισμού του αεροσκάφους. Βασικότερη των μετρήσεων αυτών αποτελεί η ένδειξη του οργάνου κενού που υπάρχει στο πιλοτήριο, ή στην αίθουσα ελέγχου του δοκιμαστηρίου και μας δίνει την πίεση στην αναρρόφηση του κινητήρα. Η ένδειξη αυτή είναι βασική τόσο για τον έλεγχο της συμπίεσης των κυλίνδρων όσο και για την ορθή πρόβλεψη της σύνθεσης του μείγματος που θα προκύψει από το διαγνωστικό σύστημα. Παράλληλα ιδιαίτερα σημαντική είναι και η ένδειξη της ροπής.

5.4 Μετρούμενα Μεγέθη

Για να αξιολογηθεί η κατάσταση λειτουργίας καθώς επίσης και η ποιότητα της επισκευής του υπό εξέταση κινητήρα τύπου R2800 αλλά επιπροσθέτως και για να εξετασθεί η επίδραση του μείγματος στο μηχανισμό καύσης ελήφθησαν μετρήσεις από το δοκιμαστήριο της ΕΑΒ για τα λειτουργικά μεγέθη του κινητήρα ενώ ταυτόχρονα, έγινε λήψη και καταγραφή μετρήσεων λειτουργικής συμπεριφοράς που αφορούν στη πίεση καύσης και στο σύστημα της ανάφλεξης. Τονίζεται ότι η μέτρηση της πίεσης καύσης πέραν των πληροφοριών που προσφέρει για την ίδια τη θερμοδυναμική λειτουργία του κινητήρα προσφέρει μέσω της επεξεργασίας από το διαγνωστικό σύστημα τις ακόλουθες πολύ σημαντικές πληροφορίες οι οποίες είναι αδύνατον να συλληχθούν με άλλο τρόπο:

- Πληροφορίες χρονισμού έναυσης ή σπινθηρισμού.
- Χρονισμούς βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής.
- Διάρκεια καύσης.
- Ρυθμό καύσης.
- Σύνθεση μείγματος.

Έτσι, μετά απο συνεννόηση με το τεχνικό και επιστημονικό προσωπικό της ΕΑΒ ελήφθησαν για δύο περιπτώσεις ποιότητας μείγματος (δηλαδή για (α) μείγμα ιδιαίτερα πλούσιο (rich operation) και (β) για μείγμα λιγότερο πλούσιο (lean operation)) μετρήσεις σε τέσσερις διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής ήτοι 2000, 2300, 2500 και 2800 σαλ. Με τον τρόπο αυτό καλύπτεται συνολικά το εύρος λειτουργίας του κινητήρα.

Στον πίνακα Π5.1 που ακολουθεί δίνονται οι τιμές των μετρούμενων παραμέτρων όπως προέκυψαν κατά τη δοκιμή του κινητήρα.

a/a	Operation	RPM	Fuel Flow [lb/h]	Fuel [kg/h]	inlet Pressure [inHg]	inlet Pressure [bar]	Inlet Temp [.C]	Max Head [.C]	Cyl. Temp	bmp [in Hg]
1	Rich	2000	478	216.82	27.7	0.938	18	176		55
2	Rich	2300	723	327.95	32.1	1.087	19	193		72
3	Rich	2500	1012	459.04	38.2	1.293	20	198		86
4	Rich	2800	1475	669.05	49.8	1.686	22	227		106
5	Lean	2000	418	189.60	27.1	0.917	20	189		53
6	Lean	2300	690	312.98	32.5	1.100	20	215		73
7	Lean	2500	960	435.45	39.2	1.327	21	219		87
8	Lean	2800	1425	646.37	50.1	1.696	22	232		106

Πίνακας Π5.1: Μετρήσεις παραμέτρων λειτουργίας που λήφθηκαν κατά τη δοκιμή του κινητήρα R2800

Κεφάλαιο 6^ο

Διαγνωστική Διαδικασία με τη Χρήση του Λογισμικού EDS-3

Μετά την καταγραφή των μετρήσεων και τη λήψη και αποθήκευση των αρχείων εξόδου της μετρητικής διάταξης ακολουθεί η ανάλυσή τους με τη χρήση του διαγνωστικού λογισμικού EDS-3. Το διαγνωστικό λογισμικό απαιτεί μόνο τα αρχεία εξόδου της μετρητικής διάταξης από το αισθητήριο καταγραφής της πίεσεως των αερίων κυλίνδρου και από το αισθητήριο καταγραφής του σήματος των σπινθηριστών, προκειμένου να επιτελέσει τους διάφορους υπολογισμούς. Στην συγκεκριμένη ενότητα θα γίνει μια σύντομη παρουσίαση της βασικής αρχής λειτουργίας του διαγνωστικού λογισμικού καθώς και λεπτομερής αναφορά στα βήματα που ακολουθούνται κατά την επεξεργασία των μετρήσεων.

6.1 Γενικά

Για την επεξεργασία των μετρούμενων παραμέτρων και κυρίως του δυναμοδεικτικού διαγράμματος πίεσεων έχει αναπτυχθεί κατάλληλο λογισμικό που αποτελεί και την “καρδιά” του διαγνωστικού συστήματος. Το λογισμικό αποτελείται από μια λεπτομερή προσομοίωση της λειτουργίας του κινητήρα που βασίζεται στις αρχές της θερμοδυναμικής και στην γνώση της γεωμετρίας του κινητήρα.

Ο κώδικας είναι γραμμένος σε γλώσσα Fortran και αποτελείται από περίπου 50000 γραμμές. Αποτελεί προϊόν ερευνών άνω των 20 ετών και έχει δοκιμασθεί επιτυχώς σε διάφορα είδη κινητήρων αποτελεί δε μια εντελώς νέα πρόταση στην περιοχή των βενζινοκινητήρων. Χρησιμοποιώντας το λογισμικό αυτό είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε σε κάθε χρονική στιγμή την κατάσταση του κινητήρα και των υποσυστημάτων του. Το σημείο αυτό αποτελεί την βασική ιδιαιτερότητα του διαγνωστικού αυτού συστήματος που το καθιστά ακριβές και αξιόπιστο.

Η διαγνωστική διαδικασία απαιτεί από τον χρήστη επέμβαση κυρίως σε σημεία τα οποία είναι ασφαλέστερο να γίνονται από αυτόν παρά αυτόματα για την αποφυγή σφαλμάτων που είναι δυνατόν να προκύψουν από το γεγονός ότι οι μετρήσεις είναι πραγματικές και κατά συνέπεια είναι δυνατόν να παρουσιάζουν μικρές ανωμαλίες (θόρυβος) οι οποίες δεν μπορούν να προβλεφθούν κάθε φορά. Τέλος η διαδικασία αυτή επιτρέπει στον χρήστη την χρήση του παρόντος συστήματος **EDS-3** και σε κάθε νέο είδος κινητήρα που είναι δυνατόν να προμηθευθεί στο μέλλον χωρίς τροποποίηση του βασικού λογισμικού του.

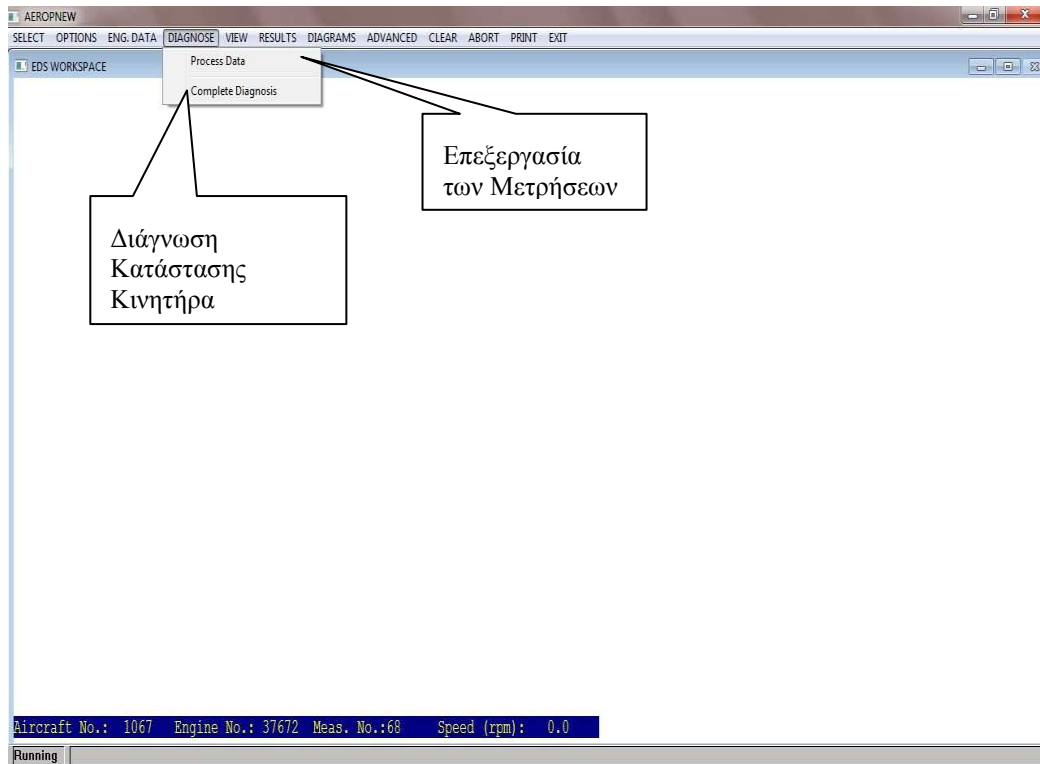
Για καλύτερη εποπτεία της διαδικασίας που ακολουθήθηκε θα την αναπαράγουμε στη συνέχεια βήμα προς βήμα χρησιμοποιώντας ένα από τα αρχεία δεδομένων που προέκυψαν κατά τη διαδικασία των μετρήσεων στο δοκιμαστήριο. Συγκεκριμένα επιλέγεται το αρχείο δεδομένων με την κωδική ονομασία C_2500_L.

Η συγκεκριμένη ονομασία που χρησιμοποιήθηκε στα αρχεία υποδηλώνει:

- **Την περίσσεια του καυσίμου.** Ο κινητήρας R2800 λειτουργεί, όπως ήδη έχει αναφερθεί, με μεγάλη περίσσεια καυσίμου - λόγος ισοδυναμίας αέρα καυσίμου μικρότερος της μονάδας ($\lambda < 1$). Οι δύο εκδοχές που μελετήθηκαν είναι για αρκετά και λιγότερο πλούσιο μείγμα. Για λόγους εποπτείας καθαρά και μόνο, επιλέχθηκε να συμβολίζεται με B το πιο πλούσιο μείγμα (rich operation) και με C το λιγότερο πλούσιο (lean operation). Σε καμία όμως περίπτωση δε θα πρέπει να ληφθεί λανθασμένο συμπέρασμα ότι ο κινητήρας δουλεύει με φτωχό μείγμα. Συνεπώς το αρχείο δεδομένων με την κωδική ονομασία C_2500_L αναφέρεται σε λειτουργία με λιγότερο πλούσιο μείγμα (lean operation).
- **Τις στροφές λειτουργίας** του κινητήρα κατά τη λήψη των μετρήσεων,
- **Το σήμα που λαμβάνεται από το σύστημα έναυσης.** Για R έχουμε το σήμα των σπινθηριστών που αντιστοιχούν στη σειρά κυλίνδρων από την οποία παίρνουμε και τη μέτρηση πίεσης ενώ για L έχουμε λήψη του σήματος από την άλλη σειρά κυλίνδρων. Επειδή οι δύο σειρές κυλίνδρων λειτουργούν με διαφορά φάσης το σήμα που λαμβάνεται από την άλλη σειρά από αυτή που μετράμε την πίεση θα πρέπει να μετατοπίζεται κατά το $\Delta\phi$ των δύο σειρών.

6.2 Εισαγωγή στο περιβάλλον του διαγνωστικού λογισμικού EDS-3

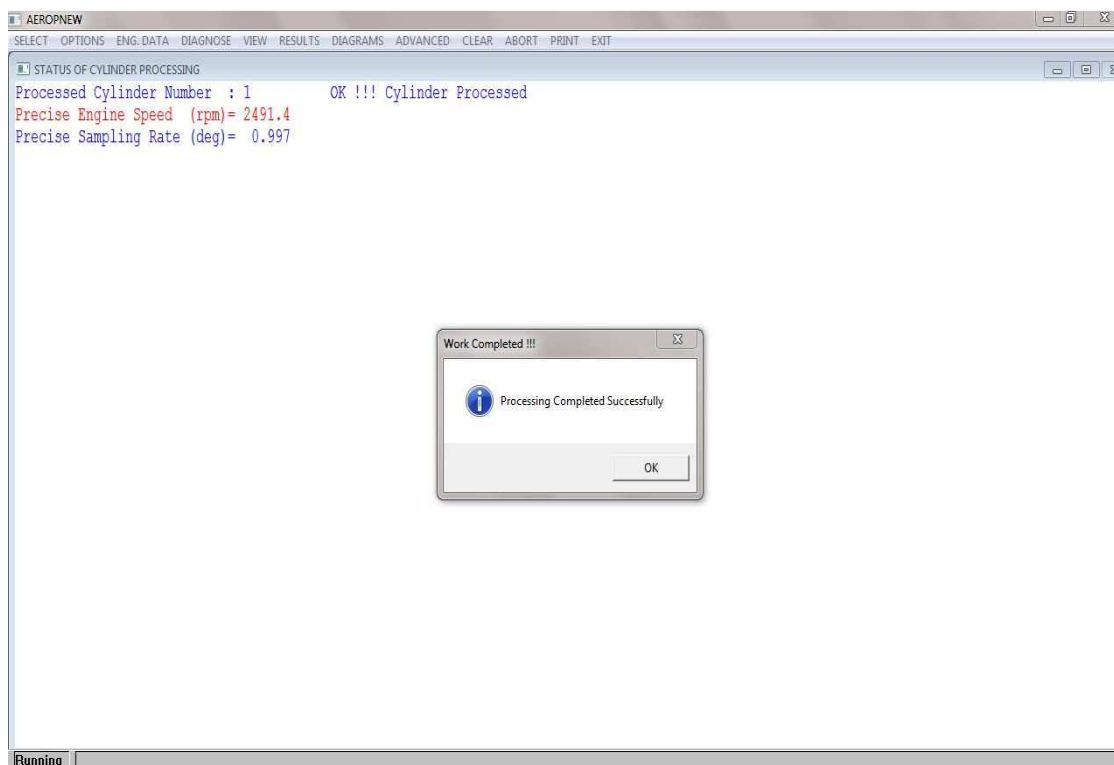
Στο περιβάλλον του διαγνωστικού προγράμματος επιλέγουμε το «Diagnose» και στη συνέχεια «Process Data» ώστε να φορτώσει το αρχείο με τα δεδομένα συγκεκριμένης μέτρησης που έχουμε προεπιλέξει.



Εικόνα 6.1

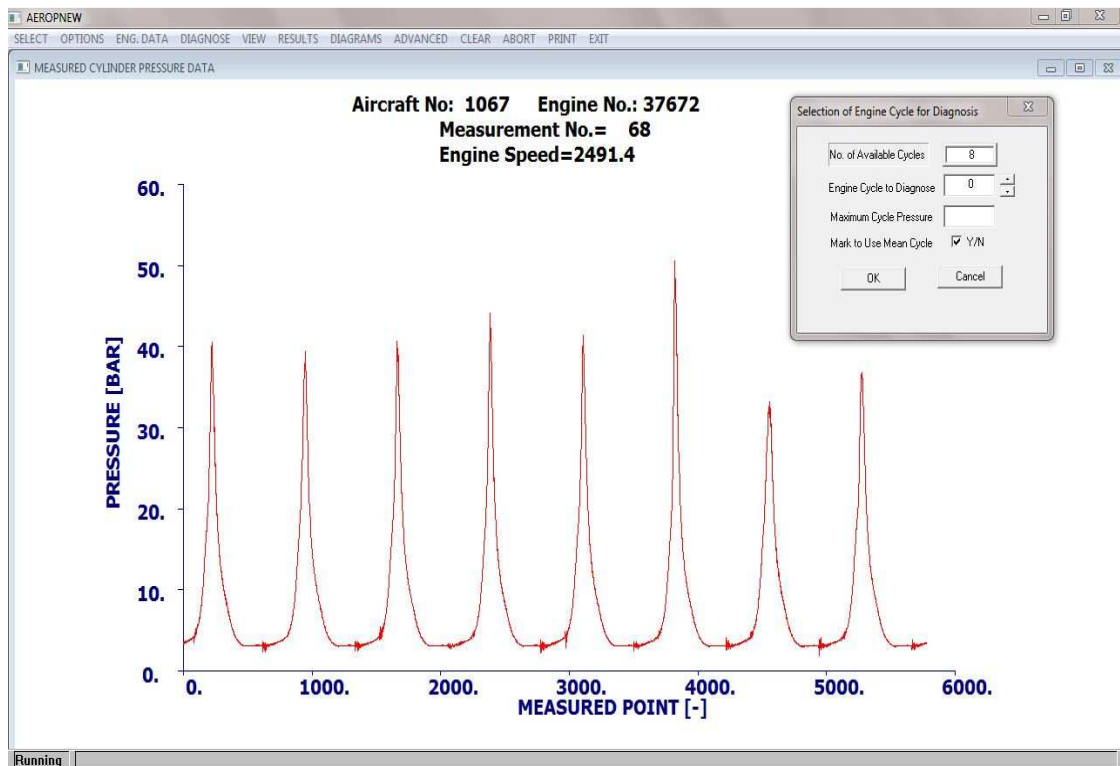
1. Process Data.

Μετά την επιλογή αυτή το διαγνωστικό σύστημα εντοπίζει την μέτρηση για την οποία επιθυμούμε να πραγματοποιήσουμε την διάγνωση και στην συνέχεια επεξεργάζεται τα δεδομένα μέσω ενός προγράμματος προεπεξεργασίας μετρήσεων. Κατά την επεξεργασία αυτή προσδιορίζεται η ακριβής ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα την στιγμή λήψης της μέτρησης καθώς και η πραγματική συχνότητα δειγματοληψίας μετρήσεων σε μοίρες γωνίας στροφάλου. Κατά την διαδικασία αυτή εμφανίζεται στην οθόνη του Η/Υ η Εικόνα 6.2 που μας παρέχει τις ανωτέρω πληροφορίες.



Εικόνα 6.2

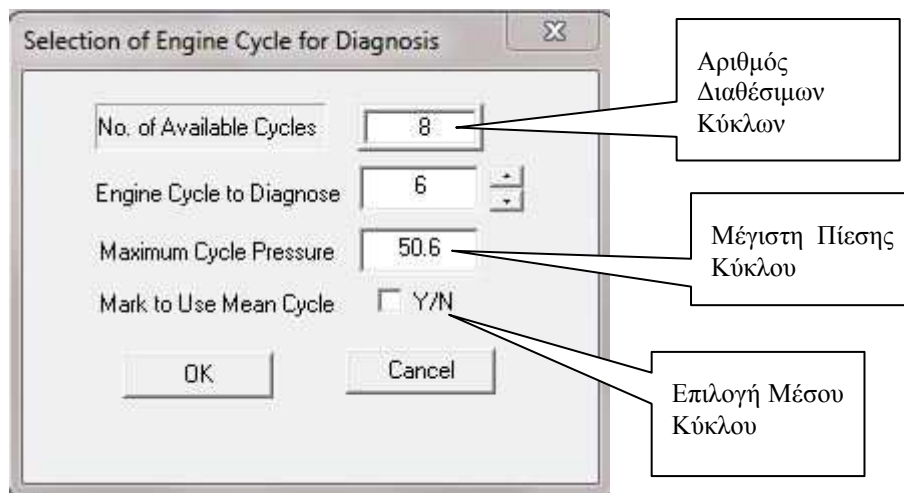
Στη συνέχεια, το διαγνωστικό πρόγραμμα εμφανίζει τους, διαθέσιμους προς επεξεργασία, κύκλους λειτουργίας για τη συγκεκριμένη μέτρηση (εικόνα 6.3)



Εικόνα 6.3

Έπειτα καλούμαστε να επιλέξουμε έναν απο τους διαθέσιμους κύκλους για να συνεχίσουμε την επεξεργασία. Το διαγνωστικό πρόγραμμα μας δίνει επιπλέον τη δυνατότητα να κάνουμε υπολογισμούς χρησιμοποιώντας το μέσο κύκλο λειτουργίας σε περίπτωση που οι ανομοιομορφίες είναι έντονες.

Αυτή η δυνατότητα δίνεται μέσω του ένθετου παραθύρου που εμφανίζεται στην οθόνη φανερώνοντας το πλήθος των διαθέσιμων κύκλων και την μέγιστη πίεσή τους. Εάν γίνει η επιλογή "Mean" τότε γίνεται χρήση του μέσου κύκλου (Εικόνα 6.4).



Εικόνα 6.4

Αφού ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία το σύστημα είναι έτοιμο να εισέλθει στην διαδικασία διάγνωσης του υπόψιν κύκλου του οικείου κυλίνδρου.

ii) Complete Diagnosis.

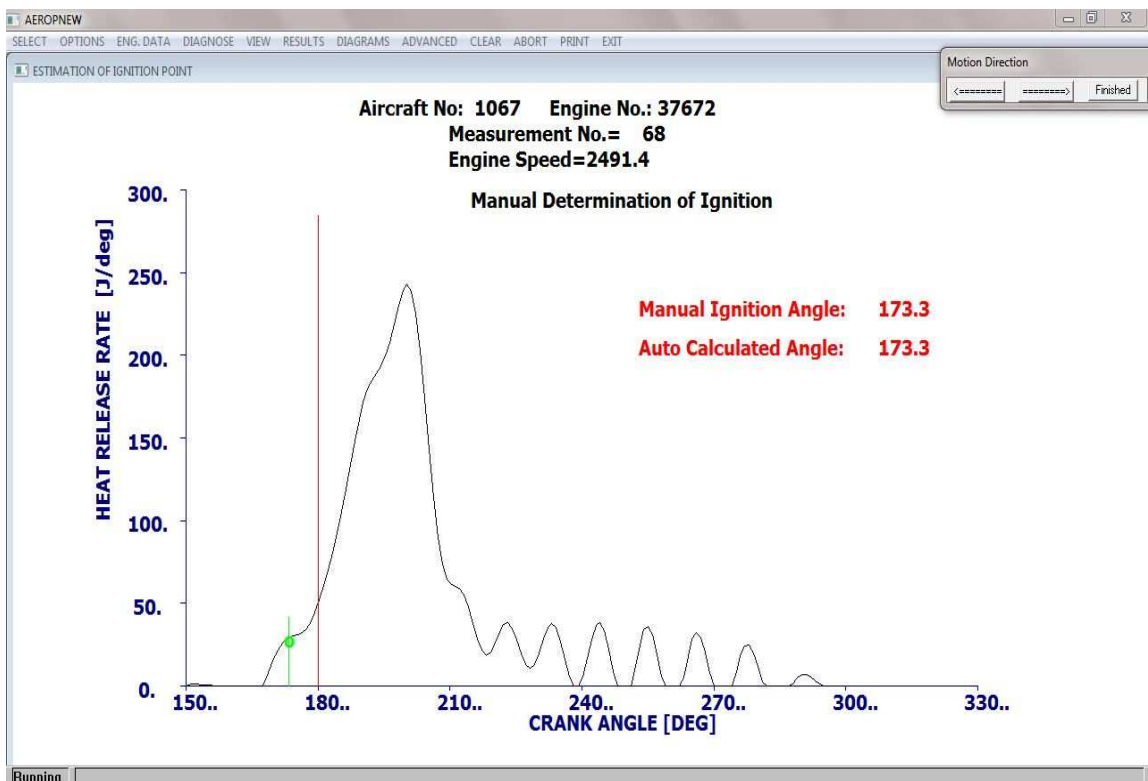
Επιστρέφοντας στη διαφάνεια που δείχνει η εικόνα 6.1 και επιλέγοντας την επιλογή «Complete Diagnosis», το σύστημα εισέρχεται πλέον στην κυρίως διαγνωστική διαδικασία.

6.3 Ανάλυση της Πορείας της Διάγνωσης

6.3.1 Προσδιορισμός Σημείου Εναύσεως και ΑΝΣ Κινητήρα

Μετά την επιλογή "Complete Diagnosis" αρχίζει η διαδικασία της διάγνωσης. Μετά την πάροδο ορισμένου χρόνου εμφανίζεται η εικόνα 6.5. Στο στάδιο αυτό αναγράφεται στην οθόνη το σημείο έναυσης που έχει προσδιορισθεί αυτόματα καθώς και αυτό που η τιμή του προκύπτει με την μετακίνηση του δρομέα μέσω του ποντικιού πατώντας την αντίστοιχη κατεύθυνσης κίνησης. Φέρουμε λοιπόν τον δρομέα σε θέση που να αντιστοιχεί στην έναρξη συνεχούς έκλυσης θερμότητας εφόσον η αυτόματη διαδικασία αποτύχει. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να προκύψει σημείο έναυσης παραπλήσιο με αυτό της αυτόματης διαδικασίας. Το σημείο αυτό της έναρξης καύσεως είναι συνήθως 3 έως 5 μοίρες μετά το σημείο εμφάνισης εμφανούς καύσης όπως προκύπτει από το διάγραμμα έκλυσης θερμότητας. Τυπική θέση του δρομέα φαίνεται στην εικόνα 6.5.

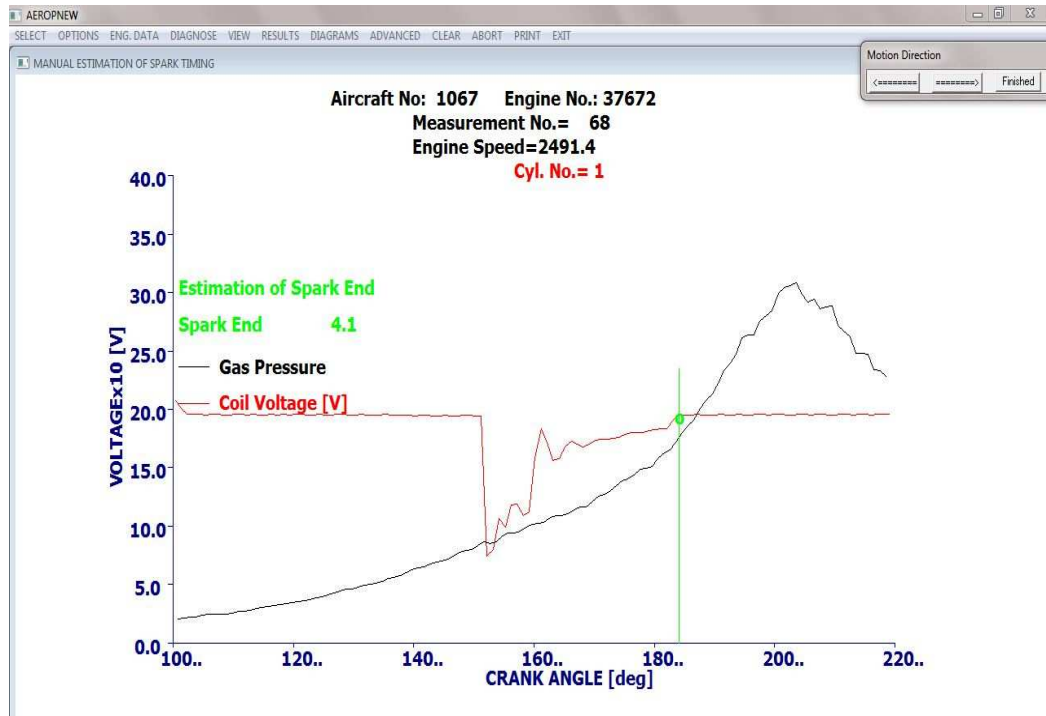
Η ανωτέρω διαδικασία χρησιμεύει ως έλεγχος του αυτόματου προσδιορισμού του σημείου έναυσης καθώς είναι δυνατόν να προκύψει σφάλμα λόγω θορύβων που μπορεί να επηρεάσουν το σήμα από το αισθητήριο πίεσης. Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατόν να έχουμε ίχνη έναυσης που στην συνέχεια εξαφανίζονται έως ότου πραγματικά αρχίσει η καύση και ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας αποδοθεί με μία συνεχή γραμμή αυξανόμενου ρυθμού. Το δρομέα και με την επιλογή finished εξερχόμαστε από τη διαδικασία.



Εικόνα 6.5

6.3.2 Προσδιορισμός Χρονισμού Σπινθήρα

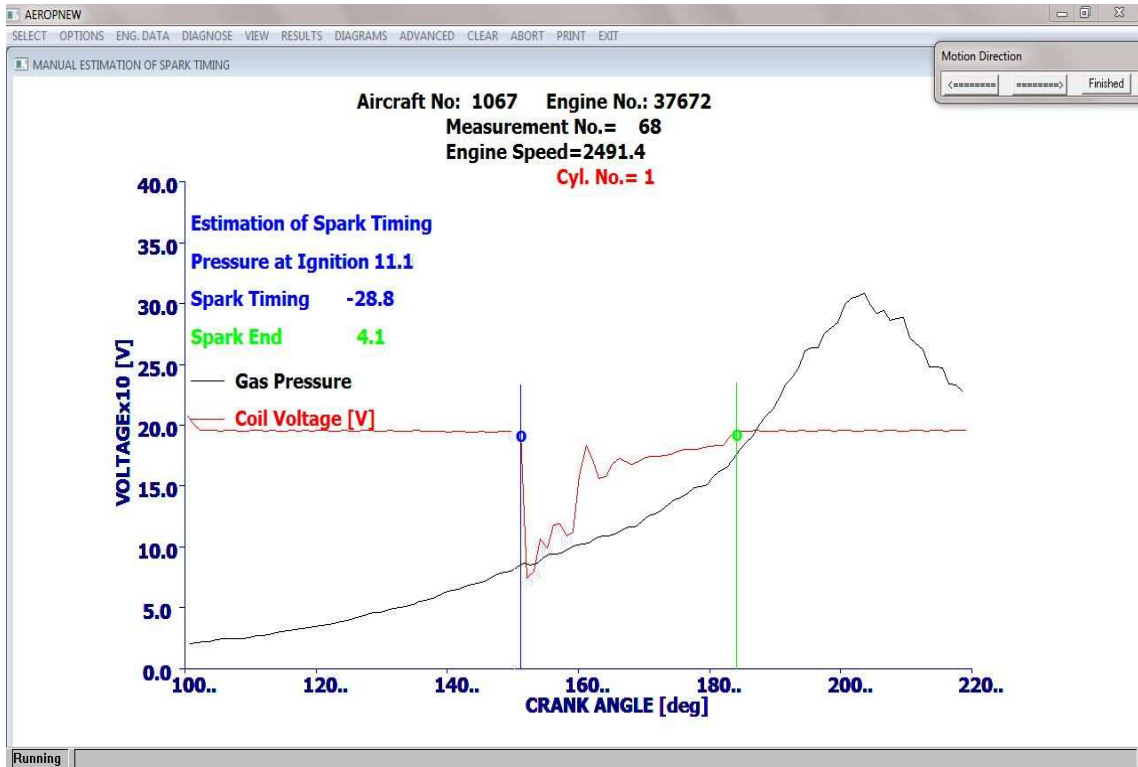
Στην συνέχεια εμφανίζεται στην οθόνη η Εικόνα 6.6 στην οποία δίδονται το διάγραμμα πιέσεων του κυλίνδρου καθώς και το μετρούμενο σήμα της τάσης των σπινθηριστών.



Εικόνα 6.6

Με την εμφάνιση του ανωτέρω σχήματος ο χρήστης μετακινεί την πράσινη γραμμή έως το πέρας της καμπύλης και πατά το πλήκτρο "Finished". Με το πάτημα του συγκεκριμένου πλήκτρου προσδιορίζεται η γωνία όπου τελειώνει ο σπινθήρας. Το αποτέλεσμα σε μοίρες γωνίας στροφάλου αποτυπώνεται στο σχήμα στη θέση "Spark End".

Στο σημείο αυτό αυτομάτως αλλάζει η ένδειξη **"Estimation of Spark End"** και εμφανίζεται η ένδειξη **"Estimation of Spark Timing"** που αντιστοιχεί στο χρονικό σημείο (πάντα σε μοίρες) εμφάνισης του σπινθήρα όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.7. Για να γίνει αυτό μετακινούμε την μπλε γραμμή που παρακολουθεί το διάγραμμα του ηλεκτρικού σήματος δεξιά ή αριστερά έως ότου έλθει στο σημείο που η τάση αρχίζει να αυξάνεται και αντιστοιχεί στο άνοιγμα των πλατινών. Μόλις ο δρομέας έλθει στην κατάλληλη θέση ενεργοποιείται το πλήκτρο "Finished" οπότε η ανωτέρω διαδικασία περατώνεται.

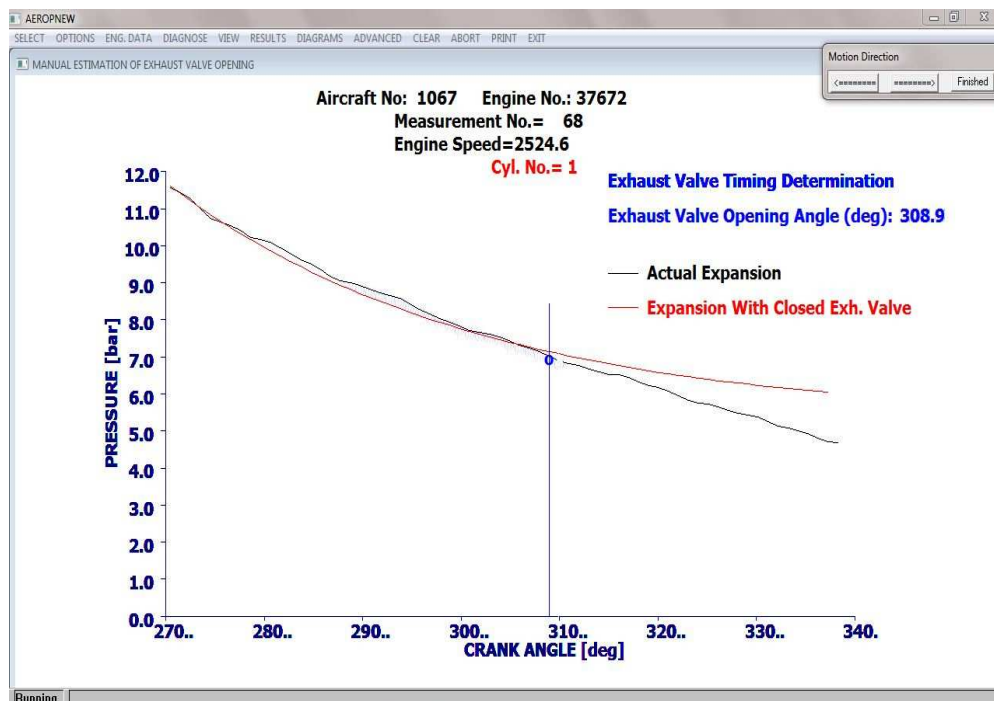


Εικόνα 6.7

6.4 Προσδιορισμός Χρονισμού των Βαλβίδων

6.4.1 Προσδιορισμός Σημείου Ανοίγματος Βαλβίδας Εξαγωγής

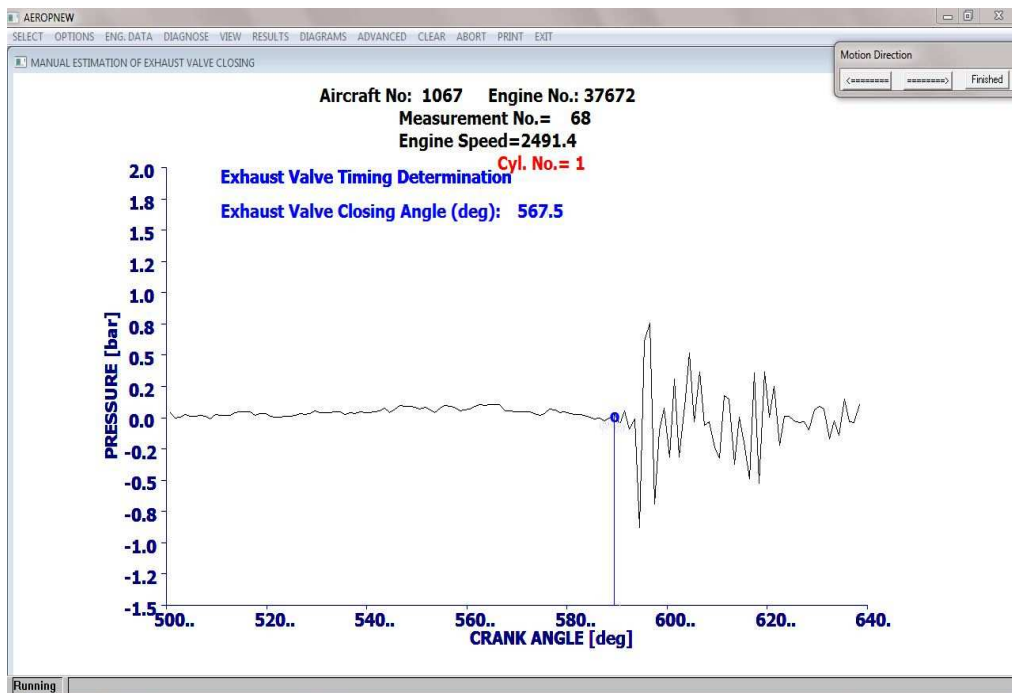
Στο σημείο αυτό εμφανίζεται η Εικόνα 6.8 που αφορά στον προσδιορισμό του σημείου ανοίγματος της βαλβίδας εξαγωγής. Επειδή το σημείο αυτό σε αρκετές περιπτώσεις δεν γίνεται άμεσα αντιληπτό από την πτώση πίεσης καθώς αυτή συνήθως υστερεί του ανοίγματος της βαλβίδας έχει αναπτυχθεί μια ειδική μεθοδολογία. Το σημείο ανοίγματος της βαλβίδας εξαγωγής αντιστοιχεί στο σημείο αποκόλλησης μεταξύ της μετρούμενης καμπύλης πιέσεων μαύρου χρώματος από την αντίστοιχη θεωρητική κόκκινου χρώματος που είναι αυτή που θα είχαμε εάν η βαλβίδα εξαγωγής παρέμενε κλειστή. Μετακινούμε την γραμμή μπλε χρώματος έως ότου το κυκλικό σύμβολο έλθει στην αντίστοιχη θέση όπου οι δύο καμπύλες αποκολλούνται εμφανώς μεταξύ των. Η τιμή της γωνίας ανοίγματος της βαλβίδας αποτυπώνεται συνεχώς στην οθόνη δίπλα από την ένδειξη "Exhaust Valve Opening Angle".



Εικόνα 6.8

6.4.2 Προσδιορισμός Σημείου Κλεισίματος Βαλβίδας Εξαγωγής

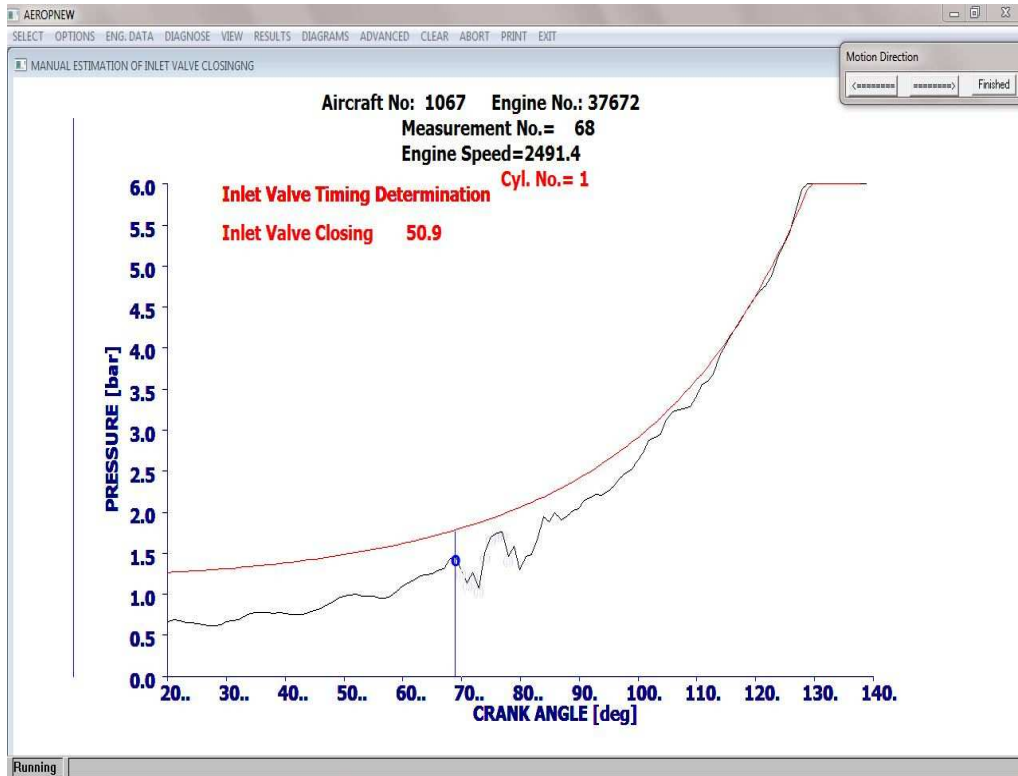
Στην συνέχεια εισερχόμεθα στην διαδικασία υπολογισμού της γωνίας κλεισίματος της βαλβίδας εξαγωγής που απεικονίζεται στην Εικόνα 6.9 η οποία εμφανίζεται στην οθόνη του Η/Υ. Το σημείο κλεισίματος της βαλβίδας εξαγωγής αντιστοιχεί στην απότομη μεταβολή της πίεσης όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.9 όπως κινούμεθα από αριστερά προς τα δεξιά. Για τον προσδιορισμό φέρουμε τη μπλε γραμμή στην θέση αυτή μετακινώντας την με αντίστοιχη επιλογή. Παράλληλα αναγράφεται δίπλα από την ένδειξη **“Exhaust Valve Closing Angle”** η αντίστοιχη γωνία. Για να αποθηκεύσουμε την τιμή ενεργοποιούμε στην τελική θέση του δρομέα που έχουμε επιλέξει το πλήκτρο **“Finished”** οπότε εξερχόμεθα από την διαδικασία.



Εικόνα 6.9

6.4.3 Προσδιορισμός Σημείου Κλεισίματος Βαλβίδας Εισαγωγής

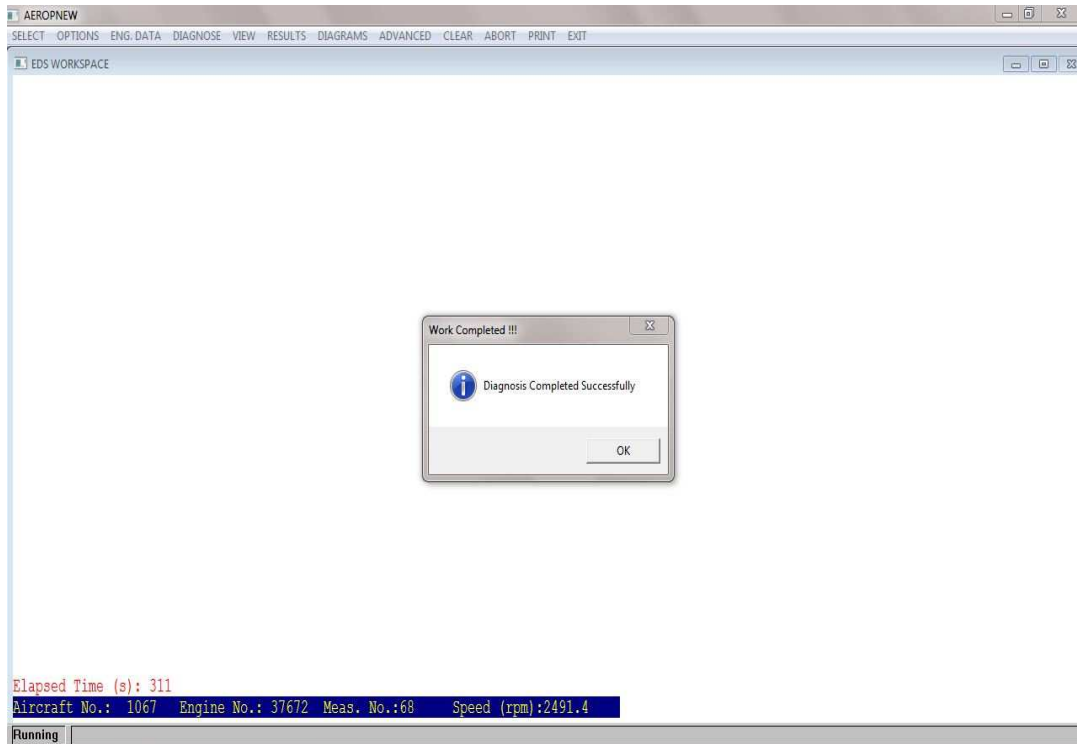
Τέλος μετά το σημείο αυτό εισερχόμεθα στο τελευταίο στάδιο του προσδιορισμού του χρονισμού των βαλβίδων που είναι ο προσδιορισμός της γωνίας κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής. Στην οθόνη εμφανίζεται η Εικόνα 6.10. Για να προσδιορίσουμε την γωνία κλεισίματος της βαλβίδας φέρουμε τη μπλε γραμμή στο σημείο απότομης εμφάνισης ανόδου της πίεσης όπως κινούμαστε από αριστερά προς τα δεξιά, Εικόνα 10. Σε όλη την διάρκεια της μετακίνησης του δρομέα αναγράφεται δίπλα από την ένδειξη **"Inlet Valve Closing"** η γωνία κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής. Μόλις έλθει στην κατάλληλη θέση ο δρομέας ενεργοποιείται το πλήκτρο "Finished" και περατώνεται η διαδικασία.



Εικόνα 6.10

6.5 Ολοκλήρωση Διαγνωστικής Διαδικασίας

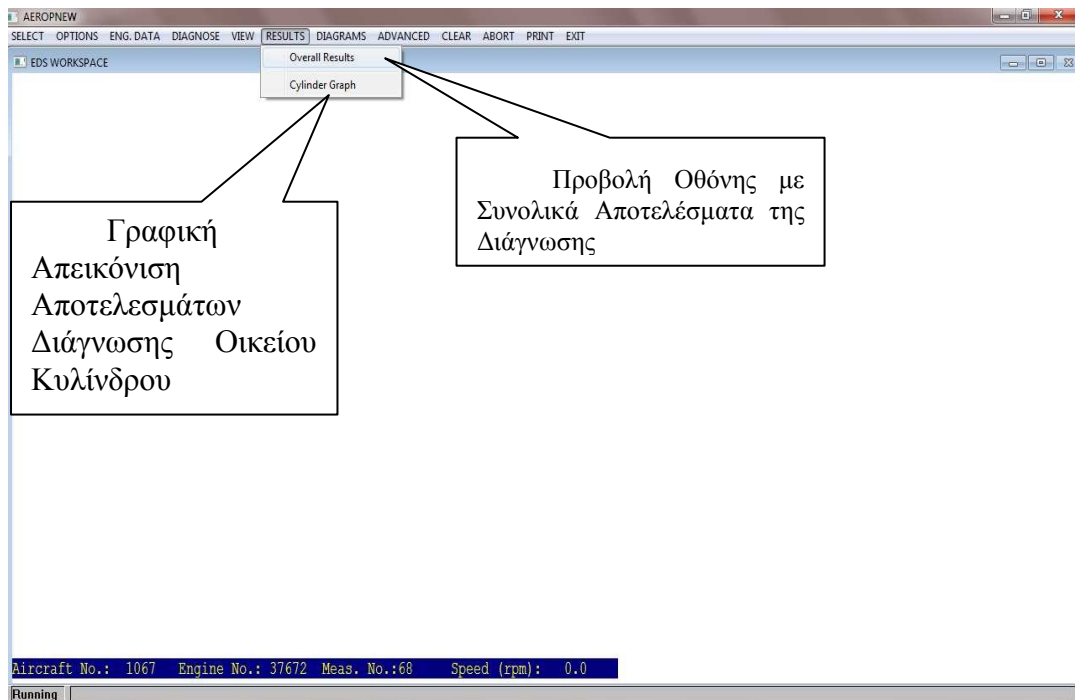
Με το πέρας της διαγνωστικής διαδικασίας εμφανίζεται στον οθόνη το μήνυμα της εικόνας 6.11 όπου ο χρήστης ενημερώνεται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Από το σημείο αυτό είμαστε σε θέση να εισέλθουμε στην διαδικασία του ελέγχου των αποτελεσμάτων της διάγνωσης, εκτυπώσεις, σύγκριση με καταστάσεις αναφοράς κλπ.



Εικόνα 6.11

6.5.1 Επιλογή "RESULTS"

Η επιλογή αυτή φαίνεται στην επόμενη εικόνα 6.12 όπου ο χρήστης έχει την δυνατότητα δύο επιλογών, των "Overall Results", και "Cylinder Graph".



Εικόνα 6.12

i) Overall Results

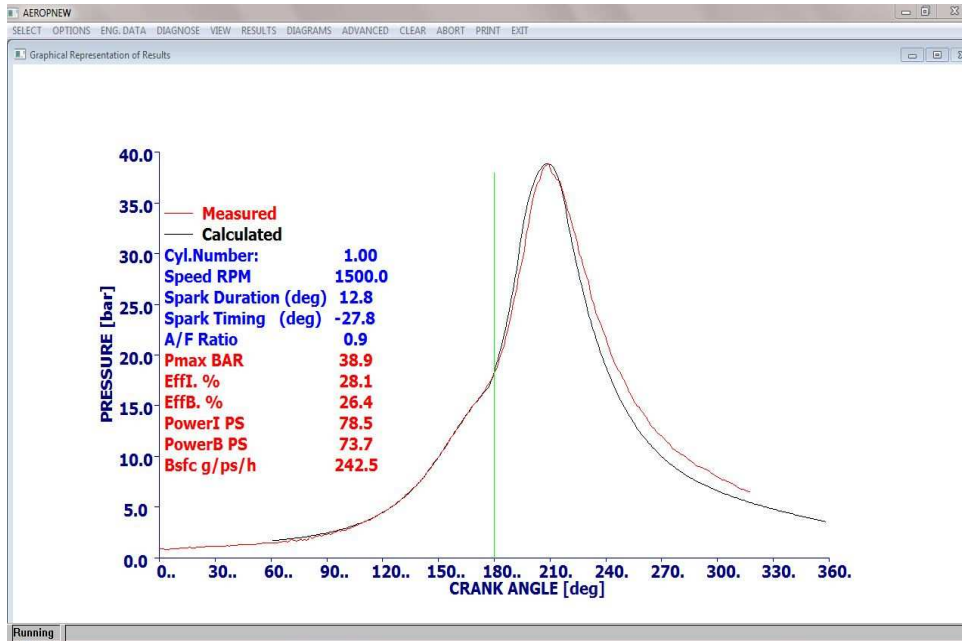
Με την επιλογή αυτή απεικονίζονται στην οθόνη τα αποτελέσματα της διαγνωστικής διαδικασίας όπως αυτά έχουν δοθεί στην εικόνα 6.13. Στην εικόνα αυτή απεικονίζεται επίσης ο αριθμός του κινητήρα, ο αριθμός της μέτρησης καθώς και η ταχύτητα περιστροφής στην οποία αυτή ελήφθη.

CYLINDER PERFORMANCE AND CONDITION										LIMITS
Cylinder No. (-):	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Engine Speed (rpm):	2496.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	TOTAL
Brake Power (PS):	78.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	78.
Fuel Flow (kg/h):	16.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.
B.S.F.C. (g/PSH):	209.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Ignition Angle (deg):	-1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-15-0
Ignition Delay (deg):	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	MEAN 6-21
Max. Pressure (bar):	37.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.6 8-40
Air Fuel Ratio (-):	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85-1.20
Compression Qual. (%):	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50%-100%
Compr. Pressure (bar):	16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.5
Inlet Close (deg):	46.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50-70
Exhaust Open (deg):	290.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	280-300
Exhaust Close (deg):	572.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	556-576
IGNITION SYSTEM CONDITION-SPARK TIMING										
Spark Timing (deg):	-21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23-27
Spark Duration (deg):	28.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31-33
COMBUSTION SYSTEM INFORMATION										
Comp. Temperature (C):	424.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	>400 C
Comb. Temperature (C):	2386.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	>1700 C
Comb. Duration (deg):	73.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<100 DEG

Εικόνα 6.13

ii) Cylinder Graph

Με την επιλογή αυτή εμφανίζεται η εικόνα 6.14 που απεικονίζει το διάγραμμα πιέσεων του κυλίνδρου με όλα τα βασικά μεγέθη της διαγνωστικής διαδικασίας καθώς και η σύγκριση μετρούμενου διαγράμματος πίεσης με το αντίστοιχο θεωρητικό από το χρησιμοποιούμενο μοντέλο προσομοίωσης που αφορά στο ιδανικό διάγραμμα πίεσης καύσης του συγκεκριμένου κινητήρα.



Εικόνα 6.14

Κεφάλαιο 7^ο

Αξιολόγηση της λειτουργίας του κινητήρα R2800

Η διαδικασία που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο επαναλαμβάνεται για όλες τις μετρήσεις που λήφθηκαν στο δοκιμαστήριο και στη συνέχεια καλούμαστε να επεξεργαστούμε τα αποτελέσματα του διαγνωστικού προγράμματος για την αξιολόγηση της λειτουργίας του κινητήρα.

Η συγκεκριμένη αξιολόγηση θα γίνει με τη χρήση των παρακάτω μεγεθών:

- Δυναμοδεικτικό Διάγραμμα Πίεσης
- Σήμα σπινθηριστών
- Ρυθμός Καύσης
- Διάρκεια Κάυσης

7.1 Σημείο Έναυσης και Διάρκεια Σπινθηρισμού

Καθοριστικό ρόλο στην αποδοτική λειτουργία του εμβολοφόρου κινητήρα παίζει η σωστή έναυση του μείγματος μέσα στον κύλινδρο. Έτσι, θέλοντας να εξετάσουμε την αποδοτικότητα του κύκλου λειτουργίας θα πρέπει να στραφούμε στο σήμα των σπινθηριστών. Η έναυση του μείγματος στη σωστή χρονική στιγμή τόσο από άποψη επιπέδων πίεσης μέσα στον κύλινδρο αλλά και επιπέδων ομοιομορφίας του μείγματος, είναι υψίστης σημασίας. Προκειμένου να εξασφαλίσει καλύτερη αλλά κυρίως ασφαλή λειτουργία, ο κινητήρας R2800 είναι εφοδιασμένος με 2 σπινθηριστές ανά κύλινδρο. Η χρήση 2 σπινθηριστών συνεπάγεται τη δημιουργία δύο μετώπων φλόγας στο εσωτερικό του κυλίνδρου ελαττώνοντας έτσι τη διάρκεια καύσης του μείγματος. Επιπρόσθετα, η ταχύτερη καύση του μείγματος δίνει τη δυνατότητα χρήσης καυσίμου χαμηλότερου αριθμού οκτανίων που σε άλλη περίπτωση θα ήταν επίφοβη λόγω του φαινομένου της κρουστικής καύσης.

Στην ενότητα αυτή θα ασχοληθούμε με την προπορεία του κινητήρα και θα προσπαθήσουμε να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα για τη λειτουργία του. Όπως είναι γνωστό, η έναυση του μείγματος πρέπει να γίνεται λίγο πριν το άνω νεκρό σημείο (ΑΝΣ) ώστε να παρέχεται το απαραίτητο χρονικό διάστημα για το σχηματισμό του μετώπου της φλόγας. Ο συγκεκριμένος κινητήρας ρυθμίζεται για να λειτουργεί με προπορεία σπινθηρισμού, ως προς το ΑΝΣ, $21^{\circ} \pm 2^{\circ}$ γωνίας στροφάλου, τιμή η οποία ελέγχεται με την εφαρμογή της διαγνωστικής τεχνικής.

7.1.1 Λειτουργία με Αρκετά Πλούσιο Μείγμα (Rich Operation)

Αρχικά ελέγχεται η προπορεία του κινητήρα για κατάσταση λειτουργίας με αρκετά πλούσιο μείγμα. Στον πίνακα Π7.1 δίνονται οι τιμές των παραμέτρων όπως προέκυψαν κατά τη δοκιμή του κινητήρα σε φάσμα στροφών λειτουργίας από 2000 έως 2800rpm.

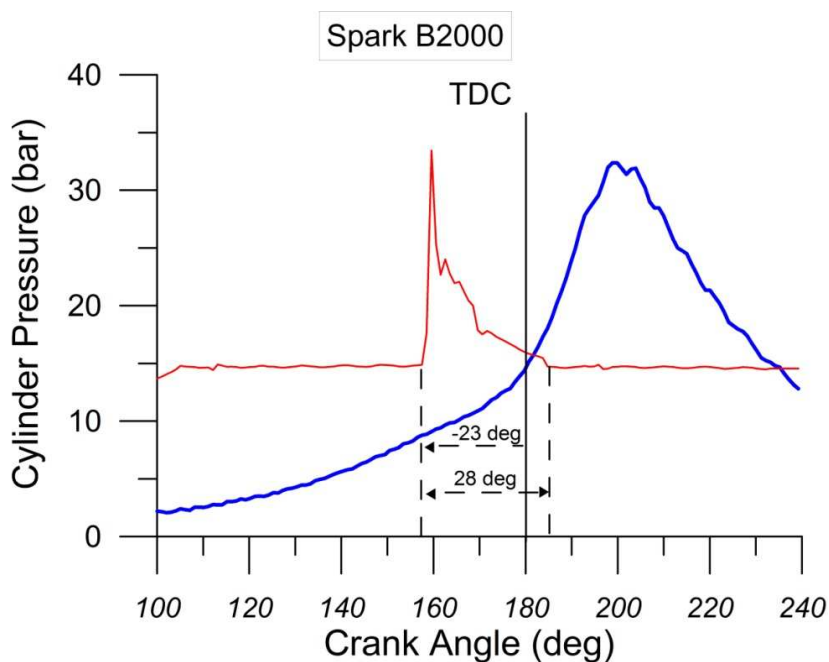
a/a	Operation	RPM	Fuel Flow [lb/h]	Fuel [kg/h]	inlet Pressure [inHg]	inlet Pressure [bar]	Inlet Temp [.C]	Max Cyl. Head Temp [.C]	bmeP [in Hg]
1	Rich	2000	478	216.82	27.7	0.938	18	176	55
2	Rich	2300	723	327.95	32.1	1.087	19	193	72
3	Rich	2500	1012	459.04	38.2	1.293	20	198	86
4	Rich	2800	1475	669.05	49.8	1.686	22	227	106

Πίνακας Π7.1 : Συνθήκες λειτουργίας κινητήρα R2800 για αρκετά πλούσιο μείγμα κατά τη λήψη των μετρήσεων για κάθε ταχύτητα περιστροφής

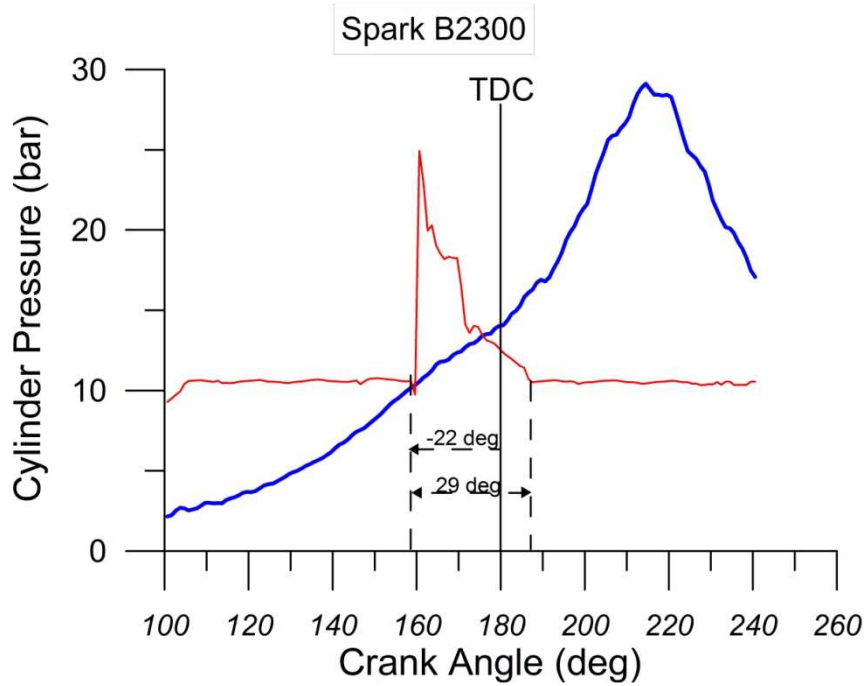
Για κάθε ταχύτητα περιστροφής γίνεται υπέρθεση του δυναμοδεικτικού διαγράμματος πίεσης αερίων στον κύλινδρο και του σήματος του σπινθηριστή. Με τα διαγράμματα που προκύπτουν επιχειρείται αρχικά η πιστοποίηση της ορθά ρυθμισμένης προπορείας σπινθηρισμού του κινητήρα η οποία σύμφωνα με τον κατασκευαστή θα πρέπει να προκύπτει σε όλες τις περιπτώσεις ίση με $21^{\circ} \pm 2^{\circ}$ γωνίας στροφάλου πριν το ΑΝΣ (Top Dead Center-TDC). Παράλληλα, από το σήμα του σπινθηριστή υπολογίζεται και η διάρκεια του σπινθηρισμού για κάθε περίπτωση. Η εξέταση του σήματος του σπινθηριστή είναι υψίστης σημασίας για τον εντοπισμό βλαβών που σχετίζονται με το σύστημα έναυσης του κινητήρα. Κακή κατάσταση πλατινών ή λανθασμένες ανοχές επαφών του συστήματος έναυσης έχουν ως αποτέλεσμα αλλοιωμένο σήμα σπινθηρισμού και οδηγούν σε μη ομαλή λειτουργία του κινητήρα.

Τα αρχεία των μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν ένα κύκλο λειτουργίας από τους διαθέσιμους που καταγράφηκαν με τη χρήση της μετρητικής διάταξης σε κάθε ομάδα μετρήσεων. Επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί το πρωτογενές αρχείο χωρίς εισαγωγή κάποιου φίλτρου στα δεδομένα. Ως αποτέλεσμα κάποια δυναμοδεικτικά διαγράμματα εμφανίζουν ταλαντώσεις με μικρή όμως κλίμακα που δεν αποδίδονται σε φαινόμενα μη ομαλής λειτουργίας του κινητήρα (π.χ. κρουστική καύση).

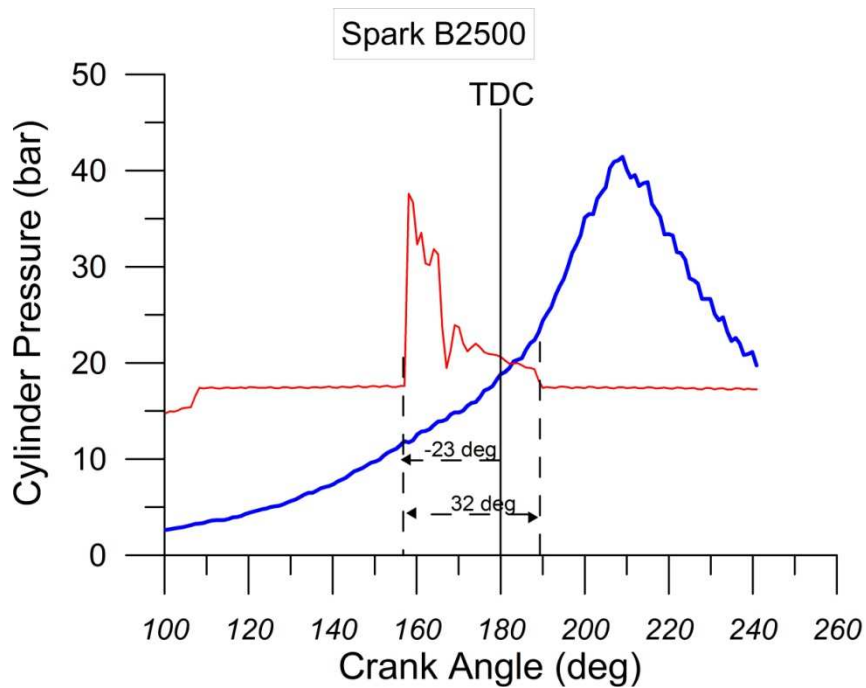
Στα σχήματα 7.1 -7.4 που ακολουθούν δίνεται η υπέρθεση δυναμοδεικτικού διαγράμματος με σήμα σπινθηριστή για τις 4 ταχύτητες περιστροφής όπου ελήφθησαν μετρήσεις και για λειτουργία με αρκετά πλούσιο μείγμα. Από τα διαγράμματα αυτά είναι προφανής η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον προσδιορισμό της πορείας σπινθηρισμού και της διάρκειας του σπινθήρα που αποτελούν βασικές παραμέτρους ρύθμισης αυτών των κινητήρων.



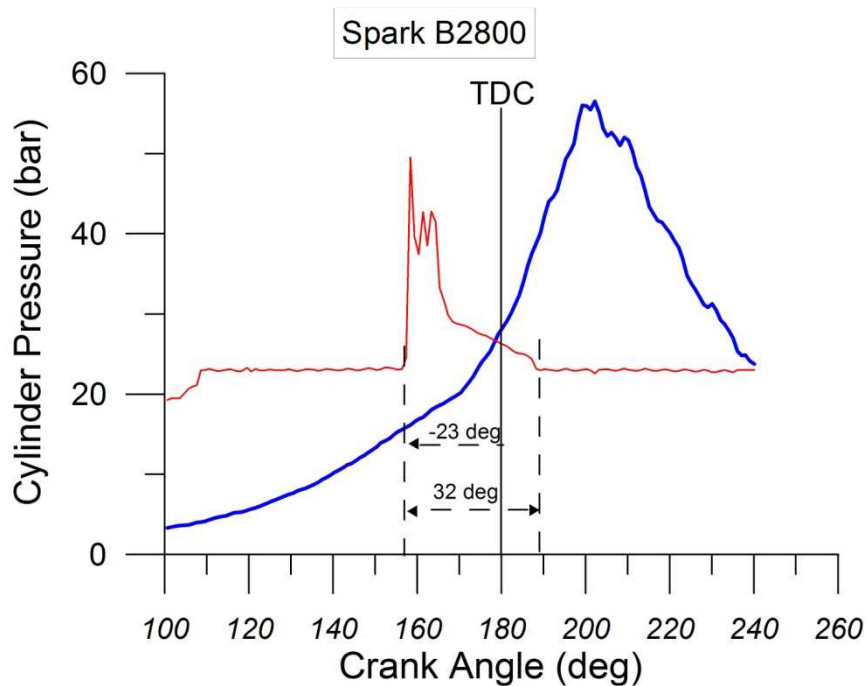
Σχήμα 7.1 : Υπέρθεση σήματος σπινθηριστή στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα του κινητήρα R2800 για λειτουργία με αρκετά πλούσιο μείγμα στις 2000rpm



Σχήμα 7.2 :Υπέρθεση σήματος σπινθηριστή στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα του κινητήρα R2800 για λειτουργία με αρκετά πλούσιο μείγμα στις 2300rpm



Σχήμα 7.3 :Υπέρθεση σήματος σπινθηριστή στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα του κινητήρα R2800 για λειτουργία με αρκετά πλούσιο μείγμα στις 2500rpm



Σχήμα 7.4 :Υπέρθεση σήματος σπινθηριστή στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα του κινητήρα R2800 για λειτουργία με αρκετά πλούσιο μείγμα στις 2800rpm

Όπως φαίνεται και στις 4 περιπτώσεις η προπορεία σπινθηρισμού του κινητήρα είναι σταθερή και σωστά ρυθμισμένη στις 22-23 μοίρες γωνίας στροφάλου και το σήμα του σπινθηρισμού δεν έχει αλλοιώσεις που να υποδηλώνουν κάποια βλάβη στο σύστημα έναυσης.

Οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα κάποιων περιπτώσεων δεν υποδηλώνουν περιπτώσεις κρουστικής καύσης, πυρανάφλεξη ή κάποια άλλη ανωμαλία λειτουργίας στον κύλινδρο του κινητήρα απο όπου λαμβάνεται η μέτρηση. Όπως αναφέρθηκε και πρωτύτερα πρόκειται για θόρυβο κατά τη μέτρηση που όμως έγινε η επιλογή να μη φιλτραριστεί και παρουσιάζεται εδώ όπως ακριβώς προκύπτει απο το πρωτογενές αρχείο μερήσεων.

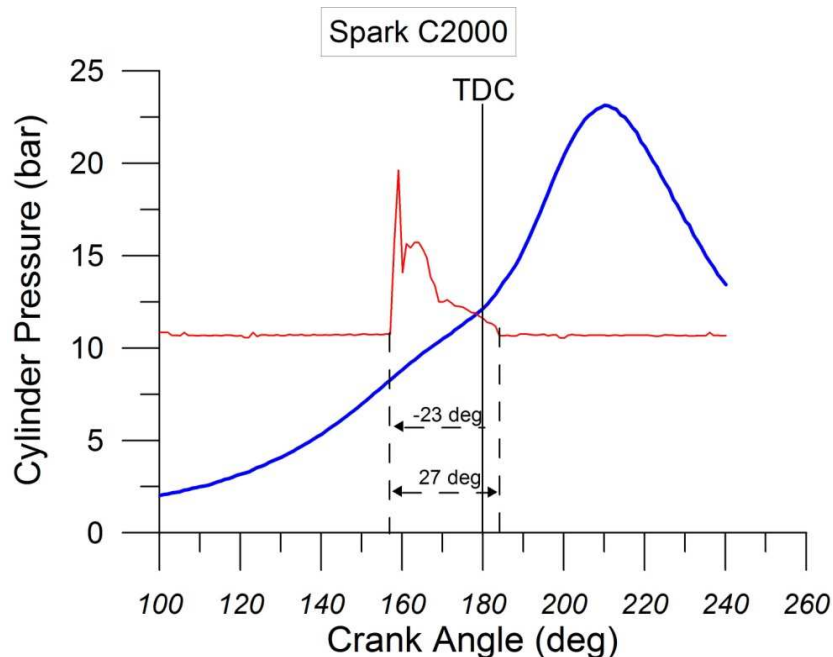
7.1.2 Λειτουργία με Λιγότερο Πλούσιο Μείγμα (Lean Operation)

Στη συνέχεια ελέγχεται η προπορεία σπινθηρισμού του κινητήρα για λειτουργία με λιγότερο πλούσιο μείγμα στις 2000, 2300, 2500 και 2800 rpm. Στον πίνακα Π7.2 δίνονται οι τιμές των παραμέτρων που αντιστοιχούν σε κάθε μέτρηση.

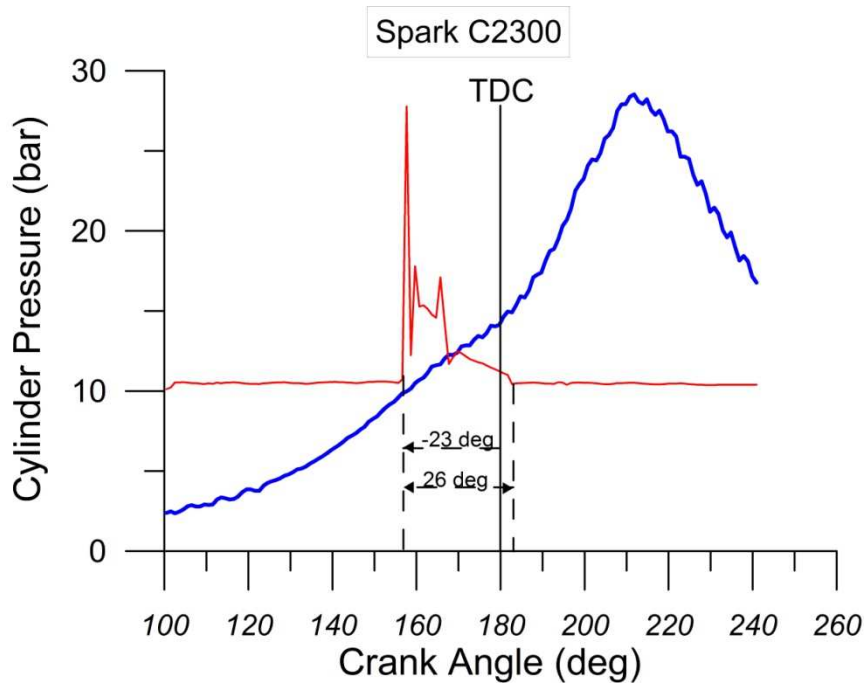
a/a	Operation	RPM	Fuel Flow [lb/h]	Fuel [kg/h]	inlet Pressure [inHg]	inlet Pressure [bar]	Inlet Temp [°C]	Max Head [°C]	Cyl. Temp	bmeP [in Hg]
1	Lean	2000	418	189.60	27.1	0.917	20	189		53
2	Lean	2300	690	312.98	32.5	1.100	20	215		73
3	Lean	2500	960	435.45	39.2	1.327	21	219		87
4	Lean	2800	1425	646.37	50.1	1.696	22	232		106

Πίνακας Π7.2 : Συνθήκες λειτουργίας κινητήρα R2800 για λιγότερο πλούσιο μείγμα κατά τη λήψη των μετρήσεων για κάθε ταχύτητα περιστροφής

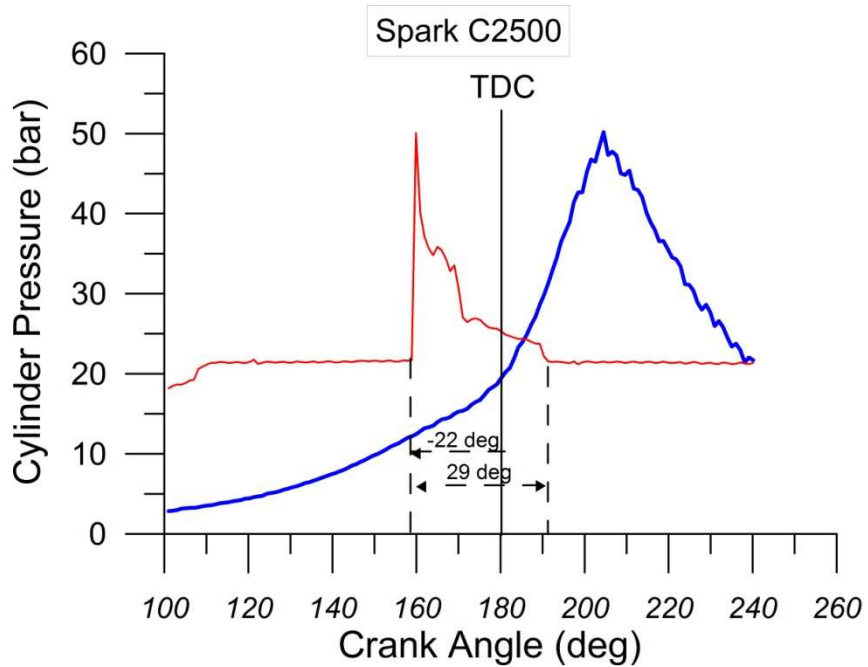
Κατά αναλογία με την περίπτωση του αρκετά πλούσιου μείγματος, στην παρούσα παράγραφο δίνονται τα διαγράμματα 7.5 έως 7.8 που προκύπτουν από υπερθεση του σήματος από το σύστημα έναυσης με το δυναμοδεικτικό διάγραμμα πίεσης του κυλίνδρου για λειτουργία με λιγότερο πλούσιο μείγμα. Και σε αυτήν την περίπτωση αναμένεται η έναρξη του σπινθηρισμού να γίνεται $21^{\circ} \pm 2^{\circ}$ πριν το ΑΝΣ (TDC) .



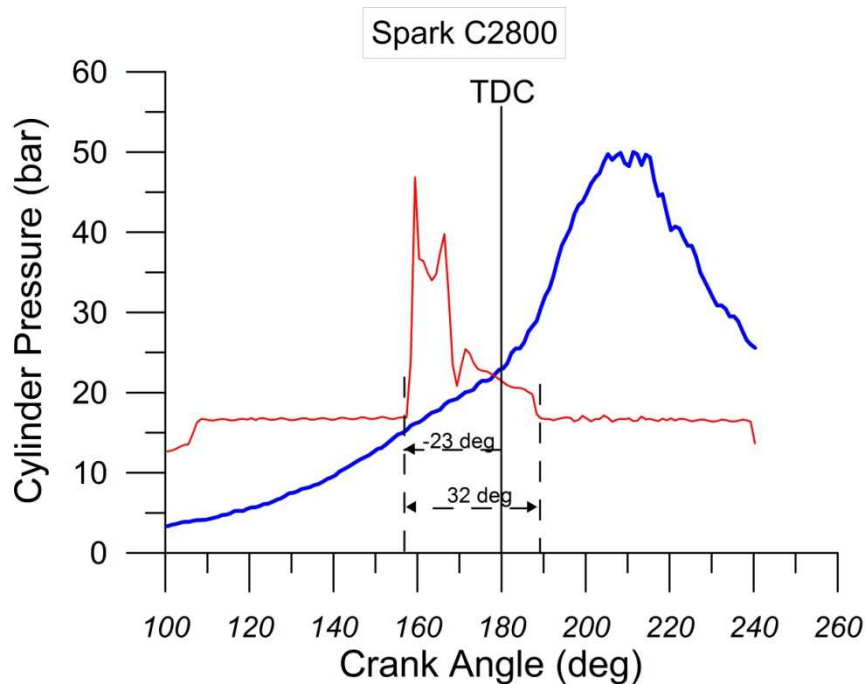
Σχήμα 7.5 :Υπέρθωση σήματος σπινθηριστή στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα του κινητήρα R2800 για λειτουργία με πλούσιο μείγμα στις 2000rpm



Σχήμα 7.6 :Υπέρθεση σήματος σπινθηριστή στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα του κινητήρα R2800 για λειτουργία με πλούσιο μείγμα στις 2300rpm



Σχήμα 7.7 :Υπέρθεση σήματος σπινθηριστή στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα του κινητήρα R2800 για λειτουργία με πλούσιο μείγμα στις 2500rpm



Σχήμα 7.8 :Υπέρθυση σήματος σπινθηριστή στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα του κινητήρα R2800 για λειτουργία με πλούσιο μείγμα στις 2800rpm

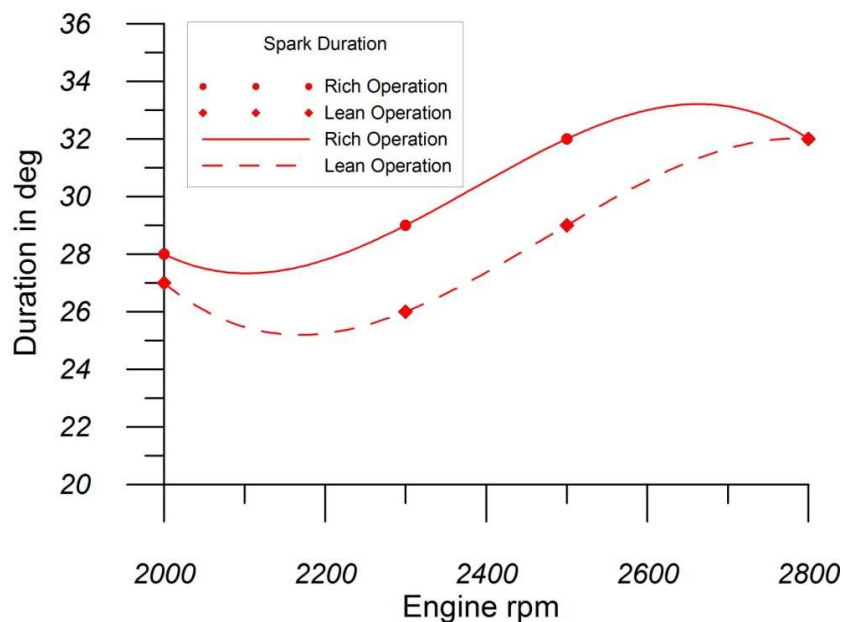
Και για το φτωχότερο μείγμα παρατηρείται ομοιομορφία σε όλο το φάσμα των στροφών με την προπορεία σπινθηρισμού στις 22-23 μοίρες γωνίας στροφάλου χωρίς να παρατηρούνται αλλοιώσεις στο σήμα. Και εδώ οι ταλαντώσεις στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα πιέσεων των σχημάτων 7.7 και 7.8 οφείλονται σε θόρυβο κατά τη μέτρηση και όχι σε μη ομαλή λειτουργία του κινητήρα. . Ως αποτέλεσμα αυτού οι όποιες διαφορές παρατηρηθούν στο ρυθμό της καύσης θα οφείλονται μόνο στη σύνθεση του μείγματος και όχι στην προπορεία σπινθηρισμού.

7.2 Διάρκεια του Σπινθηρισμού

Στο σχήμα 7.9 παρουσιάζεται η διάρκεια του σπινθηρισμού, συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της παραγράφου 7.1, για λειτουργία με αρκετά πλούσιο και λιγότερο πλούσιο μείγμα σε όλο το φάσμα ταχυτήτων περιστροφής του κινητήρα όπου ελήφθησαν μετρήσεις.

Όπως φαίνεται στο σχήμα παρατηρείται μια μικρή αύξηση της διάρκειας σπινθηρισμού σε μοίρες γωνίας στροφάλου με την αύξηση των στροφών. Η τάση αυτή είναι κοινή και στις δύο περιπτώσεις λειτουργίας (ιδιαίτερα πλούσιο και λιγότερο πλούσιο μείγμα). Λόγω του συστήματος έναυσης του κινητήρα R2800, η διάρκεια του σπινθηρισμού είναι σταθερή από άποψη χρόνου. Η αύξηση που παρατηρείται στο διάγραμμα 7.9 οφείλεται στο γεγονός ότι η διάρκεια του σπινθηρισμού μετράται σε μοίρες γωνίας στροφάλου και όχι σε απόλυτο χρόνο επομένως λόγω της άυξης της ταχύτητας περιστροφής αυξάνεται ελαφρά η διάρκειά του.

Επίσης από το διάγραμμα 7.9 προκύπτει ότι στην περίπτωση λειτουργίας με ιδιαίτερα πλούσιο μείγμα η διάρκεια του σπινθηρισμού είναι μικρότερη. Ο σπινθηρισμός αποτελεί φαινόμενο ηλεκτρικό επομένως, δεν αναμένεται σαφής επίδραση της αυξανόμενης περίσσειας καυσίμου. Ωστόσο, όσο απομακρυνόμαστε από το στοιχειομετρικό μείγμα τόσο περισσότερη ενέργεια απαιτείται για τη δημιουργία του σπινθήρα στους ακροδέκτες του σπινθηριστή. Επομένως όσο περισσότερη ενέργεια είναι αποθηκευμένη στο δευτερεύον κύκλωμα του συστήματος του μανιατό τόσο αυξάνεται ο απαιτούμενος χρόνος ώστε αυτό να καταναλωθεί πλήρως. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παραγράφου 7.1, το σήμα του συστήματος έναυσης δεν παρουσιάζεται αλλοιωμένο. Συνεπώς, δεν υποδηλώνεται κάποια δυσλειτουργία του συστήματος όπως φθορά πλατινών ή αύξηση ανοχών επαφών που θα μπορούσε να επιδρά στη διάρκεια του σπινθηρισμού. Επομένως η διαφορά ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις μάλλον οφείλεται σε τυχαίο γεγονός που σχετίζεται με τις ανοχές του συστήματος (μηχανικές) και σε σφάλμα μέτρησης/επεξεργασίας.



Σχήμα 7.9: Διάγραμμα διάρκειας σπινθηρισμού συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα

7.3 Διάρκεια της Κάυσης

Στην παρούσα ενότητα θα μελετήσουμε την πορεία κάυσης του μείγματος στον θάλαμο καύσης σε όλο το εύρος στροφών λειτουργίας του κινητήρα. Η ανάλυση έγινε χρησιμοποιώντας τη στιγμιαία έκλυση θερμότητας (heat release rate) που υπολογίζεται από το διαγνωστικό λογισμικό. Στη συνέχεια με ολοκλήρωση και αναγωγή στη μέγιστη τιμή προκύπτουν τα διαγράμματα συσσωρευτικού ρυθμού καύσης (Cumulative Heat Release).

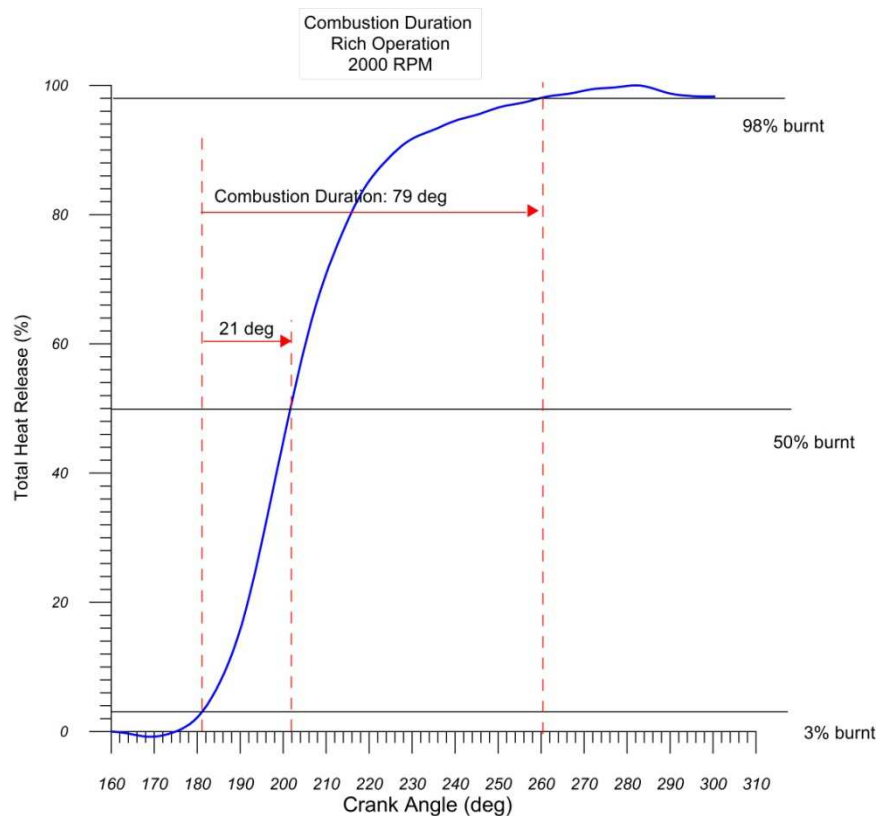
Θεωρούμε ότι για έκλυση θερμότητας σωρευτικά της τάξης του 98% έχει καεί όλη η ποσότητα του καυσίμου. Το 3% αντιπροσωπεύει την καθυστέρηση της έναυσης, δηλαδή το διάστημα που μεσολάβει από την ενεργοποίηση του σπινθηριστή μέχρι το σχηματισμό, κοντά σε αυτόν, ενός αυτο-διαδιδόμενου μετώπου φλόγας. Το διάστημα αυτό εξαρτάται από την πίεση, τη θερμοκρασία και τη σύνθεση του μείγματος αλλά είναι ανεξάρτητο από το χρόνο. Στα διαγράμματα που παρατίθενται στη συγκεκριμένη ενότητα, η διάρκεια καύσης έχει οριστεί ως το διάστημα σε μοίρες γωνίας στροφάλου που μεσολαβεί μεταξύ του 3% και του 98% της σωρευτικά εκλυόμενης θερμότητας.

Επιπρόσθετα, στα διαγράμματα που παρατίθενται σημειώνεται το σημείο όπου έχει εκλυθεί το 50% της συνολικής θερμότητας. Το σημείο όπου η καύση έχει ολοκληρωθεί κατά το ήμισυ αποτελεί χαρακτηριστικό σημείο του κύκλου λειτουργίας εμβολοφόρου κινητήρα και εξαρτάται κυρίως από την προπορεία σπινθηρισμού και την ποιότητα του μείγματος. Έτσι λοιπόν, εφόσον η προπορεία είναι σταθερή, αναμένεται και η καύση σε όλο το εύρος στροφών να φτάνει το 50% μετά από συγκεκριμένο διάστημα μοιρών, κοινό για κάθε περίπτωση.

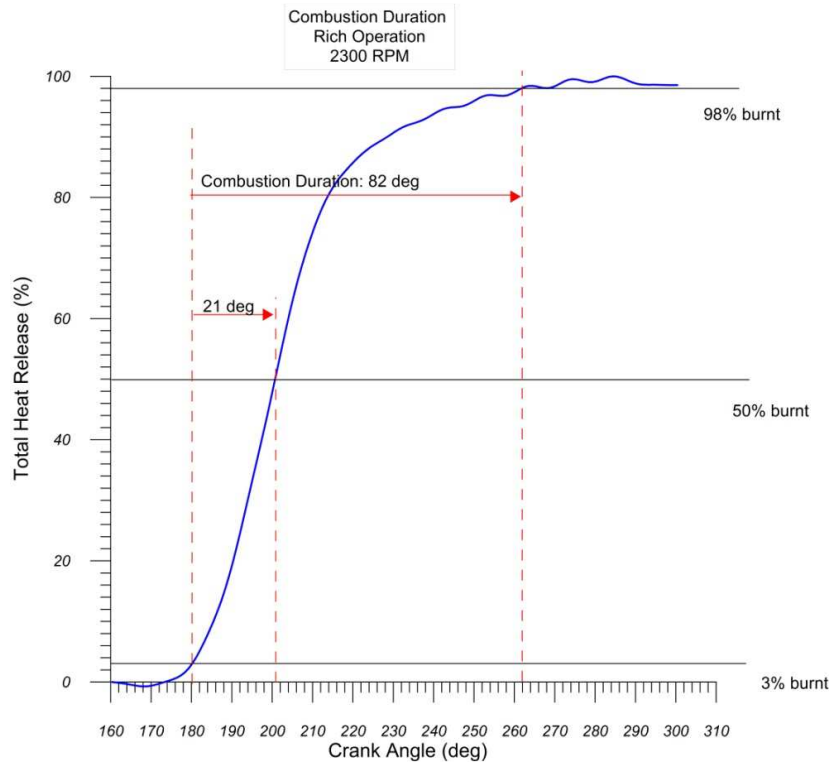
Ο ρυθμός κάυσης του μείγματος επηρεάζεται άμεσα από την αύξηση των στροφών του κινητήρα. Όπως είναι γνωστό, η διάρκεια της κάυσης σε μοίρες γωνίας στροφάλου αυξάνει με την αύξηση των στροφών λειτουργίας. Λόγω του τυρβώδους χαρακτήρα της φλόγας όμως αυτό δε γίνεται με τον ίδιο ρυθμό. Οι αναλογίες που συνήθως παρατηρούνται στους βενζινοκινητήρες είναι αύξηση της διάρκειας καύσης κατά 50% για τετραπλασιασμό των στροφών λειτουργίας. Στην περίπτωση μας οι στροφές οριακά διπλασιάζονται οπότε η αύξηση στη διάρκεια της κάυσης θα είναι υπαρκτή αλλά αρκετά μικρή (< 10°).

7.3.1 Λειτουργία με Αρκετά Πλούσιο Μείγμα

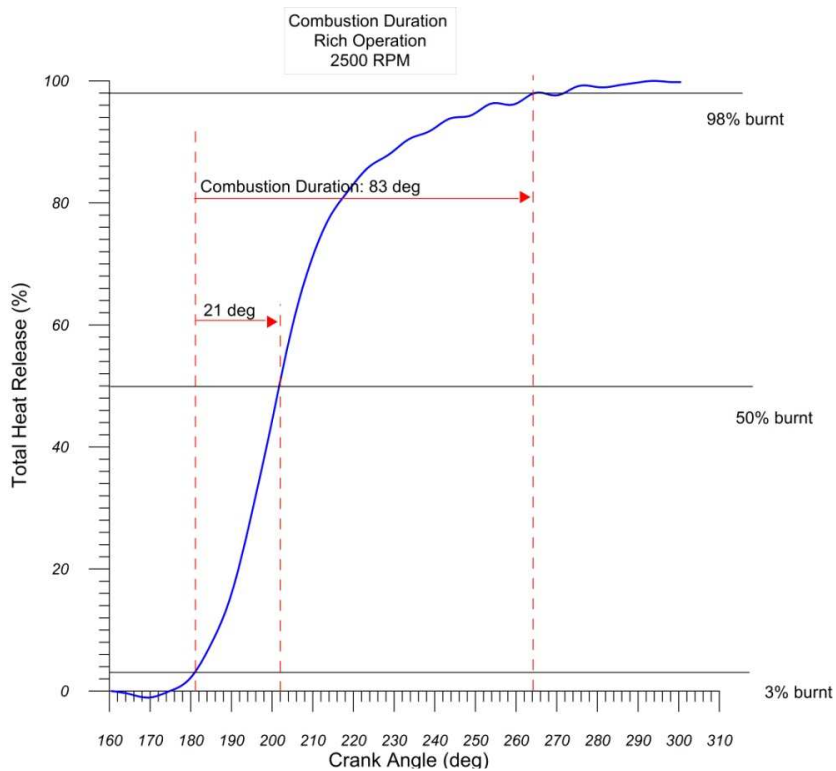
Στα διαγράμματα 7.10 έως 7.14 δίνεται η απεικόνιση του συσσωρευτικού ρυθμού καύσης για λειτουργία με αρκετά πλούσιο μείγμα και ταχύτητες περιστροφής 2000, 2300, 2500 και 2800rpm. Στα διαγράμματα έχει σημειωθεί το σημείο, σε μοίρες γωνίας στροφάλου, όπου έχει εκλυθεί το 3% της συνολικής θερμότητας, το σημείο που έχει εκλυθεί το μισό της συνολικής θερμότητας και τέλος το σημείο όπου θεωρητικά περατώνεται η διαδικασία της καύσης και αφορά στο 98% της συνολικής έκλυσης θερμότητας. Επίσης σημειώνεται η διάρκεια της καύσης σε μοίρες γωνίας στροφάλου ως η διαφορά του 3% και 98% της συνολικής έκλυσης θερμότητας. Κατά συνέπεια το σημείο καύσης του 3% του μείγματος αποτελεί ουσιαστικά και το σημείο στο οποίο θεωρούμε ότι υπάρχει ασφαλής έναυση.



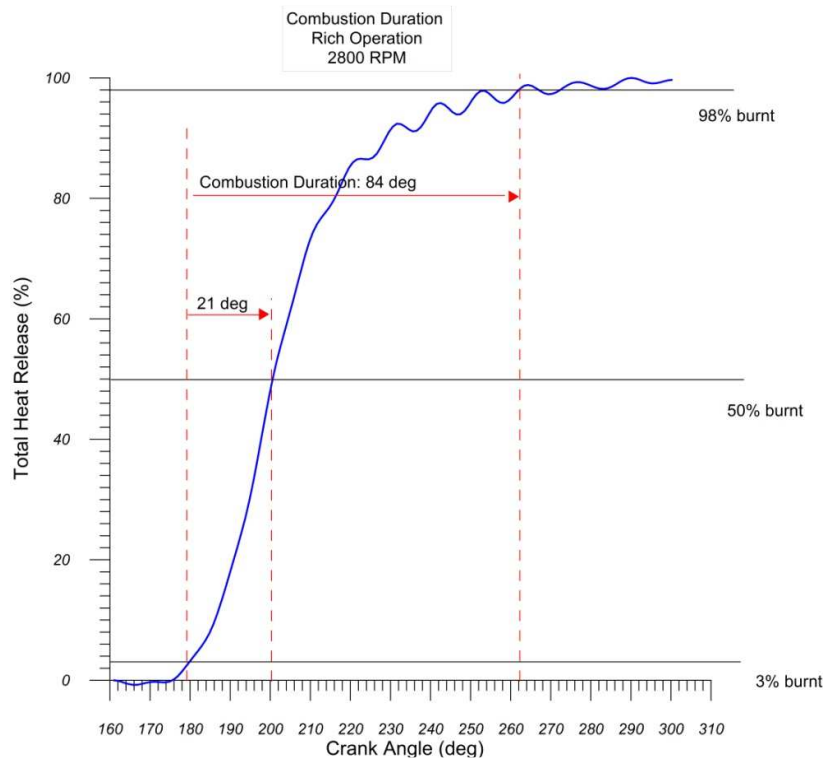
Σχήμα 7.10 : Διάρκεια καύσης για λειτουργία του κινητήρα με αρκετά πλούσιο μείγμα στις 2000rpm



Σχήμα 7.11 : Διάρκεια καύσης για λειτουργία του κινητήρα με αρκετά πλούσιο μείγμα στις 2300rpm



Σχήμα 7.12 : Διάρκεια καύσης για λειτουργία του κινητήρα με αρκετά πλούσιο μείγμα στις 2500rpm



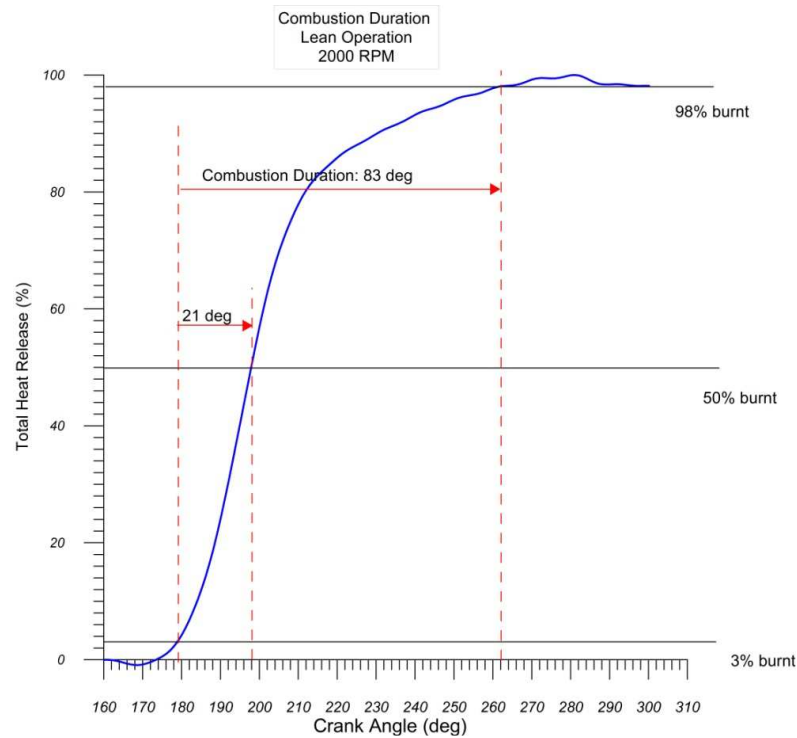
Σχήμα 7.13 : Διάρκεια καύσης για λειτουργία του κινητήρα με αρκετά πλούσιο μείγμα στις 2800rpm

Όπως προκύπτει από τα διαγράμματα 7.10 έως 7.13 η μορφή της καμπύλης του συσσωρευτικού ρυθμού κάυσης είναι η αναμενόμενη χωρίς να παρατηρείται σε κάποια περίπτωση ιδιαίτερα απότομος ρυθμός κάυσης ή κάποια έντονη βραδυπορεία στο σχηματισμό του μετώπου της φλόγας. Στο διάγραμμα 7.13, που αφορά στη μέτρηση για 2800rpm, παρουσιάζεται ταλαντωτική συμπεριφορά στα τελευταία στάδια της καύσης η οποία οφείλεται πιθανόν σε θόρυβο κατά τη μέτρηση.

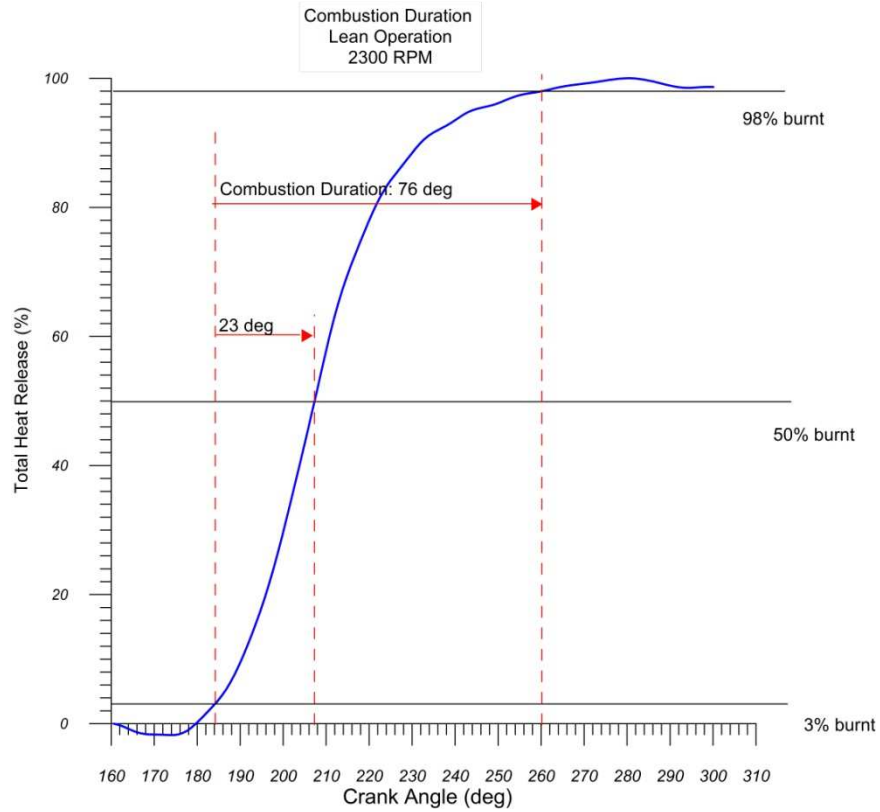
Όσον αφορά στη διάρκεια της καύσης, όπως αυτή δίνεται στα ανωτέρω διαγράμματα, παρατηρείται μικρή αύξηση με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής, η οποία είναι αναμενόμενη όπως επεξηγήθηκε πρωτύτερα. Το 50% της κάυσης αντιστοιχεί σε 21 μοίρες γωνίας στροφάλου, ανεξαρτήτως ταχύτητας περιστροφής, δηλώνοντας την ομαλή λειτουργία του κινητήρα και επιβεβαιώνοντας την ορθά ρυθμισμένη προπορεία σπινθηρισμού του κινητήρα.

7.3.2 Λειτουργία με Λιγότερο Πλούσιο Μείγμα

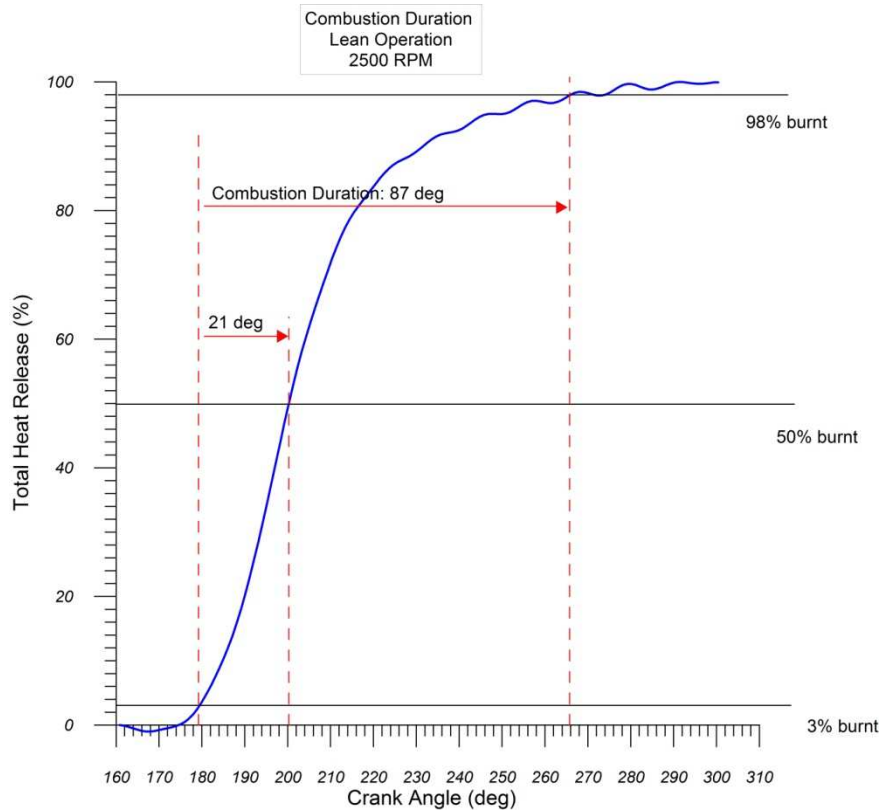
Στη συνέχεια δίνονται διαγράμματα συσσωρευτικού ρυθμού έκλυσης θερμότητας για ταχύτητες περιστροφής 2000, 2300, 2500 και 2800rpm και λειτουργία του κινητήρα με λιγότερο πλούσιο μείγμα. Και σε αυτήν την περίπτωση σημειώνεται στα διαγράμματα η καθυστέρηση εναύσεως, το σημείο έκλυσης ποσοστού θερμότητας 50% και η διάρκεια της καύσης σε μοίρες γωνίας στροφάλου.



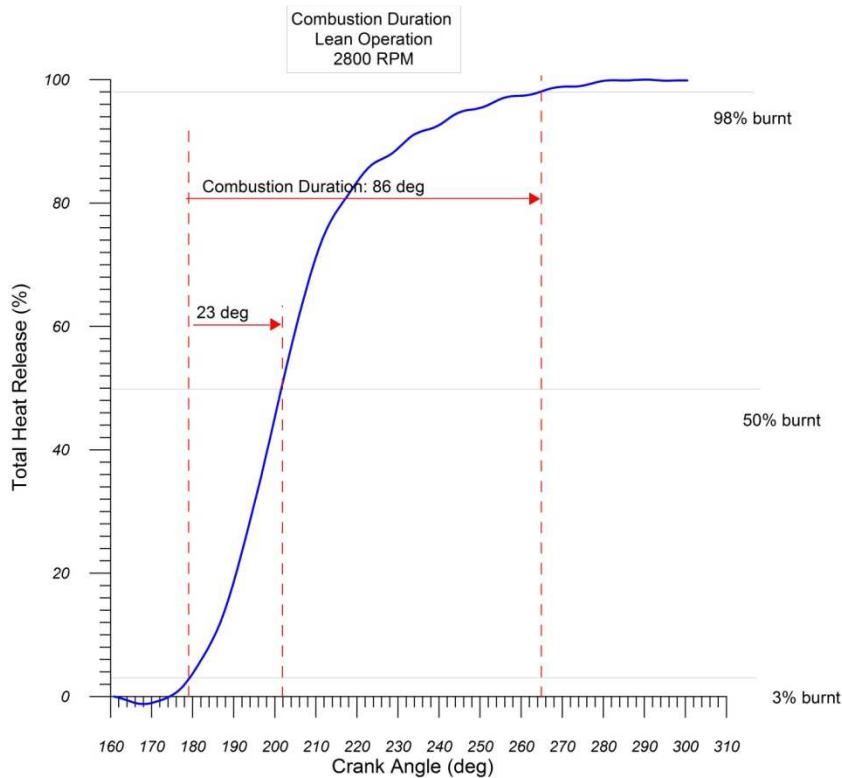
Σχήμα 7.14 : Διάρκεια καύσης για λειτουργία του κινητήρα με πλούσιο μείγμα στις 2000rpm



Σχήμα 7.15 : Διάρκεια καύσης για λειτουργία του κινητήρα με πλούσιο μείγμα στις 2300rpm



Σχήμα 7.16 : Διάρκεια καύσης για λειτουργία του κινητήρα με πλούσιο μείγμα στις 2500rpm



Σχήμα 7.17 : Διάρκεια καύσης για λειτουργία του κινητήρα με πλούσιο μείγμα στις 2800rpm

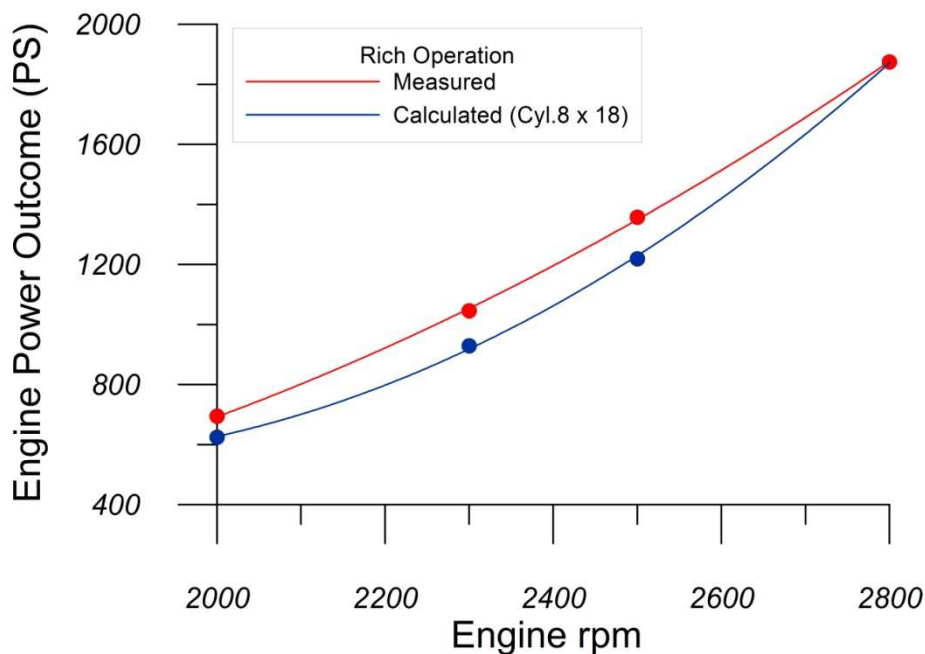
Από τα διαγράμματα 7.14 έως 7.17 φαίνεται ότι ο κινητήρας λειτουργεί ομαλά αφού η μορφή των καμπυλών συσσωρευτικού ρυθμού καύσης είναι η αναμενόμενη.

Και στη συγκεκριμένη περίπτωση λειτουργίας (λιγότερο πλούσιο μείγμα) το 50% της καύσης είναι πρακτικά σταθερό ενώ η συνολική διάρκεια της καύσης οριακά αυξάνεται με την αύξηση των στροφών. Στο διάγραμμα που αντιστοιχεί στις 2300 στροφές ενώ αρχικά παρουσιάζεται μεγαλύτερη καθυστέρηση έναυσης στη συνέχεια ο ρυθμός γίνεται πιο απότομος ώστε να καταλήξει τελικά σε μικρότερη διάρκεια καύσης από την αναμενόμενη χωρίς όμως να θεωρείται ως μη αποδεκτή.

7.4 Ισχύς του κινητήρα

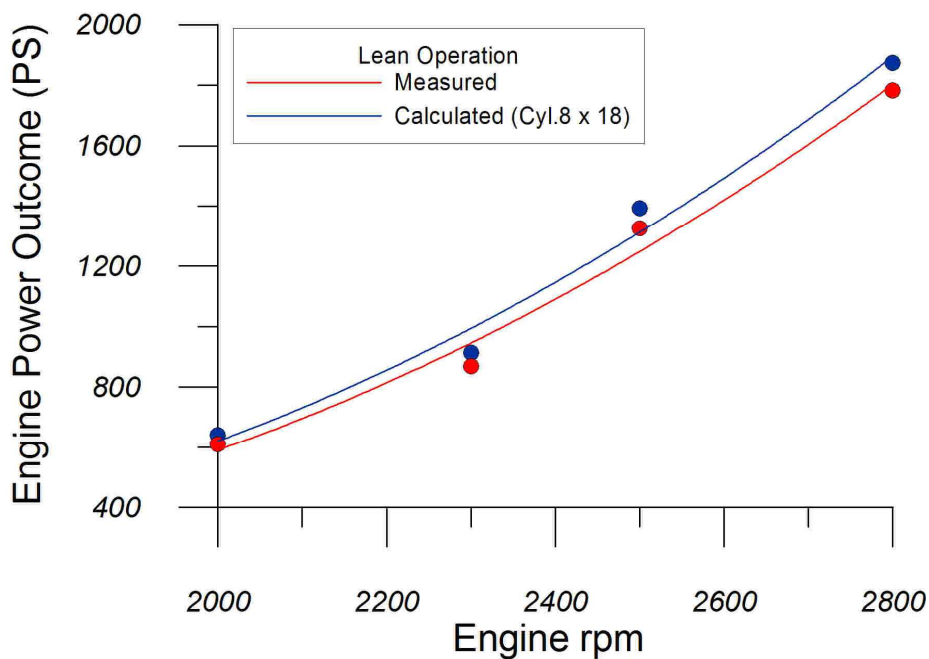
Στην παρούσα ενότητα θα καταβληθεί προσπάθεια εκτίμησης της ισχύος του κινητήρα από την ανάλυση των δεδομένων του διαγνωστικού λογισμικού και θα γίνει σύγκριση αυτής με τη μετρημένη ισχύ του κινητήρα.

Κατά τη διάρκεια της μελέτης μας ασχοληθήκαμε με τη λειτουργία ενός εκ των δεκαοκτώ κυλίνδρων του κινητήρα. Το διαγνωστικό πρόγραμμα υπολογίζει την ισχύ του συγκεκριμένου κυλίνδρου για κάθε μέτρηση. Μπορούμε επομένως να εξάγουμε μόνο μια εκτίμηση για τη συνολική ισχύ του κινητήρα πολλαπλασιάζοντας επί το πλήθος των κυλίνδρων, θεωρώντας δηλαδή ότι οι κύλινδροι συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο. Στο αποτέλεσμα που θα προκύψει θα πρέπει να συμπεριληφθεί ένας διορθωτικός παράγοντας για τον μηχανικό βαθμό απόδοσης που λόγω παλαιότητας της μηχανής δε γνωρίζουμε ακριβώς. Η εκτίμηση του μπορεί να προκύψει συγκρίνοντας τη μετρημένη ισχύ του κινητήρα στις 2800rpm με την ισχύ που εξάγει το διαγνωστικό. Παρακάτω παρουσιάζονται τα συγκριτικά διαγράμματα ισχύος στις δύο περιπτώσεις ιδιαίτερα πλούσιου (rich operation) και λιγότερο πλούσιου (lean operation) μείγματος.



Σχήμα 7.15 : Εκτίμηση της ισχύος του κινητήρα από το διαγνωστικό λογισμικό για λειτουργία με αρκετά πλούσιο μείγμα και σύγκριση με τις μετρημένες στο δοκιμαστήριο τιμές

Στο διάγραμμα της εικόνας 7.15 συγκρίνονται η ισχύς του κινητήρα όπως προκύπτει από τις μετρημένες στο δοκιμαστήριο τιμές και η εκτίμηση της ισχύος όπως προκύπτει από το διαγνωστικό λογισμικό για λειτουργία με αρκετά πλούσιο μείγμα καυσίμου-αέρα. Όπως φαίνεται το διαγνωστικό λογισμικό προσεγγίζει τα επίπεδα ισχύος του κινητήρα R2800 ικανοποιητικά, χωρίς να αποκλίνει σημαντικά από τις μετρημένες τιμές, ενώ παράλληλα οι δύο καμπύλες παρουσιάζουν την ίδια τάση. Αυτό είναι απόλυτα φυσιολογικό λόγω κυρίως της υπόθεσης ότι και οι δεκαοκτώ κύλινδροι λειτουργούν ομοιόμορφα.



Σχήμα 7.16 : Εκτίμηση της ισχύος του κινητήρα από το διαγνωστικό λογισμικό για λειτουργία με πλούσιο μείγμα και σύγκριση με τις μετρημένες στο δοκιμαστήριο τιμές

Στο διάγραμμα της εικόνας 7.16 αποτυπώνεται η σύγκριση των επιπέδων ισχύος μεταξύ των μετρημένων τιμών και της εκτίμησης του διαγνωστικού λογισμικού για λειτουργία με λιγότερο πλούσιο μείγμα. Όπως και στην περίπτωση με το πλουσιότερο μείγμα, η εκτίμηση της ισχύος μέσω του διαγνωστικού προγράμματος είναι επιτυχής καθώς οι απόλυτες διαφορές είναι πολύ μικρές και η μορφή των καμπυλών η επιδιωκόμενη.

Κεφάλαιο 8^ο

Επίδραση της ποιότητας του μείγματος στη λειτουργία του κινητήρα R2800

Στην συγκεκριμένη ενότητα δίνονται τα αποτελέσματα της συγκριτικής αξιολόγησης του κινητήρα R2800 για λειτουργία με πολύ πλούσιο και λιγότερο πλούσιο μείγμα. Όπως εξηγήθηκε και στην παράγραφο 5.2, για λόγους εποπτείας καλούμε το λιγότερο πλούσιο μείγμα ως 'φτωχό' χωρίς αυτό να σημαίνει ότι ο κινητήρας μας λειτουργεί σε περιοχές του λόγου ισοδυναμίας αέρα μεγαλύτερες του 1 ($\lambda > 1$).

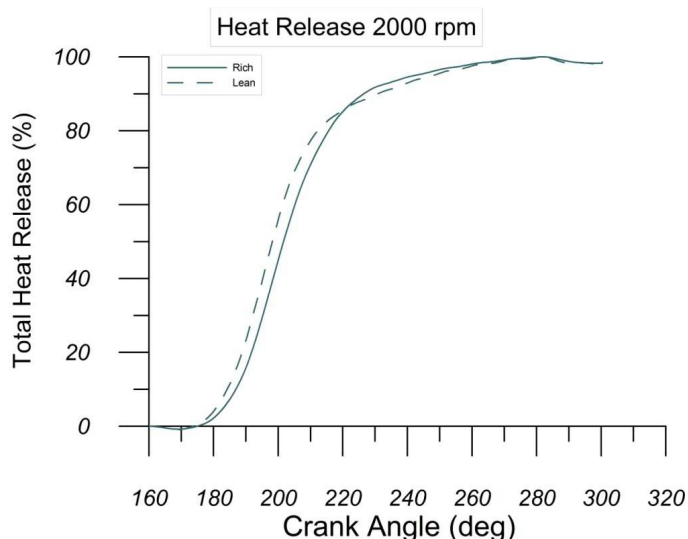
Θα εξετάσουμε την επίδραση της ποιότητας του μείγματος στα κατωτέρω μεγέθη:

- Ρυθμός Κάυσης
- Διάρκεια Καύσης
- Μέγιστη Θερμοκρασία Καύσης
- Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου

8.1 Πορεία της Καύσης συναρτήσει της ποιότητας του μείγματος

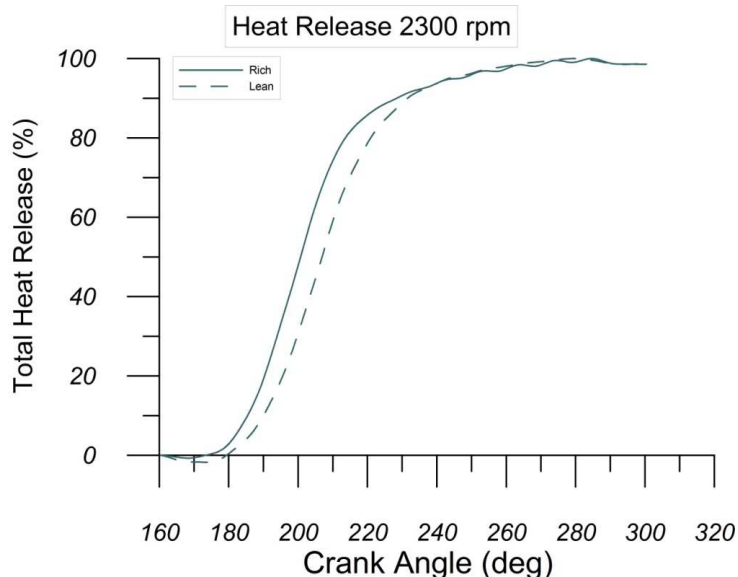
Στην παράγραφο αυτή εξετάζουμε πώς επιδρά η περίσσεια του καυσίμου στην πορεία της καύσης του μείγματος μέσα στον κύλινδρο. Μια ασφαλής εικόνα για την εξέλιξη αυτής παρέχει ο συσσωρευτικός ρυθμός της καύσης.

Στα σχήματα 8.1 έως 8.4 παρατίθενται διαγράμματα με υπέρθεση συσσωρευτικού ρυθμού έκλυσης θερμότητας για λειτουργία με αρκετά πλούσιο και λιγότερο πλούσιο μείγμα. Η σύγκριση γίνεται και για τις τέσσερις ταχύτητες περιστροφής ήτοι 2000, 2300, 2500 και 2800rpm



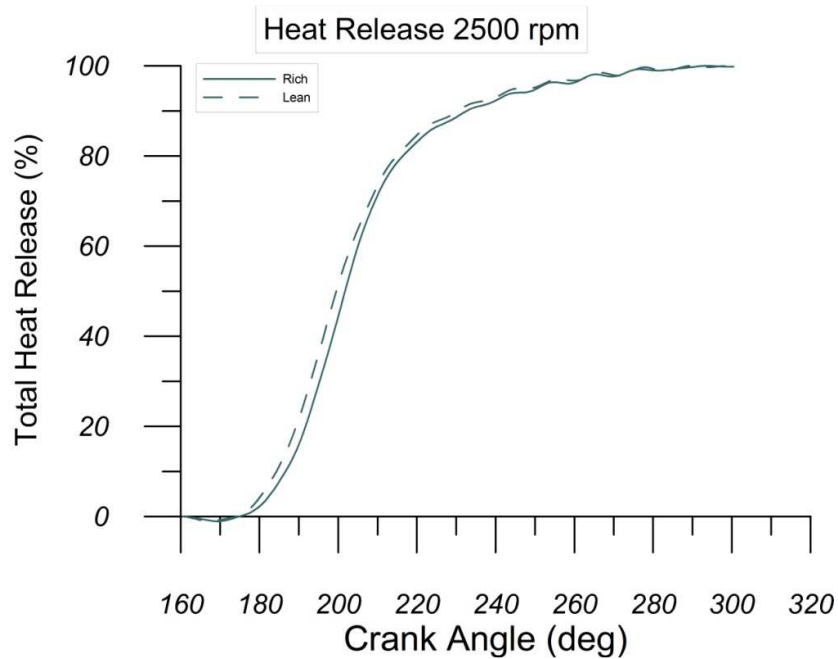
Σχήμα 8.1 : Συγκριτικό διάγραμμα πορείας της καύσης στις 2000 rpm για λειτουργία του κινητήρα με αρκετά πλούσιο και πλούσιο μείγμα

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 8.1 στις 2000 rpm ο ρυθμός της καύσης είναι εντονότερος για λειτουργία με λιγότερο πλούσιο μείγμα όσον αφορά στα πρώτα στάδια της καύσης ενώ στη συνέχεια παρατηρείται αντίστροφη συμπεριφορά ωστόσο οι δύο καμπύλες συγκλίνουν προς το τέλος της καύσης. Βέβαια στη σημείο αυτό θα πρέπει να έχουμε υπ’ όψιν μας το γεγονός ότι σε κάθε περίπτωση το μείγμα είναι «πλούσιο» σε καύσιμο.



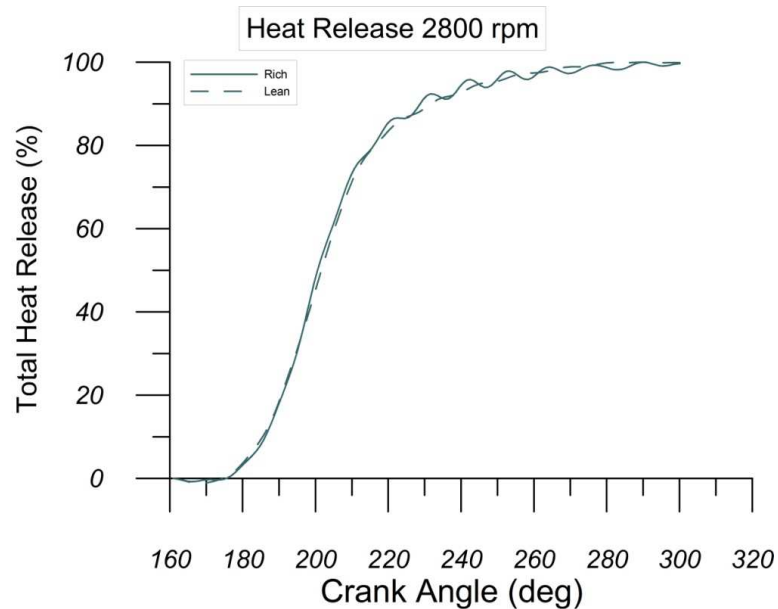
Σχήμα 8.2 : Συγκριτικό διάγραμμα πορείας της καύσης στις 2300 rpm για λειτουργία του κινητήρα με αρκετά πλούσιο και πλούσιο μείγμα

Στο διάγραμμα 8.2 που αφορά στις 2300rpm ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας είναι πιο έντονος στην περίπτωση του πλουσιότερου μείγματος αλλά προς το τέλος της καύσης οι δύο καμπύλες συγκλίνουν.



Σχήμα 8.3 : Συγκριτικό διάγραμμα πορείας της καύσης στις 2500 rpm για λειτουργία του κινητήρα με αρκετά πλούσιο και πλούσιο μείγμα

Στο διάγραμμα 8.3 δεν προκύπτει ουσιαστική διαφοροποίηση στο ρυθμό έκλυσης θερμότητας ανάμεσα σε λειτουργία με αρκετά πλούσιο και λιγότερο πλούσιο μείγμα για τις 2500rpm.



Σχήμα 8.4 : Συγκριτικό διάγραμμα πορείας της καύσης στις 2800 rpm για λειτουργία του κινητήρα με αρκετά πλούσιο και πλούσιο μείγμα

Τέλος στο διάγραμμα του σχήματος 8.4 που αφορά στις 2800rpm οι καμπύλες ταυτίζονται και πάλι σχεδόν σε όλο το εύρος των γωνιών του στροφάλου μη υποδεικνύοντας κάποια διαφοροποίηση στο ρυθμό έκλυσης της θερμότητας ανάλογα με τη λειτουργία με αρκετά πλούσιο και λιγότερο πλούσιο μείγμα.

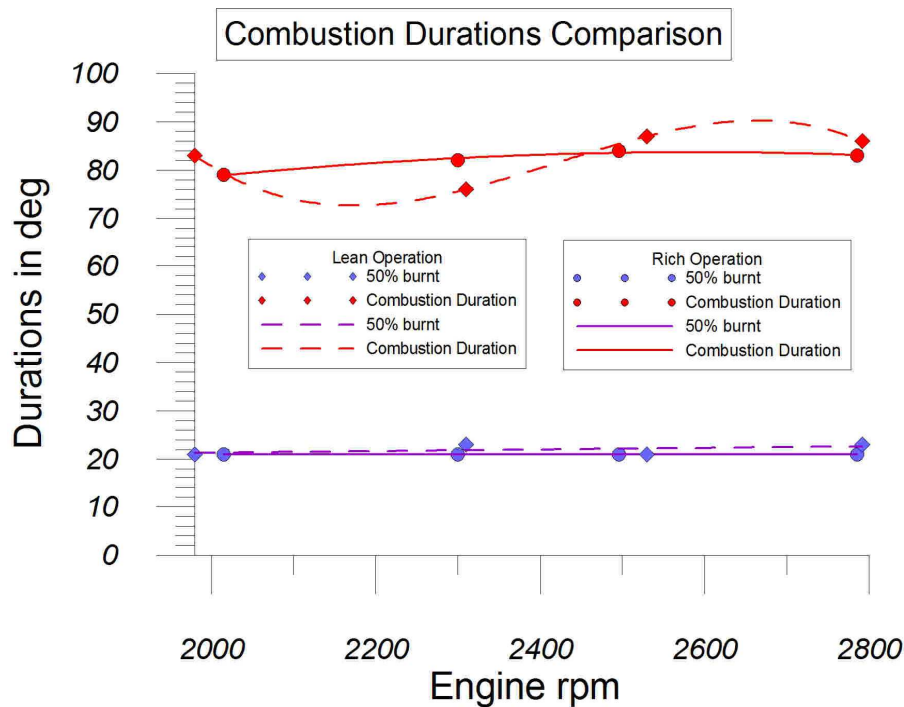
Από το σύνολο των διαγραμμάτων εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι διακυμάνσεις στην πορεία της καύσης είναι μικρές καθώς και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει λειτουργία με σημαντική περίσσεια καυσίμου. Οι διαφοροποιήσεις που εντοπίζονται οφείλονται κυρίως στην διακύμανση της γωνίας έναυσης από κύκλο σε κύκλο λόγω του ηλεκτρικού συστήματος του κινητήρα. Το γεγονός αυτό καθώς και ότι η σύγκριση γίνεται με χρήση του μέσου κύκλου λειτουργίας απο το διαγνωστικό λογισμικό δικαιολογεί κάποιες διακυμάνσεις οι οποίες όμως αναμένονται μικρές όπως ακριβώς απεικονίζεται στα διαγράμματα 8.1 με 8.4.

Κατά συνέπεια από τη μακροσκοπική σύγκριση των συσσωρευτικών ρυθμών καύσης δεν προκύπτει, κατ' αρχήν, σημαντική διαφοροποίηση βάση της ποιότητας μείγματος στα εύρη τιμών με τα οποία λειτουργεί ο συγκεκριμένος κινητήρας (ιδιαίτερα πλούσιο μείγμα).

8.2 Διάρκεια Κάυσης Συναρτήσεως της Ποιότητας του Μείγματος

Σε αυτήν την υποενότητα θα εξετασθεί η διάρκεια της κάυσης στον θάλαμο καύσης στην περίπτωση του πλούσιου και λιγότερο πλούσιου μείγματος.

Στο σχήμα 8.5 παρουσιάζεται συγκριτικό διάγραμμα που αφορά στη διάρκεια της καύσης συναρτήσεως της ποιότητας του μείγματος για όλο το φάσμα των ταχυτήτων περιστροφής που εξετάσθηκε. Επίσης στο ίδιο διάγραμμα απεικονίζεται και η διάρκεια σε μοίρες που μεσολαβεί από την έναυση του μείγματος έως την κάυση του 50% του μείγματος.



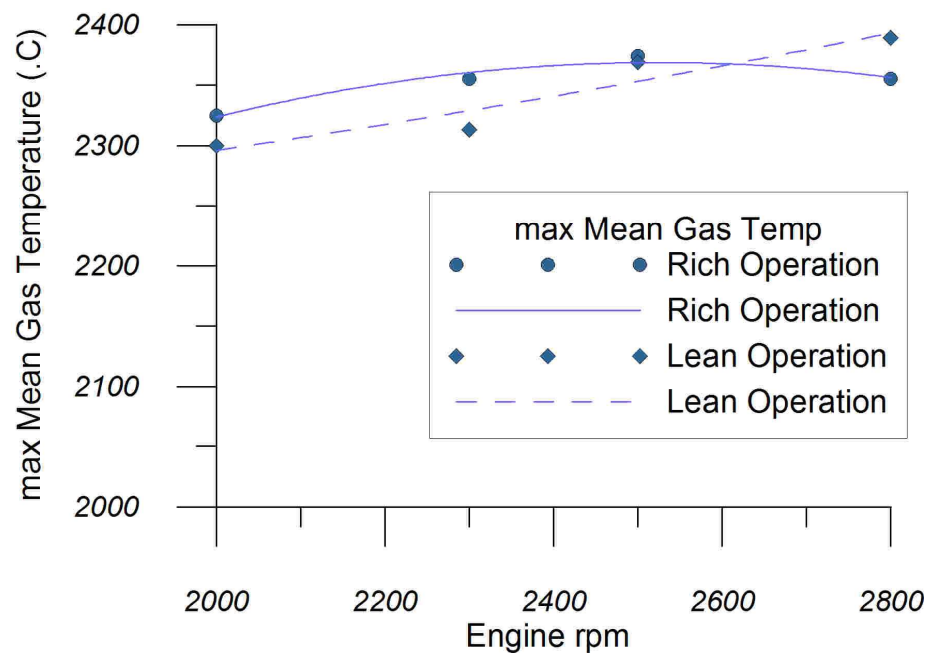
Σχήμα 8.5 : Συγκριτικό διάγραμμα του 50% και της συνολικής διάρκειας της καύσης για λειτουργία του κινητήρα με ιδιαίτερα πλούσιο και λιγότερο πλούσιο μείγμα

Παρατηρώντας το σχήμα 8.5 προκύπτει ότι η τάση των δύο καμπυλών, για λειτουργία με ιδιαίτερα πλούσιο και λιγότερο πλούσιο μείγμα είναι η ίδια αν εξαιρέσουμε το σημείο που αντιστοιχεί στις 2300rpm. Δηλαδή παρατηρείται μικρή αύξηση της διάρκειας της καύσης με την αύξηση των στροφών όπως αιτιολογήθηκε στην παράγραφο 7.2.

Επιπρόσθετα, παρατηρείται ότι το ιδιαίτερα πλούσιο μείγμα επιταχύνει τη διαδικασία της καύσης. Αυτό αποδίδεται κυρίως στην πιθανή επίδραση της σύνθεσής του στην ταχύτητα εξαπλώσεως του μετώπου της φλόγας. Όσον αφορά στο χρονικό διάστημα σε μοίρες που μεσολαβεί από την έναυση έως την κάυση του 50% του μείγματος αυτό παραμένει πρακτικά σταθερό όπως επεξηγήθηκε και στην παράγραφο 7.2 και ίσο με ~21 μοίρες.

8.3 Μέγιστη Θερμοκρασία Καύσης Συνάρτηση της Ποιότητας του Μείγματος

Στο σχήμα 8.6 δίνονται οι τιμές της μέγιστης θερμοκρασίας καύσης, όπως αυτές εξάγονται από την επεξεργασία του μετρημένου δυναμοδεικτικού διαγράμματος, για λειτουργία με αρκετά πλούσιο και λιγότερο πλούσιο μείγμα όπως προκύπτουν από το διαγνωστικό λογισμικό για τις τέσσερις ταχύτητες περιστροφής όπου ελήφθησαν μετρήσεις. Όπως φαίνεται στο γράφημα, η θερμοκρασία καύσης στο λιγότερο πλούσιο μείγμα παρουσιάζει συνεχή αύξηση. Σε λειτουργία με ιδιαίτερα πλούσιο μείγμα η αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας φαίνεται λιγότερο έντονη ενώ για τη μέτρηση που αφορά στις 2800rpm η μέγιστη θερμοκρασία παρουσιάζεται μειωμένη.



Σχήμα 8.6 : Συγκριτικό διάγραμμα μέγιστης θερμοκρασίας καύσης για λειτουργία του κινητήρα με αρκετά πλούσιο και πλούσιο μείγμα

Η περίσσεια του καυσίμου απορροφά μέρος της θερμότητας που εκλύεται κατά την καύση δρώντας ευεργετικά στη θερμική φόρτιση του κυλίνδρου. Ωστόσο η μέγιστη θερμοκρασία που παρατηρείται επηρεάζεται και από την ταχύτητα της φλόγας. Συγκεκριμένα, αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Η τελική εξάρτηση αναμένεται να είναι ο συγκερασμός των δύο αυτών παραγόντων οι οποίοι είναι αντικρουόμενοι. Συνεπώς, όπως φαίνεται και στο γράφημα 8.6, η μέγιστη θερμοκρασία αυξάνεται γενικά με την ταχύτητα περιστροφής και στις δύο περιπτώσεις ποιότητας μείγματος. Ωστόσο, η μεγαλύτερη περίσσεια καυσίμου δείχνει να δρα ευεργετικά σε σχέση με το λιγότερο πλούσιο μείγμα όταν ο κινητήρας λειτουργεί στη μέγιστη ταχύτητα περιστροφής.

8.4 Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου Συναρτήσει της Ποιότητας του Μείγματος

Στη συγκεκριμένη ενότητα δίνονται στοιχεία και σχολιάζεται η επίδραση της ποιότητας του μείγματος αέρα – καυσίμου στην ειδική κατανάλωση καυσίμου του κινητήρα.

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου δίνεται από τη σχέση

$$BSFC = \frac{FuelFlow \left[\frac{g}{h} \right]}{PS \text{ Corrected } [PS]} \quad (8.1)$$

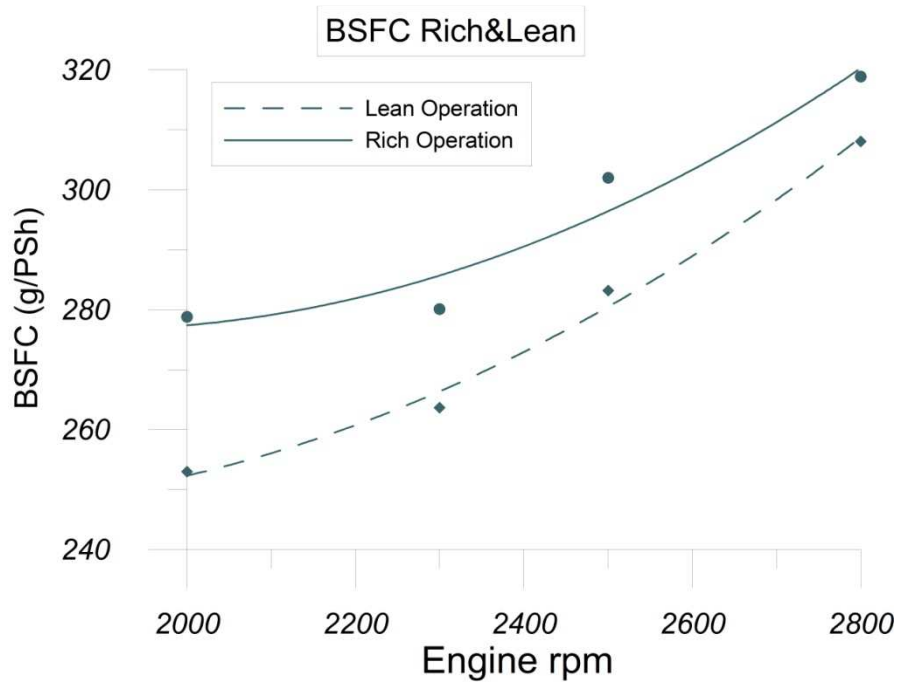
Η κατανάλωση καυσίμου λαμβάνεται από σχετικές μετρήσεις ενώ η ισχύς του κινητήρα υπολογίζεται, (βλέπε παράγραφο 7.4) από τη σχέση :

$$PS = (PS \text{ of Cyl8 } \times 18) \times correction_Factor \quad (8.2)$$

Όπου ο διορθωτικός παράγοντας ισούται με:

$$correction_Factor = 0.84 \quad (8.3)$$

Με βάση τα ανωτέρω προκύπτουν οι τιμές που παρουσιάζονται στο Σχήμα 8.7. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η ειδική κατανάλωση καυσίμου για λειτουργία με ιδιαίτερα πλούσιο και λιγότερο πλούσιο μείγμα σε όλο το φάσμα ταχυτήτων περιστροφής όπου ελήφθησαν μετρήσεις. Όπως αναμένεται, η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται με την αύξηση των στροφών και στις δύο περιπτώσεις ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη ισχύς για τις εκάστοτε στροφές λειτουργίας. Εξαιρέση αποτελεί η μέτρηση για ιδιαίτερα πλούσιο μείγμα και 2300 rpm όπου η προκύπτουσα τιμή είναι οριακά χαμηλότερη αυτής των 2000rpm. Στη λειτουργία με ιδιαίτερα πλούσιο μείγμα αποβάλλονται μεγαλύτερες ποσότητες άκαυστου καυσίμου γεγονός που δικαιολογεί της αυξημένες τιμές ειδικής κατανάλωσης σε σχέση με τη λειτουργία με λιγότερο πλούσιο μείγμα.



Σχήμα 8.7 : Συγκριτικό διάγραμμα ειδικής κατανάλωσης καυσίμου για λειτουργία του κινητήρα με αρκετά πλούσιο και πλούσιο μείγμα

Από την παροχή μάζας του χρησιμοποιούμενου καυσίμου μπορεί να υπολογιστεί, εκτός της ειδικής κατανάλωσης και ο λόγος ισοδυναμίας αέρα-καυσίμου λ :

$$\lambda = \frac{AF}{AF_{st}} \quad (8.4)$$

Όπου:

$$AF = \frac{\text{μάζα αέρα}}{\text{μάζα καυσίμου}} \quad (8.5)$$

Με AF_{st} συμβολίζουμε την αναλογία μάζας αέρα-καυσίμου για την στοιχειομετρική καύση 1 kg καυσίμου και ισούται με:

$$AF_{st} = 14.7 \quad (8.6)$$

Την παροχή μάζας καυσίμου λαμβάνουμε από τον πίνακα των μετρήσεων του κεφαλαίου 3 για 2800 rpm. Επειδή όμως δεν υπάρχουν μετρήσεις για τη μάζα αέρα, αυτή θα πρέπει να υπολογιστεί.

Η παροχή μάζας του αέρα αποτελεί μια πολύ σημαντική παράμετρο διότι καθορίζει τόσο τη ποιότητα όσο και την παροχή του μείγματος αέρα – καυσίμου που πληρώνει τον κύλινδρο, παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα τόσο το μηχανισμό της καύσης όσο και την αποδιδόμενη από τον κινητήρα ισχύ.

Για τον υπολογισμό της παροχής μάζας αέρα μπορούμε να επιλέξουμε ανάμεσα σε δύο μεθοδολογίες υπολογισμού. Η μία είναι χρησιμοποιώντας κατάλληλες μαθηματικές σχέσεις υπολογισμού οι οποίες παρέχονται από τη μηχανική των ρευστών ενώ η άλλη είναι να χρησιμοποιήσουμε το υπολογιστικό φύλλο του κατασκευαστή, όπως αυτό παρατίθεται στο κεφάλαιο 4 της παρούσας εργασίας. Στη συνέχεια δίνεται η εκτίμηση της παροχής μάζας αέρα με τη χρήση και των δύο μεθοδολογιών και γίνεται συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Η παροχή μάζας αέρα υπολογίστηκε και για τις δύο περιπτώσεις ποιότητας μείγματος στις στροφές λειτουργίας του κινητήρα για μέγιστη ισχύ (2800rpm)

8.4.1 Εκτίμηση Παροχής Μάζας Αέρα με Χρήση Μαθηματικών Σχέσεων Υπολογισμού από την Μηχανική Ρευστών.

Σε πρώτο στάδιο θα υπολογίσουμε την παροχή μάζας αέρα στον κινητήρα με χρήση θεωρητικών σχέσεων υπολογισμού.

Εξ ορισμού η μάζα είναι το γινόμενο της πυκνότητας επί τον όγκο επομένως για την συνολική παροχή αέρα \dot{m} θα ισχύει:

$$\dot{m}_{in} = \rho \cdot \dot{V} \rightarrow \dot{m}_{in} = \rho \cdot V \cdot v \quad (8.7)$$

Όπου:

$v = \frac{n}{30K}$ είναι ο αριθμός των ενεργών διαδρομών εμβόλου ανα sec, ένα μέγεθος υπολογιστικό για τον υπολογισμό της παροχής όγκου σε εμβολοφόρο κινητήρα εσωτερικής καύσης

n οι στροφές του κινητήρα σε rpm

K=4 για τετράχρονο κινητήρα

Ο συνολικός όγκος εμβολισμού V υπολογίζεται με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εμβόλου του κινητήρα και ορίζεται σύμφωνα τη σχέση:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot s}{4} \quad (8.8)$$

Όπου:

d η διάμετρος του εμβόλου

s η διαδρομή του εμβόλου

Για πολυκύλινδρο κινητήρα ο συνολικός όγκος εμβολισμού V προκύπτει με πολλαπλασιασμό επί του πλήθους των κυλίνδρων. Στην περίπτωση του R2800 έχουμε 18 κυλίνδρους οπότε ο όγκος εμβολισμού θα δίνεται από τη σχέση :

$$V = z \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \cdot s}{4} = 0.045782 \text{ m}^3 \quad (8.9)$$

Όπου:

z ο αριθμός των κυλίνδρων

Η πυκνότητα του αέρα εισαγωγής ρ υπολογίζεται μέσω της καταστατικής εξίσωσης των αερίων και είναι :

$$\rho_{in} = P_{in}/RT_{in} \quad (8.10)$$

Για να γίνει υπολογισμός της πυκνότητας απαιτείται η πίεση σχετού εισαγωγής, η οποία λαμβάνεται από τις μετρημένες στο δοκιμαστήριο τιμές και η θερμοκρασία στην είσοδο του κυλίνδρου η οποία θα υπολογιστεί μέσω του συμπιεστή.

Η θερμοκρασία εισόδου στον κύλινδρο μπορεί να προκύψει από τον ισεντροπικό βαθμό απόδοσης του συμπιεστή:

$$\eta_{is,c} = \frac{T'_{in} - T_a}{T_{in} - T_a} \quad (8.11)$$

Οπότε λύνοντας ως προς τη θερμοκρασία εισόδου στον κύλινδρο προκύπτει η σχέση:

$$T_{in} = \frac{T'_{in} - T_a}{\eta_{is,c}} + T_a \quad (8.12)$$

Την ισεντροπική θερμοκρασία θα την υπολογίσουμε μέσω του λόγου πίεσης του συμπιεστή σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$\pi_c = \left(\frac{P_{in}}{P_a} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (8.13)$$

$$T'_{in} = T_a (\pi_c)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (8.14)$$

Έτσι επιστρέφοντας στη σχέση 8.7 γίνεται ο αρχικός υπολογισμός της παροχής αέρα στον κινητήρα.

Με τη συγκεκριμένη σχέση υπολογίζεται η παροχή μάζας στους 18 κυλίνδρους του κινητήρα. Όπως εξηγήθηκε όμως εκτενώς στο 1^ο κεφάλαιο η μάζα του αέρα που τελικά παραμένει μέσα στον κύλινδρο μετά το πέρας της φάσεως εναλλαγής των αερίων και το κλείσιμο και των δύο βαλβίδων διαφέρει από αυτή που αρχικά εισέρχεται στον κινητήρα. Επίσης η συναλλαγή θερμότητας με τα θερμά, από τον προηγούμενο κύκλο λειτουργίας,

τοιχώματα του κυλίνδρου μεταβάλει τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας κατά την αρχή της συμπίεσης.

Επομένως, για να υπολογιστεί η συνολική παροχή μάζας αέρα στον κινητήρα γίνεται χρήση, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα ανωτέρω, των βαθμών πληρώσεως η_q και παγιδεύσεως η_γ .

Ο βαθμός πληρώσεως η_q ορίζεται ώστε να συμπεριληφθεί η μείωση της μάζας γομώσεως του κυλίνδρου λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας στην αρχή της συμπίεσης που προκύπτει ως αποτέλεσμα της απορρόφησης θερμότητας από τα τοιχώματα του κυλίνδρου.

Επίσης, όπως εξηγήθηκε στο κεφάλαιο 1 κατά την εναλλαγή αερίων υπάρχει επικάλυψη των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής ώστε να επιτυγχάνεται όσο το δυνατόν καλύτερη απόπλυση του κυλίνδρου. Μέρος της νέας γόμωσης που εισέρχεται στον κύλινδρο χρησιμοποιείται για την απόπλυση με αποτέλεσμα η ποσότητα που εγκλωβίζεται στον κύλινδρο μετά το κλείσιμο των βαλβίδων κατά τη συμπίεση να είναι μικρότερη αυτής που εισήχθει αρχικά σε αυτόν. Η μείωση αυτή εκφράζεται με το βαθμό παγιδεύσεως η_γ .

Συνεπώς, η συνολική παροχή μάζας του αέρα στον κινητήρα θα δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{m}_a = \frac{\rho_{in} \cdot V \cdot n \cdot \eta_q}{30k \cdot \eta_\gamma} \quad (8.15)$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται με βάση τα δεδομένα του πίνακα Π8.1 η παροχή μάζας αέρα στον κινητήρα σύμφωνα με τη σχέση 8.15. Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, η πίεση οχετού εισαγωγής και η πίεση και η θερμοκρασία αέρα λαμβάνονται από τις τιμές του Πίνακα Π1 (παράγραφος 5.4), όπως αυτές προέκυψαν από τις μετρήσεις στο δοκιμαστήριο.

Τα υπόλοιπα θερμοδυναμικά μεγέθη υπολογίζονται βάση των σχέσεων 8.9 έως 8.14.

Περιγραφή	Μετρούμενο Μέγεθος	Λειτουργία με Ιδιαίτερα Πλούσιο Μείγμα	Λειτουργία με Λιγότερο Πλούσιο Μείγμα
Engine rpm	n [rpm]	2800	2800
Engine displacement	V [m ³]	0.045782	0.045782
U.D.P.	P_a [bar]	0.94	0.94
M.A.P.	P_{in} [bar]	1.69	1.7
C.A.T.	T_a [K]	295	295
M.A.T. isentropic	T'_{in} [K]	348.0	348.6
M.A.T.	T_{in} [K]	350.7	351.4
Εκθέτης ισεντροπικής μεταβολής	Γ	1.4	1.4
Λόγος πίεσης συμπίεστη	π_c	1.785	1.796
Πυκνότητα εισαγωγής	ρ_{in} [kg/m ³]	1.675	1.682

Πίνακας Π8.1: Απαιτούμενα μεγέθη για τον υπολογισμό της παροχής αέρα μέσω θεωρητικών σχέσεων

Για την εκτέλεση των υπολογισμών έγινε υπόθεση των παρακάτω μεγεθών:

Ισεντροπικός βαθμός συμπίεστη : $\eta_{is,c} = 0.95$

Βαθμός πληρώσεως: $\eta_q = 0.932$

Βαθμός παγιδεύσεως: $\eta_\gamma = 0.9$

Έτσι, σύμφωνα με τα ανωτέρω η σχέση 8.15 δίνει την παροχή μάζας αέρα του κινητήρα για λειτουργία με ιδιαίτερα πλούσιο και πλούσιο μείγμα, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα Π8.2:

Περιγραφή	Μετρούμενο Μέγεθος	Λειτουργία με Πλούσιο Μείγμα	Λειτουργία με Λιγότερο Πλούσιο Μείγμα
Παροχή μάζας αέρα	\dot{m}_a [kg/h]	6671.65	6710.37

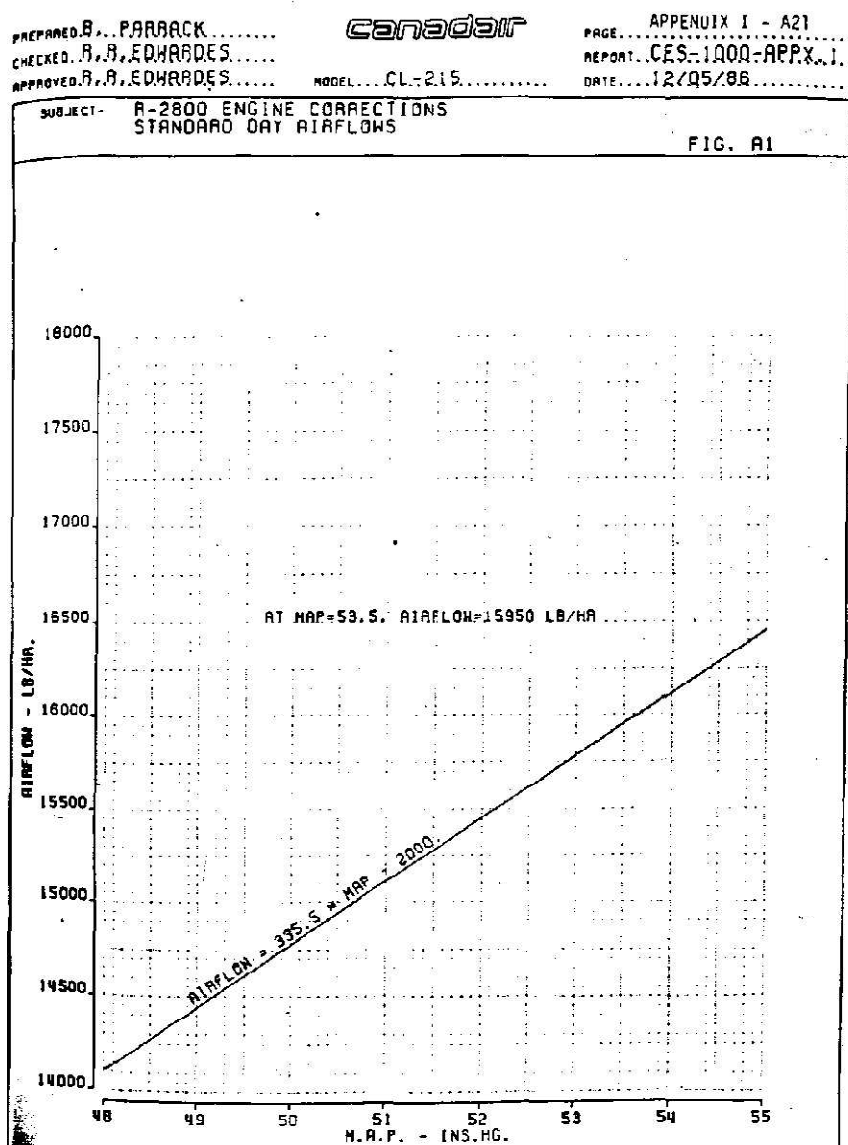
Πίνακας Π8.2 : Παροχή αέρα για λειτουργία με πλούσιο και λιγότερο πλούσιο μείγμα όπως προκύπτει από θεωρητικές σχέσεις υπολογισμού

8.4.2 Εκτίμηση Παροχής Αέρα από την Εμπειρική Σχέση του Κατασκευαστή

Στη συνέχεια θα γίνει υπολογισμός της παροχής αέρα με χρήση της εμπειρικής σχέσης που παρατίθεται στο εγχειρίδιο συντήρησης και ελέγχου ισχύος του κινητήρα.

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο του κατασκευαστή (εικόνα 8.8) η παροχή αέρα μπορεί να προκύψει ως συνάρτηση της πίεσης εισαγωγής σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\dot{m}_a = 335.5 * M.A.P. - 2000 \quad [pph] \quad (8.16)$$



Εικόνα 8.8: Υπολογισμός παροχής αέρα από την πίεση οχετού εισαγωγής σύμφωνα με το εγχειρίδιο του κατασκευαστή

Η ανωτέρω σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί, σύμφωνα με το εγχειρίδιο του κατασκευαστή, μόνο στην περίπτωση που η πίεση οχετού εισαγωγής είναι μεταξύ των τιμών 49-52inHg (~1.65-1.75bar). Όπως φαίνεται από τις τιμές των μετρήσεων στον πίνακα Π8.1 η πίεση του οχετού εισαγωγής βρίσκεται εντός των προβλεπόμενων ορίων που θέτει ο κατασκευαστής επομένως η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια.

Επομένως κάνοντας χρήση της σχέσης 8.16 υπολογίζεται η παροχή αέρα στον κινητήρα με χρήση της μετρημένης τιμής για την πίεση του οχετού εισαγωγής και τα αποτελέσματα για τις δύο καταστάσεις λειτουργίας (ιδιαίτερα πλούσιο και λιγότερο πλούσιο μείγμα) δίνονται στον πίνακα Π8.3:

Περιγραφή	Μετρούμενο Μέγεθος	Λειτουργία με Ιδιαίτερα Πλούσιο Μείγμα	Λειτουργία με Λιγότερο Πλούσιο Μείγμα
M.A.P.	P [bar]	1.69	1.7
Παροχή μάζας αέρα	\dot{m}_a [Kg/h]	6671.50	6717.13

Πίνακας Π8.3 : Παροχή αέρα για λειτουργία με ιδιαίτερα πλούσιο και λιγότερο πλούσιο μείγμα όπως προκύπτει από εμπειρική σχέση του κατασκευαστή

Όπως φαίνεται από τους πίνακες Π8.2 και Π8.3 η εμπειρική σχέση προσεγγίζει με ικανοποιητική ακρίβεια τα αποτελέσματα που εξάγονται από τις θεωρητικές σχέσεις υπολογισμού προβλέποντας επιτυχώς την παροχή μάζας αέρα στον κινητήρα R2800.

Με γνωστή παροχή μάζας αέρα είναι δυνατός ο υπολογισμός του λόγου ισοδυναμίας αέρα για τις δύο περιπτώσεις λειτουργίας που αφορούν στην ποιότητα του μείγματος.

Για να μπορούν τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να συγκριθούν στο μέλλον με οποιαδήποτε δοκιμή πραγματοποιηθεί σε αντίστοιχο κινητήρα R2800 θα εισαχθούν οι απαραίτητες διορθώσεις που προτείνει ο κατασκευαστής ώστε να αναχθούν οι συνθήκες περιβάλλοντος σε συνθήκες τυπικής ημέρας. Η διαδικασία αναγωγής των μετρημένων τιμών έχει επεξηγηθεί λεπτομερώς στο 4^ο κεφάλαιο και με τον ίδιο τρόπο θα εφαρμοσθεί και εδώ.

Θα χρησιμοποιηθεί το υπολογιστικό φύλλο που φαίνεται στην εικόνα 8.9 όπου θα εισαχθούν τα δεδομένα των μετρήσεων που προέκυψαν στο δοκιμαστήριο:

R2800 POWER CHECK CALCULATION SHEET																																																		
REF. E.O. 72-7200-06		CAUTION: OPERATOR IS ALLOWED TO EDIT VALUES ONLY IN CELLS WITH GREEN FONT																																																
M.A.P	In Hg	48.1																																																
BMEP	Psi	103																																																
Fuel Flow	pph	1269																																																
Engine RPM	rpm	2800																																																
C.H.T	Dec C	230																																																
C.A.T	Dec C	36																																																
T Dry	Dec C	30																																																
T Wet	Dec C	27																																																
Barometric Prerssure	In Hg	29.4																																																
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>W/O :</td> <td>PRECISION</td> </tr> <tr> <td>Date :</td> <td>30-06-10</td> </tr> <tr> <td>S/N :</td> <td>35362</td> </tr> </table>			W/O :	PRECISION	Date :	30-06-10	S/N :	35362																																										
W/O :	PRECISION																																																	
Date :	30-06-10																																																	
S/N :	35362																																																	
BMEP Required :	102.2	(without AIRFLOW CORRECTION)																																																
BMEP Corrected :	113.9	CORRECTION)																																																
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="3">CALCULATIONS - CORRECTIONS</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>0.021</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vapour Pressure</td> <td>0.991</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Torque Correction</td> <td>8.199 V.P.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Torque Correction</td> <td>-1.860 CHT</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Torque Correction</td> <td>-0.020 RPM</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Torque Correction</td> <td>4.844 CAT</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Torque Correction</td> <td>-0.273 EXH B.P.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Airflow</td> <td>14137.55</td> <td></td> </tr> <tr> <td>AIR COR</td> <td>0 RPM</td> <td></td> </tr> <tr> <td>AIR COR</td> <td>30.668 BARO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>AIR COR</td> <td>-579.600 CAT</td> <td></td> </tr> <tr> <td>AIR COR</td> <td>270.000 CHT</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SUM</td> <td>13858.6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>FF/SUM</td> <td>0.092</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Torque Correction</td> <td>-5.16 F/A RATIO</td> <td></td> </tr> </table>			CALCULATIONS - CORRECTIONS			W	0.021		Vapour Pressure	0.991		Torque Correction	8.199 V.P.		Torque Correction	-1.860 CHT		Torque Correction	-0.020 RPM		Torque Correction	4.844 CAT		Torque Correction	-0.273 EXH B.P.		Airflow	14137.55		AIR COR	0 RPM		AIR COR	30.668 BARO		AIR COR	-579.600 CAT		AIR COR	270.000 CHT		SUM	13858.6		FF/SUM	0.092		Torque Correction	-5.16 F/A RATIO	
CALCULATIONS - CORRECTIONS																																																		
W	0.021																																																	
Vapour Pressure	0.991																																																	
Torque Correction	8.199 V.P.																																																	
Torque Correction	-1.860 CHT																																																	
Torque Correction	-0.020 RPM																																																	
Torque Correction	4.844 CAT																																																	
Torque Correction	-0.273 EXH B.P.																																																	
Airflow	14137.55																																																	
AIR COR	0 RPM																																																	
AIR COR	30.668 BARO																																																	
AIR COR	-579.600 CAT																																																	
AIR COR	270.000 CHT																																																	
SUM	13858.6																																																	
FF/SUM	0.092																																																	
Torque Correction	-5.16 F/A RATIO																																																	
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="3">FINAL TORQUE PRESSURE</td> </tr> <tr> <td colspan="3">(including AIRFLOW CORRECTION)</td> </tr> <tr> <td>REQUIRED</td> <td>102.2</td> <td>psi</td> </tr> <tr> <td>CORRECTED</td> <td>108.7</td> <td>psi</td> </tr> <tr> <td>PERF. MARGIN</td> <td>6.5</td> <td>psi</td> </tr> <tr> <td colspan="3">ENGINE OK</td> </tr> </table>			FINAL TORQUE PRESSURE			(including AIRFLOW CORRECTION)			REQUIRED	102.2	psi	CORRECTED	108.7	psi	PERF. MARGIN	6.5	psi	ENGINE OK																																
FINAL TORQUE PRESSURE																																																		
(including AIRFLOW CORRECTION)																																																		
REQUIRED	102.2	psi																																																
CORRECTED	108.7	psi																																																
PERF. MARGIN	6.5	psi																																																
ENGINE OK																																																		

Εικόνα 8.9: Υπολογιστικό φύλλο διορθώσεων για την παροχή αέρα και τη ροπή

- Λειτουργία του κινητήρα με αρκετά πλούσιο μείγμα:

Στον πίνακα Π8.4 παρουσιάζονται οι μετρημένες στο δοκιμαστήριο τιμές που αφορούν στη δοκιμή του κινητήρα στις 2800rpm και λειτουργία με ιδιαίτερα πλούσιο μείγμα.

Λειτουργία με Ιδιαίτερα Πλούσιο Μείγμα		
Πίεση οχετού εισαγωγής	In Hg	49.8
Πίεση ροπής	Psi	106
Παροχή καυσίμου	gph	1475
Ταχύτητα περιστροφής	rpm	2800
Θερμοκρασία κεφαλών κυλίνδρων	Dec C	227
Θερμοκρασία αέρα εξαεριστή	Dec C	22
Θερμοκρασία ξηρής σφαίρας	Dec C	20.2
Βαρομετρική πίεση	In Hg	29.46

Πίνακας Π8.4: Μετρούμενα μεγέθη για λειτουργία με ιδιαίτερα πλούσιο μείγμα

Με εισαγωγή των ανωτέρω μεγεθών στο υπολογιστικό φύλλο της εικόνας 8.9 προκύπτει η συνολική παροχή μάζας του αέρα με τις διορθώσεις:

$$\dot{m}_a = 14839,6 \text{ lb/h} \quad (8.17)$$

Ο λόγος αέρα-καυσίμου:

$$AF = \frac{14839,6}{1475} = 10.06 \quad (8.18)$$

Και ο λόγος ισοδυναμίας αέρα:

$$\lambda = \frac{10.06}{14.7} \rightarrow \lambda = \mathbf{0.684} \quad (8.19)$$

Όπως αναμενόταν ο λόγος ισοδυναμίας αέρα είναι αρκετά μικρότερος της μονάδος καθώς ο κινητήρας λειτουργεί με ιδιαίτερα πλούσιο μείγμα καυσίμου-αέρα.

- Λειτουργία του κινητήρα με λιγότερο πλούσιο μείγμα:

Στον πίνακα Π8.4 παρουσιάζονται οι μετρημένες στο δοκιμαστήριο τιμές που αφορούν στη δοκιμή του κινητήρα στις 2800rpm και λειτουργία με λιγότερο πλούσιο μείγμα.

Λειτουργία με Λιγότερο Πλούσιο μείγμα		
Πίεση οχετού εισαγωγής	In Hg	50.1
Πίεση ροπής	Psi	106
Παροχή καυσίμου	gph	1425
Ταχύτητα περιστροφής	rpm	2800
Θερμοκρασία κεφαλών κυλίνδρων	Dec C	232
Θερμοκρασία αέρα εξαεριστή	Dec C	22
Θερμοκρασία ξηρής σφαιρας	Dec C	20.2
Βαρομετρική πίεση	In Hg	29.46

Πίνακας Π8.5: Μετρούμενα μεγέθη για λειτουργία με λιγότερο πλούσιο μείγμα

Με εισαγωγή των ανωτέρω μεγεθών στο υπολογιστικό φύλλο της εικόνας 8.9 προκύπτει η συνολική παροχή μάζας του αέρα με τις διορθώσεις:

$$\dot{m}_a = 14895,2 \text{ lb/h} \quad (8.20)$$

Ο λόγος αέρα-καυσίμου:

$$AF = \frac{14895,2}{1425} = 10.06 \quad (8.21)$$

Και ο λόγος ισοδυναμίας αέρα:

$$\lambda = \frac{10.45}{14.7} \rightarrow \lambda = \mathbf{0.71} \quad (8.22)$$

Ο λόγος ισοδυναμίας αέρα είναι και πάλι μικρότερος της μονάδος καθώς ο κινητήρας λειτουργεί με φτωχότερο μείγμα σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι εξέρχεται από την πλούσια περιοχή.

Συνοψίζοντας, ο λόγος αέρα είναι σημαντικά μικρότερος στην περίπτωση του πλουσιότερου μείγματος και μάλιστα σε επίπεδα που για άλλες εφαρμογές θεωρούνται υπερβολικά χαμηλά. Όμως σε εμβολοφόρους κινητήρες αεροσκαφών όπως αναφέρθηκε και πρωτύτερα η χρήση πολύ πλούσιου μείγματος καθίσταται αναγκαία για να εξασφαλισθεί ασφαλής έναυση, καλή ψύξη των κεφαλών των κυλίνδρων και ότι θα παρέχουν τα μέγιστα της απόδοσής τους σε όλες τις συνθήκες πτήσης.

Κεφάλαιο 9^ο

Σύνοψη-Συμπεράσματα

Ανεξάρτητα από την τεχνολογική εξέλιξη των αεροπορικών στροβιλοκινητήρων η παρουσία των εμβολοφόρων μηχανών στα αεροσκάφη είναι σημαντική ακόμα και σήμερα. Η αποδοτικότητα και η λειτουργική συμπεριφορά των κινητήρων αυτών σε συγκεκριμένες εφαρμογές καθιστά τη χρήση τους επιβεβλημένη. Σε αυτόν τον τύπο κινητήρων εντάσσεται και ο εμβολοφόρος κινητήρας R2800 της Pratt & Whitney ο οποίος επανδρώνει τα πυροσβεστικά αεροσκάφη CL-215 της Ελληνικής και όχι μόνο, Αεροπορίας. Το γεγονός ότι η τεχνολογία των κινητήρων αυτών είναι παλαιότερης γενιάς δεν αποτελεί τροχοπέδη για την ανάπτυξη νέων, εξελιγμένων μεθόδων για τον έλεγχο της λειτουργίας τους ώστε να επιτυγχάνεται το μέγιστο της απόδοσής τους.

Τον απαραίτητο ετήσιο έλεγχο και την επισκευή των κινητήρων των Α/φών CL-215 της Ελληνικής Αεροπορίας έχει αναλάβει η ΕΑΒ στις εγκαταστάσεις της στην Τανάγρα Βοιωτίας. Για το σκοπό αυτό η ΕΑΒ πριν από αρκετά χρόνια προχώρησε στην κατασκευή δοκιμαστήριου ώστε να μπορεί να δοκιμάζει και να επισκευάζει στις εγκαταστάσεις της τους κινητήρες R2800.

Η παρούσα εργασία εκτελέστηκε στα πλαίσια ερευνητικού έργου με τίτλο «Αξιολόγηση Δοκιμαστήριου Κινητήρων R-2800» που έχει ανατεθεί από την Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία (ΕΑΒ) στο εργαστήριο ΜΕΚ του ΕΜΠ. Βασικός σκοπός του συγκεκριμένου έργου ήταν η αξιολόγηση του υφιστάμενου δοκιμαστήριου εμβολοφόρων κινητήρων R2800. Η ανωτέρω αξιολόγηση επετεύχθει μέσω της συγκριτικής αξιολόγησης ενός εμβολοφόρου βενζινοκινητήρα τύπου R2800 της Ελληνικής Πολεμικής Αεροπορίας που έχει επισκευασθεί από την ΕΑΒ και ενός άλλου ίδιου τύπου κινητήρα που έχει επισκευασθεί στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (ΗΠΑ). Η συγκριτική αξιολόγηση έγινε με χρήση του διαγνωστικού λογισμικού EDS-3 το οποίο εφαρμόστηκε για την επεξεργασία δύο ομάδων μετρήσεων (η μία ομάδα αφορά σε μετρήσεις ενός κινητήρα R2800 που έχει επισκευασθεί στην ΕΑΒ ενώ η δεύτερη ομάδα αφορά σε μετρήσεις ίδιου τύπου κινητήρα(S/N: 35362) που έχει επισκευασθεί στις ΗΠΑ), οι οποίες έλαβαν χώρα στο δοκιμαστήριο της ΕΑΒ.

Στα πλαίσια αυτής της διερεύνησης μελετήθηκε και η επίδραση της ποιότητας του μείγματος στην λειτουργία και το μηχανισμό της καύσης που αποτελεί το κύριο αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Για τον σκοπό αυτό διεξήχθη εκτεταμένη πειραματική διερεύνηση στο δοκιμαστήριο της ΕΑΒ όπου ελήφθησαν μετρήσεις διαφόρων λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα – όπως π.χ. η πίεση του οχετού εισαγωγής, η παροχή και η πίεση του καυσίμου, η θερμοκρασία των κεφαλών του κινητήρα κ.α. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με το πρωτόκολλο δοκιμών που υπαγορεύει ο κατασκευαστής του συγκεκριμένου τύπου κινητήρα. Ταυτόχρονα, με χρήση ειδικής μετρητικής διάταξης που αναπτύχθηκε στο ΕΜΠ υπό την επίβλεψη του Καθηγητή του Δ.Χουντάλα πραγματοποιήθηκε παράλληλη καταγραφή της πίεσης καύσης ενός κυλίνδρου

και των σημάτων από το ηλεκτρικό σύστημα έναυσης του κινητήρα και των δύο σειρών κυλίνδρων.

Σε κάθε ομάδα μετρήσεων ελήφθησαν μετρήσεις σε τέσσερις διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής, ήτοι 2000, 2300, 2500 και 2800 rpm. Σε κάθε ταχύτητα περιστροφής ελήφθησαν μετρήσεις για δύο καταστάσεις λειτουργίας που αφορούν στην ποιότητα του μείγματος καυσίμου-αέρα: λειτουργία με αρκετά πλούσιο μείγμα (rich operation) και λειτουργία με λιγότερο πλούσιο μείγμα. Όπως έχει ήδη τονισθεί και στις δύο καταστάσεις λειτουργίας ο κινητήρας λειτουργεί με λόγους ισοδυναμίας αέρα-καυσίμου μικρότερους της μονάδας δηλαδή πάντα με πλούσιο μείγμα. Μετά τη λήψη και την καταγραφή των μετρήσεων ακολούθησε η ανάλυση και η αξιολόγησή τους με χρήση του διαγνωστικού λογισμικού EDS-3. Η πιστοποίηση της ορθότητας των συμπερασμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή του διαγνωστικού λογισμικού πραγματοποιήθηκε μέσω της συγκριτικής αξιολόγησης ορισμένων κρίσιμων λειτουργικών παραμέτρων (π.χ. ισχύς κινητήρα) με τις αντίστοιχες μετρημένες στο δοκιμαστήριο τιμές.

Πιο συγκεκριμένα, η επιβεβαίωση της ομαλής και ικανοποιητικής λειτουργίας του συγκεκριμένου κινητήρα R2800 που δοκιμάστηκε στο δοκιμαστήριο της EAB, επετεύχθη μέσω της συγκριτικής παράθεσης διαγραμμάτων, του χρονισμού του κινητήρα, της διάρκειας της καύσης και της διάρκειας του σπινθηρισμού. Από τη μελέτη των ανωτέρω λειτουργικών παραμέτρων προκύπτει μια σαφής εικόνα τόσο για την κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα που έχει επισκευασθεί στο εξωτερικό όσο και για την επάρκεια του δοκιμαστηρίου της EAB, όσον αφορά στην εκτέλεση αξιόπιστων ελέγχων της λειτουργικής κατάστασης κινητήρων R2800.

Όσον αφορά στη διερεύνηση της επίδρασης της ποιότητας του μείγματος αέρα – καυσίμου τόσο στο μηχανισμό της καύσης που λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό των κυλίνδρων όσο και στην εν γένει λειτουργική συμπεριφορά του υπό εξέταση κινητήρα R-2800 αυτή πραγματοποιήθηκε μέσω της συγκριτικής παράθεσης ορισμένων κρίσιμων παραμέτρων, όπως π.χ. ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας, η μέγιστη θερμοκρασία καύσης και η ειδική κατανάλωση καυσίμου, μεταξύ των δύο καταστάσεων λειτουργίας που μελετήθηκαν (rich operation και lean operation). Από την συγκεκριμένη διερεύνηση προέκυψαν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τον προσδιορισμό της κατάλληλης αναλογίας αέρα – καυσίμου που θα εξασφαλίζει τη βέλτιστη δυνατή λειτουργία του κινητήρα. Συγκεκριμένα προκύπτει ότι η σύνθεση του μείγματος δεν επηρεάζει το ρυθμό της καύσης και την διάρκειά της στο βαθμό που θα αναμενόταν. Αυτό όπως προκύπτει οφείλεται κύρια στο γεγονός ότι το καύσιμο μείγμα που χρησιμοποιείται είναι ιδιαίτερα πλούσιο. Η επίδρασή του αφορά κύρια στη μέγιστη θερμοκρασία της καύσης η οποία εμφανίζεται ελαφρά μειωμένη με το πιο πλούσιο μείγμα.

Επίσης από τα εξαγόμενα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας αλλά και του ερευνητικού έργου, στα πλαίσια του οποίου αυτή εκτελέστηκε, συνάγεται ότι το δοκιμαστήριο των κινητήρων R2800 της EAB είναι απόλυτα επαρκές ενώ οι δε εργασίες επισκευής είναι του επιπέδου που απαιτείται.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα συμπεράσματα τόσο για τη λειτουργία του υπο εξέταση κινητήρα όσο και για την επίδραση του μείγματος, όπως αυτά προέκυψαν στα προηγούμενα κεφάλαια της διπλωματικής.

1. Αξιολόγηση της Λειτουργίας του Κινητήρα που Ελέγχθηκε

- a. Δεν παρατηρείται κάποια ανωμαλία στη λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος του κινητήρα (π.χ. κακή κατάσταση πλατινών) καθώς λειτουργεί κανονικά διατηρώντας σταθερή προπορεία στις 21-23° γωνίας στροφάλου.
- b. Η διάρκεια της καύσης σε όλο το εύρος στροφών είναι σε λογικά επίπεδα και βαίνει ελαφρώς αυξανόμενη με την άυξηση αυτών υποδηλώνοντας ομαλή λειτουργία του κινητήρα.
- c. Η εκτίμηση της ισχύος του κινητήρα απο το διαγνωστικό λογισμικό χαρακτηρίζεται ως καλή αφού επιβεβαιώνει τις μετρηθείσες τιμές.
- d. Όπως προκύπτει από την ανάλυση των αποτελεσμάτων ο συγκεκριμένος κινητήρας που έχει επισκευασθεί στο εξωτερικό λειτουργεί ορθά ενώ το δοκιμαστήριο της EAB κρίνεται ως επαρκές για την εκτέλεση των εν λόγω ελέγχων.

2. Επίδραση της ποιότητας του μείγματος

- a. Ο λιγότερο έντονος ρυθμός καύσης του πλουσιότερου μείγματος στο αρχικό σταδιο της καύσης δρα ευεργετικά όσον αφορά στην εμφάνιση φαινομένου κρουστικής καύσης. Όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα της παραγράφου 8.3 η διάρκεια της καύσης επιταχύνεται στο πλουσιότερο μείγμα ενώ το σημείο ολοκλήρωσης του 50% αυτής παραμένει πρακατικά σταθερό.
- b. Η μέγιστη θερμοκρασία καύσης εξαρτάται απο δύο παράγοντες που επιβάλλουν αντίθετη συμπεριφορά στο μηχανισμό της καύσης του μείγματος, ήτοι η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής και η αύξηση της περίσσειας του καυσίμου. Από το διάγραμμα της παραγράφου 8.4 δεν προκύπτει σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο μειγμάτων στις χαμηλές και μέσες στροφές. Αντίθετα στις υψηλές υπάρχει σαφής μείωση με το πιο πλούσιο μείγμα.
- c. Η ειδική κατανάλωση καυσίμου όπως αναμενόταν αυξάνει με το πλουσιότερο μείγμα αφού βρισκόμαστε σε περιοχές του λόγου ισοδυναμίας αέρα καυσίμου σημαντικά μικρότερες της μονάδας
- d. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων που αφορά στην παροχή αέρα φανερώνει την ορθότητα της μεθοδολογίας υπολογισμού καθώς οι διαφορές είναι ιδιαίτερα μικρές.

Κεφάλαιο 10^ο

Βιβλιογραφία-Πηγές

- [1]. John B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill Book Company, 1988. ISBN 0-07-100499-8

- [2]. Charles Fayette Taylor, The Internal Combustion Engine in Theory and Practice, Revised Edition. The M.I.T. Press, 1985. ISBN 0-262-70027-1

- [3]. Benson, R.S. and Whitehouse, N.D. (1979) Internal Combustion Engines, Pergamon Press, Oxford.

- [4]. Ramos, J.I. (1989) Internal Combustion Engine Modeling, Hemisphere, New York.

- [5]. APPENDIX II: Double Wasp CA Overhaul

- [6]. CES1000_Iss4_App_I.pdf (ΠΑ).

- [7]. Κωνστ. Δ. Ρακόπουλος, Αρχές Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ. , Εκδόσεις Φούντας, ISBN 960-330-423-9

- [8]. Rakopoulos, C.D. and Hountalas, D.T., "Analysis of Otto Engine Combustion by Processing of the Measured Cylinder Pressure Diagram", First Meeting of the Combustion Institute, Athens, Nov.28-29, Zappio Megaro, Greece, pp.293-298, 1997.