

OCENA WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNYCH DOŁADOWANYCH SILNIKÓW ROLNICZYCH

Janusz Mysłowski, Jaromir Mysłowski

Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych Politechniki Szczecińskiej
70-310 Szczecin, Al. Piastów 19, tel. 0-91 449 48 11, e-mail Emilia.Kozinska@ps.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono podstawowe czynniki wpływające na eksploatację silników spalinowych przeznaczonych do napędu pojazdów trakcyjnych. Omówiono sposoby poprawy właściwości eksploatacyjnych tych jednostek napędowych. Na tle danych charakterystycznych współczesnych silników ciągnikowych wykonano analizę tych właściwości.

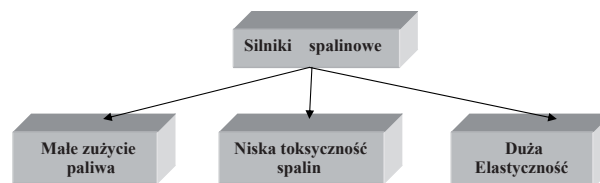
Słowa kluczowe: silnik, turbodoładowanie, zużycie paliwa.

WSTĘP

Wymagania stawiane współczesnym silnikom są często przeciwstawne, co widać wyraźnie, jeśli weźmie się pod uwagę stale rosnącą liczbę pojazdów samochodowych i utrudnienia w ruchu z tym związane, a z drugiej zaś strony konieczność ograniczania ilości zużywanego paliwa i wydalanych do otoczenia spalin. W odniesieniu do silników zarówno napędzających samochody osobowe i ciężarowe oraz ciągniki rolnicze sprowadza się to do uwzględnienia trzech najbardziej istotnych czynników (rys. 1):

- małego zużycia paliwa,
- niskiej toksyczności spalin,
- dobrych właściwości dynamicznych (elastyczność).

Spełnienie tych wymagań stawia przed konstruktorami znaczne trudności i wymaga znacznego wysiłku intelektualnego oraz finansowego na badania nowych rozwiązań oraz wdrożenie ich do produkcji.



Rys. 1. Wymagania eksploatacyjne stawiane silnikom spalinowym
Fig. 1 Exploitation requirements for combustion engines

W odniesieniu do pierwszego postulatu był on od dawna aktualny dla silników samochodów ciężarowych i ciągników rolniczych z uwagi na sposób eksploatacji tych pojazdów. Do napędu omawianych pojazdów zastosowano silniki o wtrysku bezpośrednim zużywające znacznie mniej paliwa niż silniki o wtrysku komorowym. Ówczesny stan techniki i technologii zapewniał ich należyte działanie przy prędkościach obrotowych nieprzekraczających 3000 1/min, przy których istniały dogodne warunki dla tworzenia mieszaniny palnej i spalania. Następnym etapem poprawy wskaźników eksploatacyjnych silników o wtrysku bezpośrednim było zastosowanie doładowania. Najczęściej jest to doładowanie turbosprężarkowe, które znacznie łatwiej było zastosować do silników ciągnikowych niż samochodowych, a szczególnie silników samochodowych przeznaczonych do napędu samochodów osobowych, gdzie wymagane prędkości obrotowe wynoszą od 4000 do 5000 1/min, co do niedawna było niemożliwe dla silników o wtrysku bezpośrednim, które też były bardziej nieprzyjemne dla otoczenia niż silniki o wtrysku komorowym, pracujące przy tych prędkościach obrotowych. Turbodoładowanie przez zwiększenie masy powietrza doprowadzonego do silnika przy znacznej jego turbulencji pozwala na lepsze przygotowanie mieszaniny palnej paliwa z powietrzem i tym samym lepszy przebieg spalania.

W dużym uproszczeniu można przyjąć, że małe zużycie paliwa będzie powodowało mniejszą toksyczność spalin omawianych silników i powiązanie tych dwóch postulatów jest naturalne.

W odniesieniu do trzeciego postulatu sprawa nie jest tak jednoznaczna. O ile duża elastyczność jest niezbędna w przypadku silników samochodów ciężarowych i osobowych, o tyle w odniesieniu do silników ciągnikowych odgrywa ona znacznie mniejszą rolę. W trakcie eksploatacji ciągnik nie musi permanentnie wyprzedzać innego pojazdu, co w warunkach drogowych jest jednym z warunków bezpiecznej jazdy. Ciągnik rolniczy musi wykonać jak największą pracę, jak najmniejszym kosztem (małe zużycie paliwa), i przy ocenie jego elastyczności ważna jest elastyczność momentu obrotowego, a nie elastyczność prędkości obrotowej. Znaczne podniesienie wartości elastyczności prędkości obrotowej, które powiększyło elastyczność całkowitą silników samochodowych, ma drugorzędne znaczenie w przypadku silników ciągnikowych.

PARAMETRY TURBODOŁADOWANYCH SILNIKÓW CIĄGNIKOWYCH

Dla przedstawienia elastyczności silników ciągnikowych o wtrysku bezpośrednim z turbodoładowaniem przedstawiono ich parametry w tab. 1. Opisano silniki takich firm ciągnikowych, jak: PREMIUM, CHAMPION, SAME DEUTZ-FAHR, AGROPLUS, AGROSTAR. Wyliczono wartości elastyczności momentu obrotowego e_m , elastyczności prędkości obrotowej e_n (rozpiętość prędkości obrotowej) oraz elastyczność całkowitą E , która jest ich iloczynem.

Pierwszy z członów iloczynu przedstawia rozpiętość (elastyczność) momentu obrotowego i zależy ona od przebiegu krzywej momentu obrotowego silnika. Przebieg ten zależy od wielu czynników takich jak: parametry charakterystyczne układu dolotowego, charakterystyka rozrządu, charakterystyka układu zasilania. Przez zmianę tych parametrów można wpływać na przebieg krzywej momentu obrotowego w kierunku pożądanym przez użytkownika, tak by silnik był dobrze przystosowany do wykonywanych zadań. Sposób realizacji poprawy elastyczności momentu obrotowego zależy od możliwości wykonawczych i analizy opłacalności danego rozwiązania w przypadku konkretnego silnika.

Jeśli chodzi o możliwości zmian drugiego członu iloczynu, są one ściśle związane ze zmianą pierwszego członu polegającą na przemieszczeniu położenia maksimum krzywej momentu obrotowego. Od położenia tego maksimum zależy rozpiętość prędkości obrotowej i przez wpływanie na nią można skutecznie sterować elastycznością silnika.

Średnia wartość elastyczności całkowitej dla opisywanych silników ciągnikowych wynosząca 2,142 nie jest imponująca w stosunku do elastyczności uzyskiwanej przez silniki samochodów ciężarowych o dużej ładowności równej 3,032 (IVECO Cursor -9).

Tab. 1. Elastyczność turbodoładowanych silników ciągnikowych
Tab. 1. Elasticity of turbocharging traction engines

Silnik	e_M	e_n	E
1000.4 WT2	1,284	1,786	2,293
1000.4 WT	1,309	1,562	2,045
1000.6 WT	1,156	1,286	1,486
1000.6 WTI	1,123	1,286	1,444
1000.4 AT2	1,300	1,786	2,322
1000.4 AT11	1,330	1,786	2,375
1000.6 ATI	1,460	1,470	2,146
1000.6 ATI*	1,470	1,470	2,161
1000.6 WTIR	1,475	1,470	2,168
BF 4M 1012EC	1,258	1,666	2,096
BF 6M 1013E	1,305	1,666	2,174
BF 6M 1013E	1,300	1,808	2,350
BF 6M 1013E*	1,300	1,808	2,350
BF 6M 1013EC	1,300	1,808	2,350
K4F- DT	1,268	1,875	2,377
Średnia	1,309	1,635	2,142

Niemniej jednak widać wyraźnie, że stosunek elastyczności momentu obrotowego do elastyczności prędkości obrotowej w silnikach ciągnikowych wynosi 0,80 i jest korzystniejszy niż w silnikach typu samochodowego, gdzie wynosi on 0,67. Świadczy to, że większe znaczenie przypisuje się momentowi obrotowemu niż rozpiętości prędkości obrotowej, co jest poprawne z punktu widzenia eksploatacji tych silników.

Jeśli chodzi o zużycie paliwa, problem ten najwcześniej został zauważony w odniesieniu do silników samochodów ciężarowych dużej ładowności, gdzie ekonomiczność przewozów ma podstawowe znaczenie. Do rozwiązania problemu poprawy ekonomiczności oraz zmniejszenia toksyczności w przypadku tych silników również konieczne było nowe podejście odbiegające od tradycyjnych rozwiązań. Jeśli chodzi o silniki samochodów ciężarowych, były one podatniejsze na spełnienie zaostrzonych wymogów już od lat i w ich konstrukcji dokonał się znaczący postęp wymuszony przez restrykcyjne przepisy z jednej strony oraz konieczność obniżenia kosztów związanych ze zużyciem paliwa z drugiej. Prosto rzecz ujmując, im mniejsze będzie zużycie paliwa przez silnik, tym mniejsza będzie globalna ilość toksycznych składników wydanych przez silnik do atmosfery. W ten sposób kluczowym problemem pozwalającym na spełnienie dwóch pierwszych postulatów jest obniżenie zużycia paliwa przez silnik.

Najogólniejszym wskaźnikiem ekonomiczności pracy silnika (ekonomiczności samochodu) jest zużycie paliwa mierzone w $\text{dm}^3/100 \text{ km}$. Jest to jednak wskaźnik mało precyzyjny, nieuwzględniający takich warunków eksploatacyjnych, jak: prędkość jazdy, jej długotrwałość, obciążenie, stan drogi i okres eksploatacji. Wskaźnik ten jest nieprzydatny dla silników ciągników rolniczych.

W odniesieniu do wszystkich silników istnieje wskaźnik bardziej dokładny – jednostkowe zużycie paliwa, który również czasem bywa podawany w opisach technicznych, szczególnie samochodów ciężarowych dużej ładowności. Jednostkowe zużycie paliwa wyrażane w g/kWh

(g/KMh) wskazuje, ile energii chemicznej zawartej w paliwie trzeba zużytkować dla wyprodukowania przez silnik jednej kilowatogodziny. Jest to o tyle korzystny wskaźnik, że nie zależy od objętości skokowej silnika (jego wielkości) oraz rodzaju stosowanego paliwa i dzięki niemu można porównywać różne rodzaje silników, przeznaczone do różnych celów, zasilane zarówno benzyną, jak i olejem napędowym, czy też paliwami pochodzenia roślinnego.

Wytwórnice ze względów reklamowych podają najczęściej wartość minimalnego jednostkowego zużycia paliwa lub rzadziej – jego wartość przy prędkości obrotowej odpowiadającej mocy znamionowej. Zarówno jedna, jak i druga wartość w ograniczonym stopniu charakteryzują silnik pod względem ekonomiczności, niemniej jednak są to już informacje znacznie bardziej interesujące niż poprzednie.

Niestety w odniesieniu do zużycia paliwa producenci są bardzo oszczędni w podawaniu danych co do jego przebiegu na charakterystyce zewnętrznej silnika, jak to ma miejsce z momentem obrotowym czy mocą silnika, nie mówiąc już o charakterystyce uniwersalnej (ogólnej). Dane takie pozwalałyby jednoznacznie ustalić, który z silników jest bardziej ekonomiczny, co w oczywisty sposób wpływałoby na możliwości marketingowe poszczególnych firm. Jedyną możliwością uzyskania tej informacji pozostaje zatem przeprowadzenie badań symulacyjnych z wykorzystaniem danych podawanych przez producentów.

Takim wymaganiom odpowiadają sześciocylindrowe silniki SAME serii 1000 -6ATI i 6WTIR o mocach 107,117 i 139 kW, i objętości skokowej 6000 cm³, różnej regulacji aparatury wtryskowej oraz doładowania.

Oceny jednostkowego zużycia paliwa badanych silników dokonano przy pomocy metodyki symulacyjnej opracowanej w KEPS Politechniki Szczecińskiej na podstawie wzorów Leidmanna [Minchejmer A.1962]. Znając wartość jednostkowego zużycia paliwa przy mocy znamionowej, wyznaczono przebieg jego wartości dla całego zakresu użytecznej prędkości obrotowej badanych silników, wykorzystując wzór:

$$g_x = g_e \left(\delta - \frac{n_x}{n_N} + \beta \frac{n_x^2}{n_N^2} \right), \quad (1)$$

gdzie: g_x – obliczana wartość jednostkowego zużycia paliwa,

g_{eN} – wartość jednostkowego zużycia paliwa odpowiadająca mocy znamionowej,

n_x – prędkość obrotowa odpowiadająca szukanej wartości zużycia paliwa,

n_N – znamionowa prędkość obrotowa silnika,

$\beta = 0,75$ i $\delta = 1,25$ – wartości współczynników dla silnika turbodoładowanego, zapewniające dokładność rezultatów 2,12 % [Mysłowski Jaromir 2005].

Tab. 2. Obliczenie wartości g_e $\beta = 0,75$ $\delta = 1,25$

Tab. 2. Calculation of the value $\beta = 0,75$ $\delta = 1,25$

n_x	n_N	g_e	n_x / n_N	$(n_x / n_N)^2$	g_x
1000	2350	224	0,43	0,18	214,0
1200	2350	224	0,51	0,26	209,5
1400	2350	224	0,59	0,35	206,6
1600	2350	224	0,68	0,46	205,0
1800	2350	224	0,76	0,58	207,2
2000	2350	224	0,85	0,72	210,6
2200	2350	224	0,93	0,86	216,2
2350	2350	224	1	1	224

Wartość jednostkowego zużycia paliwa przy mocy znamionowej dla badanych silników SAME wyznaczono jako średnia arytmetyczną z danych dostarczonych przez producenta i wyniosła ona 224 g/kWh. Następnie wyliczono wartości jednostkowego zużycia paliwa zgodnie z przyjętą procedurą, jak to przedstawiono w tab. 2 i na rys. 2.

Rys. 2. Porównanie wartości jednostkowego zużycia paliwa silników ciągnikowych ▲ i samochodowych (IVECO Cursor -9), z polami tolerancji wyników

Fig. 2. Comparison of unitary fuel consumption in traction and automobile engines (IVECO Cursor -9) with results tolerance fields

Jak widać z rys. 2, silniki ciągnikowe mają znacznie wyższe wartości jednostkowego zużycia paliwa w granicach 7-8% w całym zakresie prędkości obrotowych.

PODSUMOWANIE

Oczywiste jest to, że warunki pracy silników wykorzystywanych w rolnictwie są odmienne i nie tak korzystne, jak podczas długich przebiegów pojazdu przy względnie stałym obciążeniu, jak to ma miejsce w przypadku samochodów ciężarowych dużej ładowności poruszających się po autostradach.

Porównanie jednostkowego zużycia paliwa silników ciągnikowych z silnikami samochodów osobowych wypadłoby znacznie korzystniej. Silniki samochodów osobowych pracują przy stale zmieniających się obciążeniach i prędkościach obrotowych, co niekorzystnie wpływa na warunki przygotowania mieszaniny palnej i spalania. Powoduje to zarówno wzrost zużycia paliwa, jak i toksyczności spalin. Są to warunki eksploatacji zdecydowanie gorsze niż silników rolniczych, które pod tym względem plasują się po środku między samochodami osobowymi a ciężarowymi. Niemniej jednak widać wyraźny trend do stosowania silników o wtrysku bezpośrednim z turboładowaniem w przypadku napędów pojazdów rolniczych.

BIBLIOGRAFIA

- Minchejmer A. 1962: Badanie samochodów. WNT, Warszawa.
- Mysłowski Jaromir 2005: Ocena właściwości eksploatacyjnych silników wysokoprężnych na podstawie jednostkowego zużycia paliwa. Praca doktorska niepublikowana. Politechnika Szczecińska, Szczecin.

ESTIMATION OF FUEL CONSUMPTION IN TURBOCHARGING
AGRICULTURAL ENGINES

Summary. The paper presents an estimation of fuel consumption in a turbocharging engine with direct injection used in agricultural tractors. This type of engines is compared with engines from heavy load trucks.

Key words: diesel engine, turbocharging, fuel.