

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

10.1 ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Η ισχύς ολίσθησης (road-load power) είναι η ισχύς που απαιτείται για να υπερνικηθούν η αντιστάσεις του αέρα και της ολίσθησης επι του δρόμου:

$$P_r = (C_R M_v g + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_v S_v^2) \cdot S_v \quad (10.1)$$

όπου

C_R = συντελεστής αντίστασης ολίσθησης (0.012-0.015)

M_v = μάζα οχήματος

g = επιτάχυνση της βαρύτητας

ρ_a = πυκνότητα αέρα

C_D = συντελεστής αεροδυναμικής αντίστασης (=0.29-0.45)

A_v = μετωπική επιφάνεια οχήματος

S = ταχύτητα οχήματος

Η στρεπτική ροπή που θα παράγει η μηχανή από τον ορισμό της μέσης ενεργού πίεσης πέδησης είναι:

$$\tau_b = \begin{cases} \frac{1}{4\pi} \cdot b m e p \cdot V_d & (\text{τετραχρονη}) \\ \frac{1}{2\pi} \cdot b m e p \cdot V_d & (\text{διχρονη}) \end{cases} \quad (10.2)$$

Η ισχύς μπορεί να εκφρασθεί επίσης συναρτήσει της $b m e p$:

$$P_b = \begin{cases} \frac{1}{4} b m e p A_p \bar{U}_p & (\text{τετραχρονη}) \\ \frac{1}{2} b m e p A_p \bar{U}_p & (\text{διχρονες}) \end{cases} \quad (10.3)$$

Σε αυτές τις εκφράσεις οι πιο σημαντικές επιδράσεις του

μεγέθους της μηχανής έχουν εκτοπισθεί και για δεδομένες απαιτήσεις λειτουργίας (b_{mep} , $\overline{U_p}$) η ροπή είναι ανάλογη του όγκου εκτόπισης και η ισχύς είναι ανάλογη της επιφάνειας του εμβόλου:

$$V_d = N_c \frac{\pi}{4} b^2 \cdot S \quad (10.4)$$

$$A_p = N_c \frac{\pi}{4} b^2$$

όπου N_c =ο αριθμός κυλίνδρων, b =διάμετρος κυλίνδρου και s =διαδρομή εμβόλου.

Μπορούμε επίσης να γράψουμε ότι και για τις τετράχρονες και για τις δίχρονες μηχανές ισχύει:

$$bsfc = \frac{F}{1+F} \frac{e_v \cdot \rho_i}{b_{mep}} \quad (10.5)$$

όπου, F είναι ο λόγος καυσίμου/αέρα, e_v η ογκομετρική απόδοση και ρ_i η πυκνότητα του μίγματος στην πολλαπλή εισαγωγή. Η εξ. 10.5 δεν συνδέεται άμεσα με το μέγεθος της μηχανής και έτσι η απόδοση της μηχανής αναμένεται να είναι ασθενής συναρτήση του μεγέθους, για ένα δεδομένο επίπεδο απαιτήσεων λειτουργίας.

Οι σύγχρονες τάσεις στο σχεδιασμό μηχανών Diesel δείχνονται στο σχήμα 10.1. Αυτή η γενικευμένη καμπύλη βασίζεται στις καλύτερες δίχρονες και τετράχρονες μηχανές, με ένα μεγάλο εύρος διαμέτρων κυλίνδρου (b). Ο λόγος μέγιστης προς ελάχιστη διάμετρο είναι περίπου 15 και αντιστοιχεί σε λόγο όγκων εκτόπισματος 3400:1, το $bsfc$ όμως μεταβάλλεται μόνο κατά 1.6 περίπου. Ένας σημαντικός παράγων που υπογραμμίζει την τάση που φαίνεται στο σχήμα 10.1 είναι ότι ο λόγος επιφάνειας προς όγκο κυλίνδρου ελαττώνεται με αυξανόμενη διάμετρο [$(A/V) \sim b^{-1}$] και αυτό σημαίνει ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας από το αέριο προς το χιτώριο.

Εν γένει οι Diesel είναι από τις πιο αποδοτικές μηχανές με χαμηλές απώλειες θερμότητας και τριβών. Χρησιμοποιούν επίσης βαλβίδες εισαγωγής που κλείνουν καθυστερημένα για την επίτευξη μακρύτερου χρόνου εκτόνωσης από ότι συμπίεσης.

Οι γενικοποιήσεις που αναφέρθηκαν ανωτέρω ισχύουν και για

μηχανές SI. Όμως θα πρέπει να πούμε ότι οι μεγάλες μηχανές SI ομοιογενούς πλήρωσης δεν είναι πρακτικές, διότι οι απαιτήσεις τους σε οκτάνια είναι πολύ μεγάλες. Στο κεφάλαιο 9 είδαμε ότι η ταχύτητα της φλόγας εν μέρει συνδέεται με το μέγεθος της τυρβώδους διακύμανσης της ταχύτητας (RMS) και το RMS είναι ανάλογο της ταχύτητας του εμβόλου. Συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι η διάρκεια της καύσης ως προς τη γωνία του στροφάλου μπορεί να παραμένει σχεδόν σταθερή, αλλά ως προς το χρόνο είναι αντίστροφος ανάλογη προς τις στροφές της μηχανής. Συνεπώς υπάρχει περισσότερος χρόνος για τα πρόσχημα κρουστικής καύσης να σχηματισθούν σε μεγαλύτερες μηχανές. Σύμφωνα με τον ανωτέρω συλλογισμό είναι επίσης δύσκολο να κατασκευασθεί μια μικρή μηχανή Diesel, διότι υπάρχει μικρός χρόνος για την εμφάνιση αυτανάφλεξης και για την έγχυση του καυσίμου στα πλαίσια λογικών πιέσεων στον εγχυτήρα.

10.2 ΛΟΓΟΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ, ΣΤΡΟΦΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ

Η επίδραση των στροφών της μηχανής επί της ισχύος πέδησης, P_b και της μέγιστης ροπής πέδησης, MBT, μιας μηχανής SI εργαζόμενης υπό πλήρες φορτίο (εντελώς ανοικτή πεταλούδα – WOT), φαίνεται στο σχήμα 10.2. Ποσοτικά τα αποτελέσματα αναφέρονται σε συγκεκριμένη μηχανή, ποιοτικά όμως είναι αντιπροσωπευτικά για όλες τις μηχανές (SI η CI, 2-χρονης η 4-χρονης).

Η επίδραση των στροφών επί της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου πέδησης, $bsfc$, φαίνεται στο σχήμα 10.3. Εξετάζοντας κατ'αρχήν την $bsfc$ παρτηρούμε ότι αυξάνει σε χαμηλές στροφές, λόγω αυξημένων απωλειών θερμότητας, είναι πιο σταθερή σε μεσαίες στροφές και αυξάνει πάλι σε υψηλότερες στροφές, λόγω αυξημένων τριβών και απωλειών άντλησης φρέσκου μίγματος που αυξάνουν με τις στροφές. Επίσης αυξανόμενου του λόγου συμπίεσης ελαττώνεται η $bsfc$ (και η $isfc$) και λόγω αυτών των επιδράσεων υπάρχει μια βέλτιστη επιλογή για την τιμή του λόγου συμπίεσης.

Οι καμπύλες ισχύος του σχήματος 10.2 εξηγούνται και συναρτήσει εκφράσεων που συσχετίζουν την ισχύ με την ταχύτητα του εμβόλου, την καθαρή θερμική απόδοση (η_{inet}) και τη μηχανική απόδοση ($\eta_m = \eta_b / \eta_{inet}$):

$$P_b = \frac{\dot{m}_f}{bsfc} = \frac{F \dot{m}_a}{bsfc} \quad (10.6)$$

$$P_b = \begin{cases} \frac{\frac{\Gamma}{2} F D_r \rho_\infty V_d R_s \alpha_0 \eta_{inet} \cdot \eta_m}{1+F} (\text{τετραχρονη}) \\ \frac{\Gamma F D_r \rho_\infty V_d R_s \alpha_0 \cdot \eta_{inet} \cdot \eta_m}{1+F} (\text{διχρονη}) \end{cases} \quad (10.7)$$

Το σχήμα 10.2 δίνει την ισχύ, P_b , συναρτήσει των στροφών.

Η ισχύς πέδησης είναι βέβαια το γινόμενο της P_{inet} και του η_m . Η ισχύς τριβών (P_f οριζόμενη από την $fmer$) αυξάνει με το τετράγωνο της ταχύτητας του εμβόλου, διότι $fmer \sim \bar{U}_p$ (ιδε κεφάλαιο 6) και $P_f \sim fmer \cdot \bar{U}_p \sim \bar{U}_p^2$ (κατ' αναλογία της έκφρασης της εξ. 10.3). Επιπλέον $P_b \sim bmer \cdot \bar{U}_p \sim (imer_{net} - fmer) \bar{U}_p$ και $P_b \sim imer_{net} \cdot \bar{U}_p - \bar{U}_p^2$. Επομένως ακόμη και όταν αυξάνεται η P_{inet} (που συνδέεται με την $imer_{net}$) υπάρχει ένα \bar{U}_p (δηλαδή κάποιο όριο στροφών) πέραν του οποίου η P_b ελαττώνεται λόγω υπέρμετρων μηχανικών απωλειών και η καμπύλη $P_b = f(\bar{U}_p)$ επιδεικνύει κάπου ένα μέγιστο, σχήμα 10.2. Από την άλλη μεριά η μέγιστη ροπή στρέψης στις χαμηλές στροφές μειώνεται λόγω απωλειών θερμότητας και στις υψηλότερες στροφές λόγω απωλειών άντλησης φρέσκου μίγματος, σχήμα 10.2.

Ο επιλεγόμενος λόγος συμπίεσης για βενζινομηχανές SI είναι συνήθως μικρότερος του βέλτιστου για την αποφυγή knock. Για μηχανές Diesel έμμεσης έγχυσης (IDI-CI) ο επιλεγόμενος λόγος συμπίεσης είναι μεγαλύτερος του βέλτιστου, για ευκολότερο ξεκίνημα της κρύας μηχανής, λόγω μεγαλύτερων απωλειών θερμότητας σ' αυτήν την περίπτωση στον προθάλαμο.

10.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΠΙΕΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Εν γένει οι μηχανές και ιδιαίτερα αυτές των αεροσκαφών σχεδιάζονται για να λειτουργούν σε μεγάλο εύρος συνθηκών περιβάλλοντος. Με σταθερή απόδοση πέδησης η_b και παίρνοντας το

λόγο καυσίμου-αέρα από την εξίσωση 10.5 ((Ferguson, 1986), έχουμε

$$b_{mep} \sim e_v \rho_i \approx D_r \rho_w \quad (10.8)$$

Είναι επίσης γνωστό από εμπειρικούς συσχετισμούς ότι για μηχανή εργαζόμενη ανευ φορτίου ισχύει $D_r \sim T_\infty^2$ και συνεπώς μπορούμε να γράψουμε

$$\frac{(b_{mep})_v}{(b_{mep})_0} = \frac{P_a}{P_o} \sqrt{\frac{T_o}{T_a}} \quad (10.9)$$

όπου οι υποδείκτες v και o αναφέρονται σε συνθήκες υψομέτρου και επιπέδου θαλάσσης αντίστοιχα. Από αυτή τη συσχέτιση φαίνεται ότι η απόδοση λειτουργίας διαφόρων μηχανών αεροσκαφών με αύξηση του υψομέτρου μειώνεται.

10.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΙΣΜΟΥ ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (ΠΡΟΠΟΡΕΙΑ ΣΠΙΝΘΗΡΑ)

Για μηχανές SI ομοιογενούς μίγματος η σημαντική παράμετρος είναι ο χρονισμός σπινθήρα που σε σχέση με το ANΣ επηρεάζει τον ρυθμό αύξησης της πίεσης και κατά συνέπεια την i_{mep} και τη ισχύ της μηχανής, P_b , (Khovak (1976), Judge (1972), Ρακόπουλος (1994), Stone (1985)).

Το σχήμα 10.4 δείχνει την επίδραση διαφορετικών χρονισμών σπινθήρα (προπορεία πριν το ANΣ) επί του ρυθμού αύξησης της πίεσης b_{mep} για μηχανή εργαζόμενη υπο πλήρες φορτίο με σταθερό λόγο καυσίμου/αέρα και στροφές. Γενικά επιδιώκεται έναυση προ του ANΣ με γωνία καύσης μεταξύ 40° και 55° ανάλογα με την μηχανή. Εάν η καύση ξεκινήσει πολύ νωρίς τότε έχουμε απώλεια έργου λόγω απώθησης του επερχόμενου εμβόλου (κατά την συμπίεση) και εάν ξεκινήσει πολύ αργά η επιτυγχανόμενη μέγιστη πίεση μειώνεται. Ο βέλτιστος χρονισμός που δίδει την Μέγιστη Ροπή Πέδησης (ΜΡΠ) η Maximum Brake Torque (MBT), επιτυγχάνεται κάπου ανάμεσα στις δύο αυτές καταστάσεις, π.χ. σχήμα 10.5 και μια τέτοια ρύθμιση έχουν όλες οι σύγχρονες μηχανές.

Το σχήμα 10.5 μας δείχνει πόσο επίπεδη είναι η καμπύλη της b_{mep} στην περιοχή του μέγιστου. Επίσης είναι γνωστό ότι οι εκπομπές NO_x είναι πολύ ευαίσθητες στις μεταβολές του χρονισμού του σπινθήρα. Εμφανώς μια μικρή καθυστέρηση χρονισμού π.χ. 5

degrees από το σημείο της μέγιστης bmer δεν επιβαρύνει έντονα την απόδοση ισχύος. Μπορεί όμως να ελαττώσει σημαντικότερα τις εκπομπές NO_x. Έχει επίσης ευρεθεί ότι η καθυστέρηση χρονισμού (retarded timing) ελαττώνει κάπως και τις απαιτήσεις της μηχανής σε οκτάνια. Αν και η αποδοχή της καθυστέρησης χρονισμού MBT είναι ευρεία, δεν είναι και επακριβώς καθορισμένο το ποσοστό καθυστέρησης από το σημείο της μέγιστης bmer. Ένας τρόπος καθορισμού του χρονισμού MBT είναι "καθυστέρηση σπινθήρα 4 degrees από τη γωνία που δίνει μέγιστη bmer". Το σχήμα 10.6 δείχνει την επίδραση των στροφών της μηχανής επί της Μέγιστης Ροπής Πέδησης (ΜΡΠ) διατηρώντας σταθερό τον χρονισμό του σπινθηριστή.

Στις μηχανές CI η σημαντικότερη παράμετρος είναι ο χρονισμός έγχυσης καυσίμου που επηρεάζει σημαντικά και την καθυστέρηση εναυσης. Υπάρχουν βέβαια ομοιότητες στους δύο χρονισμούς (CI και SI). Παρότι και εδώ οι bmer και bsfc είναι σχετικά ανεπηρέαστες από μεταβολές του χρονισμού κοντά στο μέγιστο της καμπύλης $bmer=f(\text{προπορείας})$, η καθυστέρηση έγχυσης βελτιώνει κάπως λιγότερο τώρα, τις εκπομπές NO_x, αλλά συχνά αυξάνεται μαζί και η εκπομπή καπνού. Στο σχήμα 10.7 παρίστανται γραφικά η επίδραση διαφορετικών χρονισμών έγχυσης επί της απελευθερούμενης θερμότητας. Εν γένει φαίνεται ότι είναι πιο δύσκολο να γενικοποιήσουμε για τις μηχανές CI όπως μπορέσαμε να γενικοποιήσουμε διάφορα συμπεράσματα για τις μηχανές SI. Αυτό θα έπρεπε να αναμένεται γιατί οι μηχανές Diesel έχουν περισσότερους βαθμούς ελευθερίας στο σχεδιασμό τους.

10.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Μερικοί αρχικοί ορισμοί που αφορούν τη λειτουργία του κινητήρα είναι (Ρακόπουλος (1994)):

- απόλυτη μέγιστη ισχύς: η μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδώσει η μηχανή στο επίπεδο θαλάσσης (συνθήκες περιβάλλοντος), χωρίς περιορισμούς των στροφών, του λόγου αέρα-καυσίμου και της ρύθμισης του εξαεριστή
- μέγιστη ισχύς: η μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδώσει η μηχανή κατά τη λειτουργία της
- κανονική (rated) ισχύς: η μέγιστη ισχύς που εγγυάται ο

κατασκευαστής ότι μπορεί να αποδώσει η μηχανή υπό συνεχή λειτουργία

- κανονική ταχύτητα (rated speed): οι στροφές στην κανονική ισχύ

Η μέτρηση της λειτουργικής απόδοσης των μηχανών εσωτερικής καύσης γίνεται με πειραματικές δοκιμές, μέσω ειδικών οργάνων (π.χ. δυναμομέτρων) κάτω από διάφορες συνθήκες λειτουργίας της μηχανής. Γίνονται δύο κυρίως πειραματικές δοκιμές:

- δοκιμές με μεταβλητές στροφές (μηχανές οχημάτων, πλοίων)
- δοκιμές με σταθερές στροφές (στατικές μηχανές)

Μετρώνται δε η ροπή και η ισχύς της μηχανής, η κατανάλωση καυσίμου και αέρα, και τα διαγράμματα P-V.

Οι μηχανές οχημάτων αναμένεται να λειτουργούν ικανοποιητικά σε ένα μεγάλο φάσμα ταχυτήτων οχήματος και φορτίων μηχανής. Τα χαρακτηριστικά του οχήματος, π.χ. εξ. 10.1, όπως μετωπική επιφάνεια, συντελεστής αεροδυναμικής αντίστασης, λόγος βάρους κλπ, μαζί με ένα κύκλο οδήγησης, π.χ. $U_{\text{οχήματος}} = \Sigma(\text{χρόνου})$, μπορεί να καθορίσουν τη ροπή και την ταχύτητα της μηχανής συναρτήσει του χρόνου. Η κατανάλωση καυσίμου του οχήματος κατά ένα πλήρη κύκλο τότε είναι:

$$\Delta m_f = \int_0^{\Delta t} \tilde{m}_f dt = \frac{A_p \Delta t}{4} \int_0^{\Delta t} bsfc \cdot bmep \cdot \bar{U}_p dt \quad (10.10)$$

όπου για δίχρονες μηχανές ο παράγων 4 αντικαθίσταται με 2. Για την ολοκλήρωση χρειαζόμαστε τα bsfc, bmep και \bar{U}_p από τον κύκλο οδήγησης και τα χαρακτηριστικά της μηχανής. Η bsfc μπορεί να υπολογιστεί για κάθε φορτίο και ταχύτητα, δια λειτουργίας της μηχανής σε ένα δυναμόμετρο, και μέτρησης της κατανάλωσης υπό σταθερή λειτουργία. Τα δεδομένα που συλλέγονται παρουσιάζονται συνήθως όπως στο σχήμα 10.8. Το διάγραμμα παρουσιάζει καμπύλες σταθερής κατανάλωσης καυσίμου, συναρτήσει του φορτίου και των στροφών της μηχανής, και λέγεται χάρτης ή διάγραμμα λειτουργίας της μηχανής. Περιέχει τις αναγκαίες πληροφορίες για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου από τη μηχανή, σύμφωνα με την εξίσωση 10.10, δεδομένου του κύκλου οδήγησης, δηλαδή του φορτίου και της ταχύτητας συναρτήσει του χρόνου.

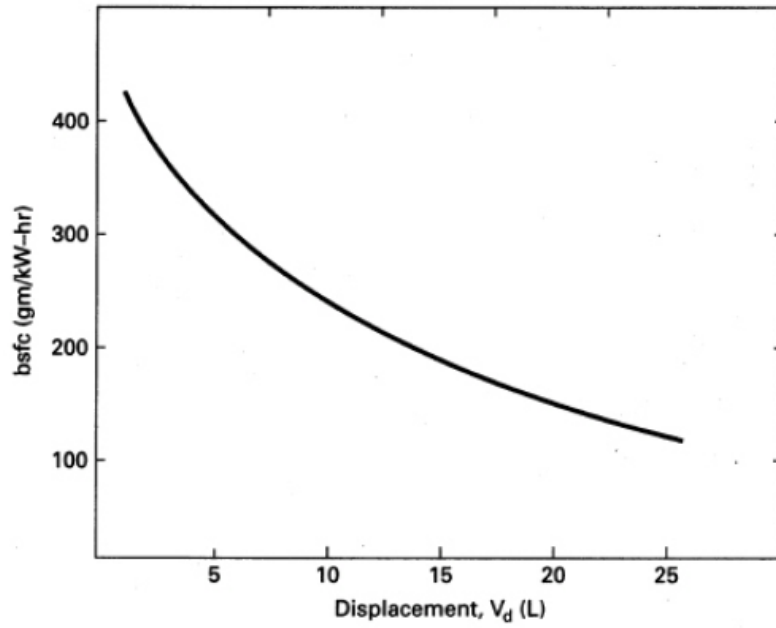
Το επάνω τμήμα αυτού του διαγράμματος είναι η καμπύλη

λειτουργίας υπό πλήρες φορτίο (WOT). Το σχήμα του αντανakλά τις μεταβολές της ογκομετρικής απόδοσης με την ταχύτητα, αν και μικρές μεταβολές στο λόγο καυσίμου-αέρα και στην πυκνότητα του αέρα εισόδου παίζουν μικρό ρόλο. Επίσης φαίνεται ότι η bsfc είναι ελάχιστη στο 60% των μέγιστων bmer και RPM. Ξεκινώντας από το ελάχιστο αυτό, εάν αυξήσουμε τα RPM, η bsfc αυξάνεται λόγω αύξησης της fmer. Εάν τώρα ελαττώσουμε τα RPM η bsfc αυξάνει λόγω αύξησης των απωλειών θερμότητας. Εάν αυξήσουμε το φορτίο, η bsfc αυξάνει λόγω αύξησης της πλουσιότητας του μίγματος πέραν του στοιχειομετρικού. Εάν ελαττώσουμε το φορτίο, η bsfc αυξάνει διότι οι τριβές (fmer) αποτελούν μια μεγαλύτερη αναλογία του ενδεικνυμένου έργου. Τα διαγράμματα λειτουργίας δε διαφέρουν και πολύ από μηχανή σε μηχανή.

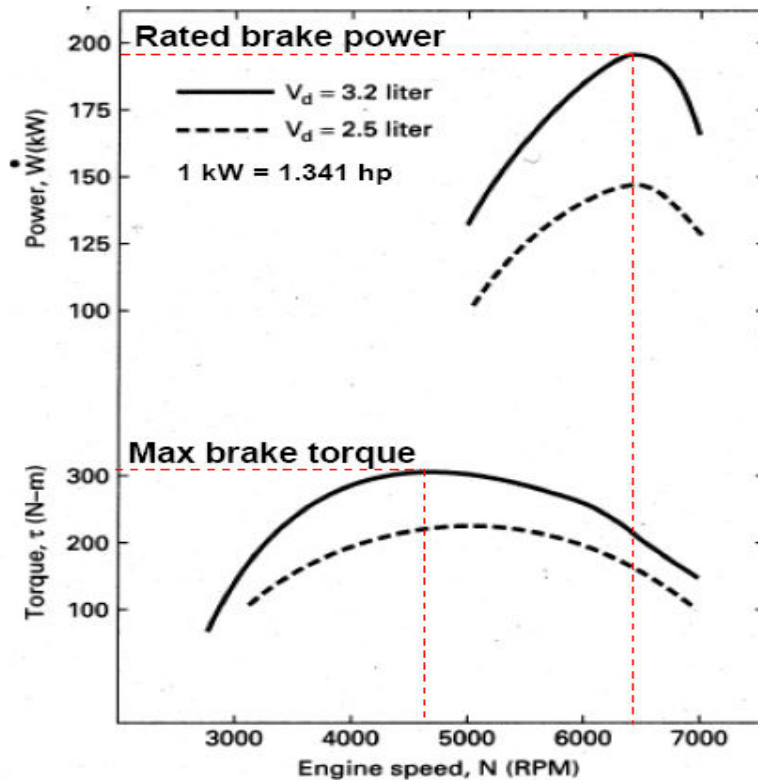
Τα πλεονεκτήματα της έγχυσης σε μηχανές Diesel έχουν συζητηθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, αλλά και σε αυτή την περίπτωση η ελάχιστη bsfc εμφανίζεται στα αντίστοιχα διαγράμματα λειτουργίας κοντά στο 60%. Αποτελέσματα για μια μηχανή CI άμεσου εγχύσεως με στρωμάτωση δίνονται στο σχήμα 10.9. Σε ομοιογενούς πλήρωσης μηχανή το φορτίο αυξάνει με σύγχρονη αύξηση του λόγου καυσίμου-αέρα και του λόγου παροχέτευσης. Σε μηχανές όπου το καύσιμο εγχύεται κατά τη στιγμή που αρχίζει η καύση το φορτίο αυξάνεται μόνο με αύξηση του λόγου καυσίμου-αέρα και, καθώς ο αέρας παραμένει σταθερός, ο λόγος παροχέτευσης παραμένει σταθερός. Επιπλέον επειδή και η ροπή και η bmer εξαρτώνται από το γινόμενο των λόγων καυσίμου-αέρα και παροχέτευσης, όταν οι δύο αυτές μεταβλητές αυξάνονται συγχρόνως υπάρχει μεγαλύτερη μεταβολή στη ροπή. Αυτός είναι ένας λόγος που το σημείο ελάχιστης bsfc μετακινήθηκε προς τα επάνω. Ένας άλλος λόγος συνδέεται με το γεγονός ότι η ισχύς στις μηχανές Diesel περιορίζεται από την εκπομπή καπνού.

Σε ομοιογενούς πλήρωσης μηχανές η ελάχιστη κατανάλωση εμφανίζεται σε $\Phi=1.1$ περίπου. Στις μηχανές Diesel εμφανίζεται σε μικρότερο Φ λόγω εκπομπής καπνού, στο $\Phi=1.0$. Εάν Φ_m είναι ο σχετικός λόγος καυσίμου-αέρα όπου η κατανάλωση είναι ελάχιστη τότε σε $\Phi_s=\Phi_m+\Delta\Phi$ ο κατασκευαστής θεωρεί ότι η μηχανή εκπέμπει μη ανεκτό ποσό καπνού και ρυθμίζει το σύστημα έγχυσης να λειτουργεί έτσι ώστε $\Phi<\Phi_s$ σε όλο το εύρος λειτουργίας. Το $\Delta\Phi$ καθορίζεται

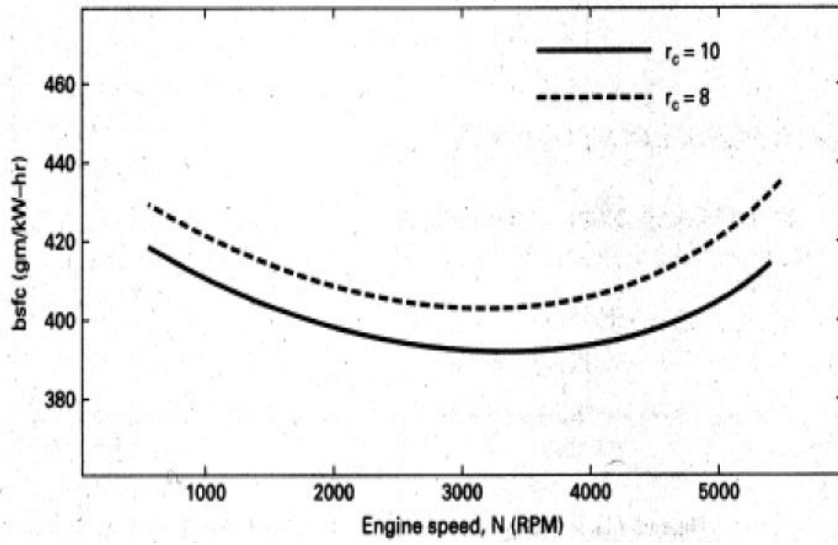
συνήθως στο 5-10% του Φ_m . Στις ομοιογενούς πλήρωσης μηχανές το μίγμα εμπλουτίζεται κατά 10-20% πέραν του στοιχειομετρικού.



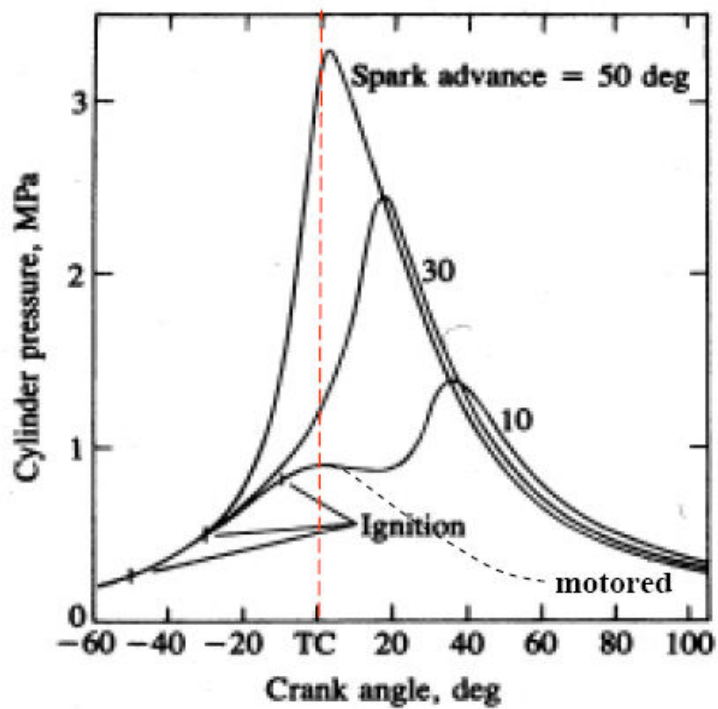
Σχήμα 10.1 Ειδική κατανάλωση καυσίμου πέδησης, $bsfc$, συναρτήσει του μεγέθους της μηχανής, SAE



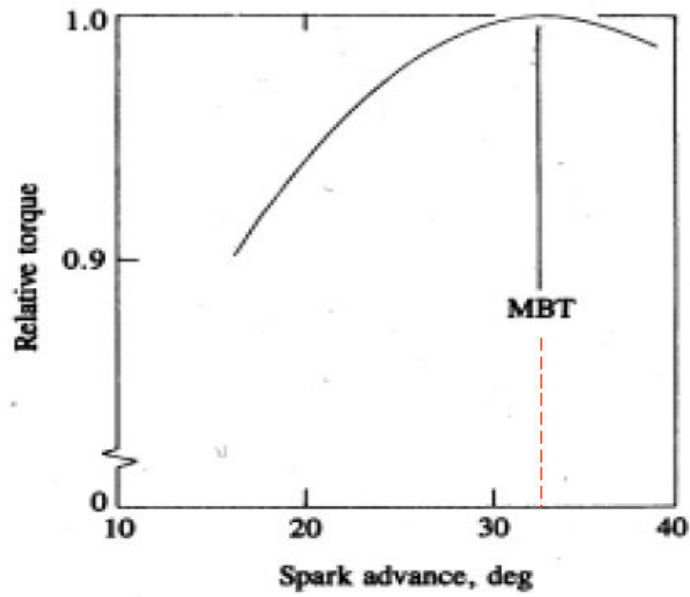
Σχήμα 10.2 Επίδραση των στροφών της μηχανής επί της ισχύος πέδησης (Rated Brake Power) και της μέγιστης ροπής πέδησης (Max Brake Torque), SAE



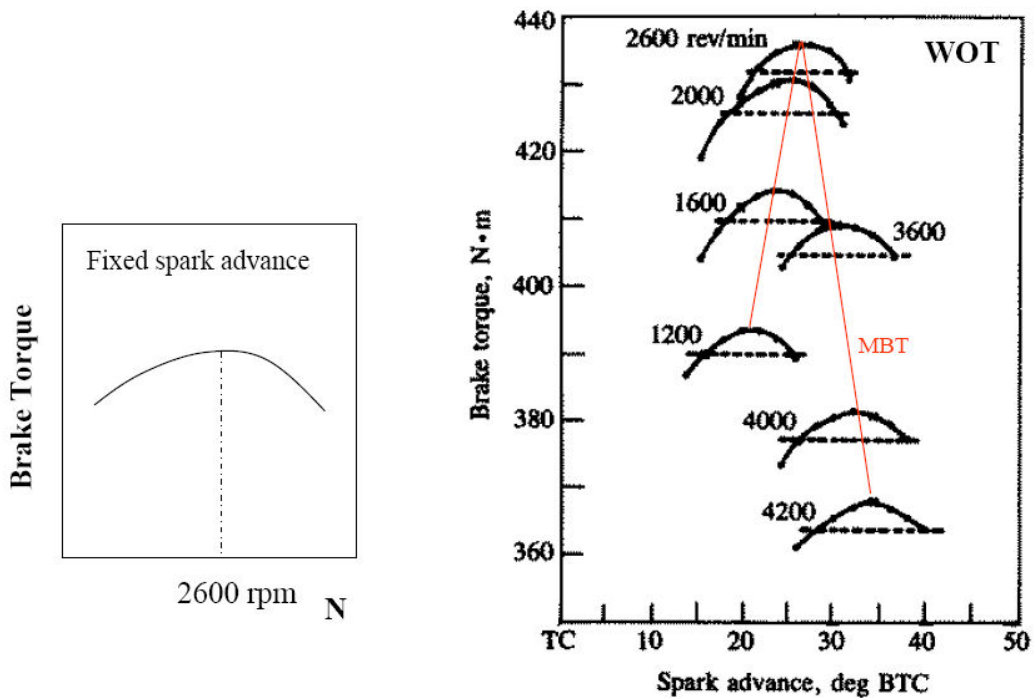
Σχήμα 10.3 Επίδραση των στροφών της μηχανής επί της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου πέδησης



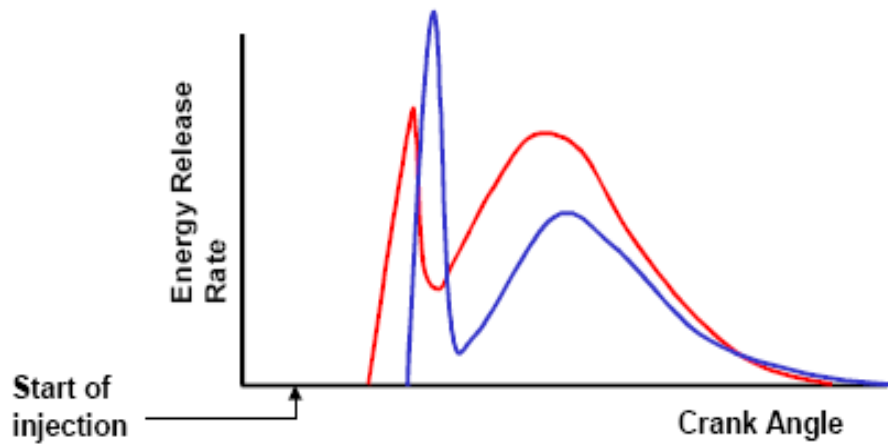
Σχήμα 10.4 Επίδραση του χρονισμού του σπινθηριστή επί του ρυθμού αύξησης της πίεσης



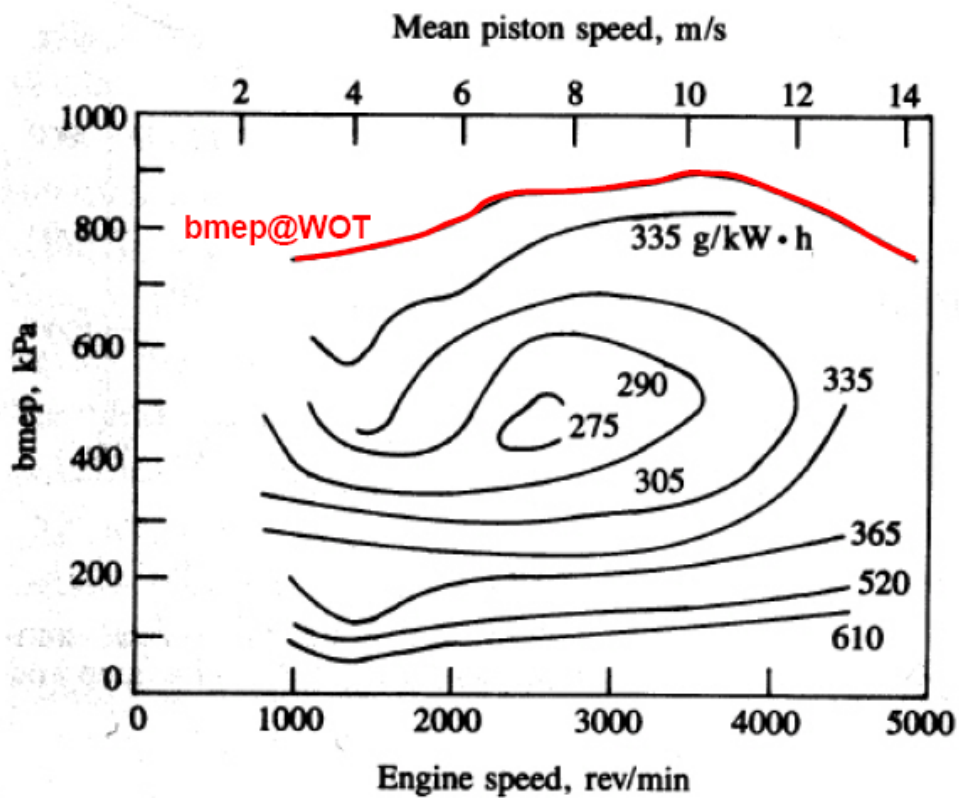
Σχήμα 10.5 Επίδραση του χρονισμού του σπινθηριστή επί της καμπύλης ισχύος bmer, SAE



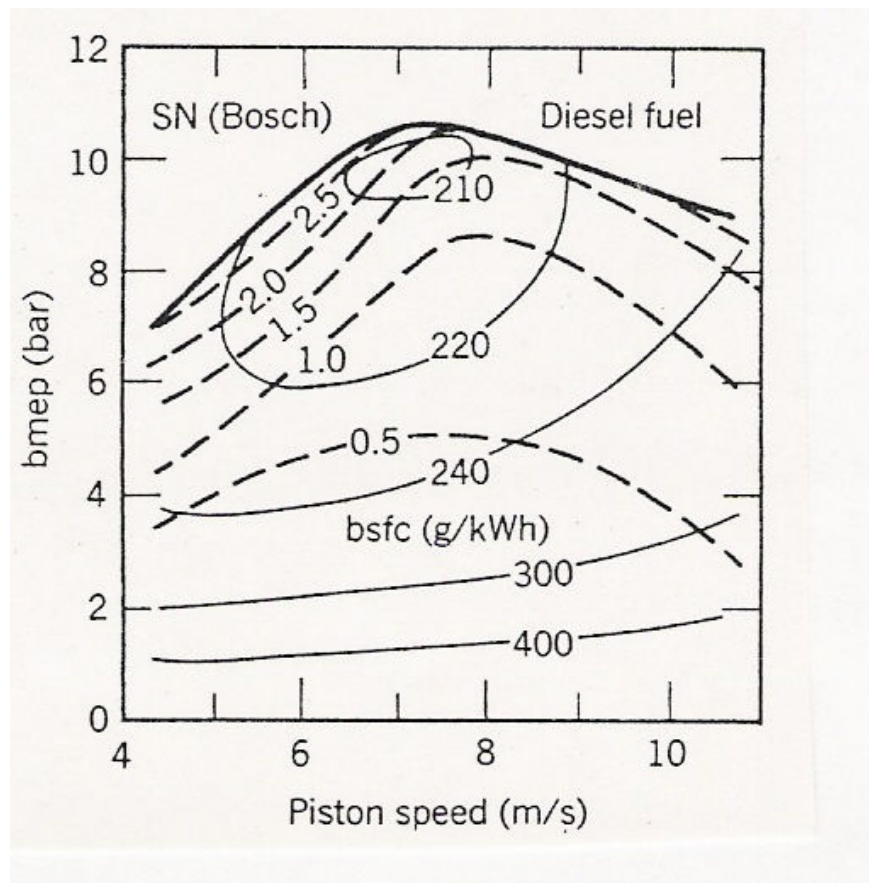
Σχήμα 10.6 Επίδραση των στροφών της μηχανής επί της Μέγιστης Ροπής Πέδησης (MBT)



Σχήμα 10.7 Επίδραση του χρονισμού έγχυσης επί της απελευθερούμενης ενέργειας μηχανής Diesel



Σχήμα 10.8 Διάγραμμα λειτουργίας τετράχρονης μηχανής SI (Ferguson, 1986)



Σχήμα 10.9 Διάγραμμα λειτουργίας και εκπομπών μηχανής DI-CI με στρωμάτωση και στροβιλοπλήρωση, (Ferguson, 1986)