

ΠΘ/ΤΜΜΒ/ΕΘΘΜ - ΜΜ802 Γραπτή Δοκιμασία 03.09.07 ώρα 09:00-11:30

Επισυνάπτεται διάγραμμα με ισοϋψείς ειδικής κατανάλωσης καυσίμου [g/kWh] στο πεδίο λειτουργίας του 4-κύλινδρου στροβιλοϋπερπληρούμενου κινητήρα Diesel απ' ευθείας έγχυσης ECOTEC 1.9 CDTI, με 4 βαλβίδες ανά κύλινδρο (επιβατηγό αυτοκίνητο Opel Vectra 1.9 CDTI). Οι στροφές κινητήρα δίνονται σε [rpm], η μέση πραγματική πίεση σε [bar].

Δίδονται επιπλέον τα παρακάτω δεδομένα για τον κινητήρα και το όχημα:

Διάμετρος x Διαδρομή = 82.0 x 90.4 mm

Μήκος διωστήρα: 145 mm

Διαδρομή βαλβίδων εισαγωγής: 10 mm

Διαδρομή βαλβίδων εξαγωγής: 10 mm

$C_i=0.33$ (μέσος συντελεστής ροής μέσα από τη βαλβίδα εισαγωγής)

Τελική σχέση μετάδοσης στο διαφορικό: 3.65:1, κιβώτιο ταχυτήτων 5 σχέσεων, ανώτερη σχέση μετάδοσης ($5^{\text{η}}$ ταχύτητα) 0.72:1, λάστιχα 195/65 R15

μετωπική επιφάνεια αυτοκινήτου $A=2.0 \text{ m}^2$

αεροδυναμικός συντελεστής αντιστάσεων $C_D=0.27$

συντελεστής τριβής κυλίσεως $C_R=0.012$

συνολικό βάρος οχήματος με τον προβλεπόμενο φόρτο: 1920 kg

καύσιμο Diesel κίνησης με κατώτερη θερμογόνο δύναμη $H_u=43 \text{ MJ/kg}$, $\rho=0.825 \text{ kg/l}$

Να υποθέσετε θερμοκρασία αέρα στην πολλαπλή εισαγωγής (μετά τον ενδιάμεσο ψύκτη) 55°C . Η πίεση στην πολλαπλή εισαγωγής προφανώς ποικίλλει ανάλογα με το σημείο λειτουργίας.

Εξάρτηση τριβών κινητήρα από μέση ταχύτητα εμβόλου: $f_{\text{μερ}} [\text{bar}] = 0.4 + 0.14 * S_p$

Υπενθυμίζουμε τη σχέση για το Mach Index:

$$Z = \frac{\bar{V}_p}{\alpha} \left(\frac{b}{D} \right)^2 \frac{1}{C_i}$$

Όπου C_i η μέση τιμή του συντελεστή ροής του αέρα μέσα από τη βαλβίδα εισαγωγής.

1. Να υπολογίσετε τη μέγιστη ισχύ του κινητήρα και τη μέγιστη ροπή του, στις αντίστοιχες στροφές, ή περιοχές αριθμού στροφών όπου αυτές συναντώνται. Να σχολιάσετε τα αποτελέσματα. Να υπολογίσετε το περιθώριο επιτάχυνσης όταν το όχημα κινείται με την $4^{\text{η}}$ ταχύτητα στα 100 km/h επί οριζοντίου δρόμου.

Λύση:

Ο κυβισμός προκύπτει ίσος με $V_d=1.910 \text{ dm}^3$

Μέγιστη ισχύς στο σημείο 4000 rpm – 11.7 bar,

$$P = 2\pi NT = 2\pi N \frac{mep V_d}{4\pi} = \frac{4000}{120} 11.7 * 10^5 * 1.910 * 10^{-3} = 74.5 \text{ kW}$$

Η ίδια μέγιστη ισχύς επιτυγχάνεται από τις 3250 – 4250 rpm

Μέγιστη ροπή στο σημείο 2500 rpm – 15 bar

$$T = \frac{mep V_d}{4\pi} = \frac{15}{4\pi} 10^5 1.910 * 10^{-3} = 228 \text{ Nm}$$

Η ίδια μέγιστη ροπή επιτυγχάνεται στην περιοχή από 1900 – 2250 rpm

2. Να εκτιμήσετε τη διάμετρο των 2 βαλβίδων εισαγωγής κάθε κυλίνδρου, έτσι ώστε ο βαθμός πλήρωσης να μην υποβαθμίζεται κάτω από τη βέλτιστη τιμή 0.9, παρά μόνον πάνω από τις 4,000 rpm. Να υποθέσετε ευθύγραμμη προσέγγιση για την εξάρτηση από το Z: $\eta_v=0.9$ για $Z<0.5$, $\eta_v=(1.1 - 0.4 Z)$ για $Z>0.5$

Λύση:

$$Z = \frac{\bar{V}_p}{\alpha} \left(\frac{b}{D} \right)^2 \frac{1}{C_i} = \frac{12.05}{343} \left(\frac{0.082}{D} \right)^2 \frac{1}{0.33}$$

Οπότε το Z προκύπτει σε συνάρτηση με τη μέση ταχύτητα εμβόλου και τη διάμετρο των βαλβίδων, για το συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας:

- (4000 rpm – 11.7 bar), $S_p=12.05 \text{ m/s}$, $Z=7.16 \text{ E-04/D}^2$

Οπότε για να έχουμε $Z=0.5$ με 1 βαλβίδα εισαγωγής, θα προέκυπτε $D_2=1.43 \cdot 10^{-3}$, ή για 2 βαλβίδες $2D^2=1.43 \cdot 10^{-3}$ προκύπτει $D=0.027$ m η διάμετρος κάθε μιάς από τις 2 βαλβίδες εισαγωγής.

3. Με βάση εκτίμηση του **ελάχιστου εφικτού λόγου αέρα λ**, να υπολογίσετε την πίεση στην πολλαπλή εισαγωγής (πίεση υπερπλήρωσης), καθώς και το ενεργειακό ισοζύγιο του κινητήρα στα παρακάτω σημεία λειτουργίας:
- (1000 rpm – 7 bar), $t_{ex}=255^\circ\text{C}$
 - (2000 rpm – 15 bar), $t_{ex}=512^\circ\text{C}$
 - (3500 rpm – 13.2 bar), $t_{ex}=555^\circ\text{C}$
 - (4000 rpm – 11.7 bar), $t_{ex}=598^\circ\text{C}$

Λύση:

Εντοπίζουμε τα σημεία λειτουργίας στο διάγραμμα ειδικής κατανάλωσης καυσίμου, και βρίσκουμε τις ισοϋψείς ειδικής κατανάλωσης που περνούν από τα αντίστοιχα σημεία. Υπολογίζουμε την ισχύ του κινητήρα σε κάθε σημείο, με βάση τη σχέση:

$$P = 2\pi NT = 2\pi N \frac{mep V_d}{4\pi}$$

Με βάση την ισχύ και την ειδική κατανάλωση καυσίμου υπολογίζουμε την παροχή μάζας καυσίμου που απαιτείται για να δώσει τη συγκεκριμένη ισχύ:

$$\dot{m}_f = P \text{ sfc}$$

Έτσι προκύπτει, με βάση την κατώτερη θερμογόνο δύναμη $H_u=43$ MJ/kg και η συνολική θερμική ενέργεια που εκλύεται από την καύση στο θάλαμο καύσης, υποθέτοντας τέλεια καύση του πετρελαίου.

Όσον αφορά τις τριβές, αυτές εκτιμώνται από τη σχέση που δόθηκε στην εκφώνηση για τη μέση πίεση τριβών συναρτήσει της μέσης ταχύτητας εμβόλου.

Π.χ., η μέση ταχύτητα εμβόλου για τις 4000 rpm, προκύπτει:

$$\bar{S}_p = 2 L N = 2 * 0.0904 * \frac{4000}{60} = 12.05 \text{ m/s}$$

$$\text{οπότε: } fmep = 0.5 + 0.15 * 12.05 = 2.3 \text{ bar}$$

και από τη σχέση (2.19) προκύπτει:

$$P_{friction} = \frac{fmep V_d N}{n_R}$$

Όσον αφορά την ισχύ που πηγαίνει στα καυσαέρια, θα πρέπει να υπολογίσουμε πρώτα την παροχή μάζας των καυσαερίων: Εδώ θα πρέπει να εκτιμήσουμε την παροχή μάζας του αέρα εισαγωγής, η οποία, με βαθμό πλήρωσης 0.9 (βλ. παρακάτω), εκτιμάται μόνον εφόσον γνωρίζουμε την πυκνότητα του αέρα εισαγωγής.

$$\dot{m}_a = \eta_v V_d \frac{N}{120} \rho_a$$

Όμως η πυκνότητα του αέρα εισαγωγής είναι άγνωστη, δεδομένου ότι ο κινητήρας είναι υπερπληρούμενος και η πίεση υπερπλήρωσης δεν είναι γνωστή σε κανένα σημείο λειτουργίας.

Μπορεί όμως να εκτιμηθεί η παροχή μάζας του αέρα εισαγωγής στην περιβάλλουσα (καμπύλη μέγιστης ροπής του κινητήρα), όπου εν γένει βρίσκονται τα συγκεκριμένα σημεία, εάν δεχτούμε ότι ο κινητήρας εργάζεται στο όριο του καπνού, δηλαδή σε λόγο αέρα της τάξης του 1.2

Τέλος, οι απώλειες ψύξης του κινητήρα σε κάθε σημείο προκύπτουν αφαιρώντας όλα τα υπόλοιπα τμήματα του ισοζυγίου ενέργειας από την θερμική ενέργεια του καυσίμου. Με βάση τα παραπάνω, υπολογίζονται τα δεδομένα του ενεργειακού ισοζυγίου όπως συνοψίζεται στον παρακάτω Πίνακα (copy – paste από MS Excel):

rpm	1000	2000	3500	4000
mep	7	15	13.2	11.7
texhaust	255	512	555	598
bsfc	235	197	218	232
P	11142	47750	73535	74490
Pfriction	1308	3959	10454	13290
Qex	4042	29154	53857	62558
Qcooling	14783	31495	53632	56082
Qfuel	31274	112358	191477	206420
mf[kg/s]	0.0007	0.0026	0.0045	0.0048
ma[kg/s]	0.0125	0.0448	0.0764	0.0824
Sp	3.01	6.03	10.55	12.05
f _{mep}	0.82	1.24	1.88	2.09
P _{road}	74451			
km/h	52.78	190		

4. Να υπολογίσετε την τελική ταχύτητα του αυτοκινήτου καθώς και το σημείο λειτουργίας του κινητήρα στο οποίο αυτή επιτυγχάνεται.

Από τη σχέση (2.18) του οδηγού μαθήματος:

$$P_{road} = (C_R M_v g + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_v S_v^2) S_v$$

Είναι γνωστά τα C_R, M_v, C_D, A_v

Εάν υποθέσουμε ότι η τελική ταχύτητα επιτυγχάνεται στις 4250 rpm, δηλαδή στις μέγιστες στροφές που επιτυγχάνεται η μέγιστη ισχύς, τότε ισχύει, θεωρώντας συντελεστή απωλειών κιβωτίου – διαφορικού – τριβών τροχών ίσο με 0.8

$$P_{road} = (226 + 0.324 * S_v^2) S_v = 74.5 kW * 0.8$$

Οπότε επιλύοντας την εξίσωση προκύπτει η τελική ταχύτητα του οχήματος $S_v = 52.8 \text{ m/s}$ ή 190 km/h

Ελέγχουμε όμως σε ποιες στροφές του κινητήρα είναι εφικτή η ταχύτητα αυτή, με βάση τη σχέση μετάδοσης της 5^{ης} ταχύτητας:

$$S_v = \frac{N}{60} \frac{1}{3.65} \frac{1}{0.72} (15 * 0.0254 + 2 * 0.195 * 0.65) \cdot \pi = 52.8 \text{ m/s}$$

Επομένως προκύπτει $N = 4177 \text{ rpm}$, σημείο στο οποίο τέμνει η καμπύλη δρόμου της 5^{ης} ταχύτητας την καμπύλη μέγιστης ροπής (περιβάλλουσα) του κινητήρα.

5. Να χαράξετε την καμπύλη δρόμου του αυτοκινήτου, για την 5^η ταχύτητα (σχέση μετάδοσης 0.72:1) πάνω στο διάγραμμα ειδικής κατανάλωσης.

Λύση:

Για να χαράξουμε την καμπύλη αντιστάσεων δρόμου (road load), που είναι μία παραβολή στο πεδίο του κινητήρα, αρκεί να βρούμε ένα επιπλέον σημείο της καμπύλης, εκτός από αυτό που βρήκαμε πιο πάνω στις 4177 rpm, (πχ τις 1000 rpm, πάντα με την 5^η ταχύτητα). Για την συσχέτιση της ισχύος του κινητήρα με την ισχύ στις ρόδες, καλόν είναι να δεχτούμε τον προαναφερθέντα συντελεστή απωλειών από τον άξονα του κινητήρα έως τις ρόδες (0.8):

$$P_{4177} = 2\pi NT = 2\pi N \frac{mep V_d}{4\pi} = \frac{4177}{120} 11.2 * 10^5 1.910 * 10^{-3} = 74.5 \text{ kW}$$

Και αντίστοιχα, με βάση την ισχύ δρόμου P_{road} για τις 1000 rpm και 5^η ταχύτητα (45.5 km/h), προκύπτει από την παραπάνω σχέση η mep που αντιστοιχεί στις συγκεκριμένες στροφές, από την οποία επίσης διέρχεται η καμπύλη δρόμου της 5^{ης} ταχύτητας.

6. Να βρείτε την κατανάλωση καυσίμου του αυτοκινήτου σε l/100 km, όταν αυτό κινείται με ταχύτητα 120 km/h με την 4^η ταχύτητα, καθώς και όταν κινείται με την τελική του ταχύτητα με την 5^η ταχύτητα.

7. Είναι δυνατόν να αυξηθεί παραπέρα η ισχύς που αποδίδει ο κινητήρας και με ποιούς τρόπους και σε τι ποσοστό αντίστοιχα;

