

ANALIZA PARAMETRÓW PRACY DWÓCH NOWOCZESNYCH SILNIKÓW TURBODOŁADOWANYCH

Michał Walczyna, Dariusz Materek, Jerzy Bieniek

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań silników z zapłonem samoczynnym, przeprowadzonych na hamowni inercyjnej. Badania wykazały, że silnik typu Y22DTR charakteryzuje się wyższą mocą oraz momentem obrotowym niż silnik typu AFN. Pomimo wyższego momentu obrotowego silnik Y22DTR posiada mniej korzystny zakres prędkości obrotowej wału korbowego, dla której moment obrotowy osiąga wartości zbliżone do maksymalnych. Uzyskane wyniki świadczą o tym, że układ korbowo-tłokowy silnika Y22DTR z uwagi na większy moment obrotowy i moc jest obciążony większymi siłami niż silnik AFN.

Słowa kluczowe: hamownia inercyjna, silniki spalinowe, moc silnika, moment obrotowy

Wstęp

W skutek szybkiego rozwoju techniki motoryzacyjnej, konstruktorzy silników spalinowych zaczęli dążyć do budowy silników, które charakteryzowałyby się dużą sprawnością, małymi wymiarami, małą masą oraz niską toksycznością spalin. Chcąc uzyskać silnik spalinowy o takich cechach należy również wziąć pod uwagę trwałość poszczególnych mechanizmów, które pod wpływem działających sił, momentów oraz wysokich temperatur narażone są na szybkie zużycie i zarazem uszkodzenie. W celu określenia zjawisk fizycznych jakie zachodzą wewnątrz silnika konieczne jest przeprowadzenie analizy kinematyczno-dynamicznej, która umożliwi dobór odpowiednich materiałów oraz przekrojów części poszczególnych mechanizmów.

Analiza kinematyczna ma na celu określenie parametrów ruchu układów mechanicznych, rozpatruje zagadnienia, które dotyczą wyznaczenia prędkości i przyspieszeń liniowych punktów oraz kątowych członów. Analiza dynamiczna rozpatruje zależności pomiędzy parametrami kinematycznymi, takimi jak przemieszczenie, prędkość i przyspieszenie, a masami członów wraz z działającymi na nie siłami [Adamczyk i in. 1978].

Najbardziej narażonym na działanie sił, momentów oraz wysokich temperatur, w silniku spalinowym jest układ korbowo-tłokowy. W przypadku tego mechanizmu możemy wyróżnić trzy rodzaje ruchu: ruch postępowo-zwrotny tłoka z pierścieniami i sworzniem tłokowym, ruch obrotowy wału korbowego oraz ruch złożony korbowodu biorącego udział w ruchu postępowo-zwrotnym oraz obrotowym [Kijewski 1997].

W celu podniesienia sprawności silnika spalinowego stosuje się doładowanie, które polega na zwiększeniu ilości ładunku w cylindrze poprzez wprowadzenie go pod zwięks-

szonym ciśnieniem i w stałej temperaturze, co powoduje zwiększenie jego gęstości, a tym samym masy w cylindrze. Obecnie najbardziej powszechnym doładowaniem jest doładowanie turbosprężarkowe, wykorzystujące spaliny do napędzania turbiny umieszczonej na wspólnym wale ze sprężarką, podającą do cylindrów powietrze pod zwiększonym ciśnieniem [Mysłowski 2006].

Cel badań

Celem pracy było wyznaczenie mocy i momentów obrotowych w dwóch nowoczesnych silnikach o zapłonie samoczynnym, doładowanych za pomocą turbosprężarek. Dodatkowym celem pracy było określenie ciśnienia doładowania oraz temperatury powietrza doładowanego w silniku AFN.

Przedmiot i metodyka badań

Przedmiotem badań były silniki czterosurowe o zapłonie samoczynnym z turbodoładowaniem o symbolu AFN i Y22DTR.

Producentem silnika AFN jest koncern produkujący samochody Audi, Volkswagen, Seat i Skoda. Silnik ten jest stosowany do napędu samochodów osobowych oraz małych dostawczych, jest również stosowany w rolnictwie do napędu małych kombajnów poletkowych.

Drugim obiektem badań był silnik czterosurowy o zapłonie samoczynnym z doładowaniem turbosprężarkowym o symbolu Y22DTR. Silnik ten jest stosowany do napędu samochodów osobowych marki Opel, którego producentem jest GM Corporation.

W tabeli 1 zestawiono dane techniczne badanych silników.

Tabela 1. Dane techniczne silników AFN i Y22DTR
Table 1. Specifications of the AFN and Y22DTR engines

Parametry silnika	Silnik	
	AFN	Y22DTR
Ilość cylindrów	4 / układ rzędowy	4 / układ rzędowy
Ilość zaworów na cylinder	2	4
Pojemność skokowa [cm ³]	1896	2171
Moc silnika [kW]	81	92
przy prędkości obrotowej [obr·min ⁻¹]	4150	4000
Moment obrotowy [Nm]	235	270
przy obrotach [obr·min ⁻¹]	1900	1500
Rodzaj wtrysku	bezpośredni	bezpośredni
Typ pompy wtryskowej	EDC/HDK VE	VP 44

Pomiar mocy i momentu obrotowego badanych jednostek napędowych przeprowadzono na urządzeniu hamowni inercyjnej. Pomiar inercyjny polega na rozpedzeniu pojazdu na hamowni do maksymalnej prędkości obrotowej silnika na wybranym biegu. Po osiągnięciu przez silnik maksymalnych obrotów następuje rozłączenie napędu i oczekiwanie aż koła

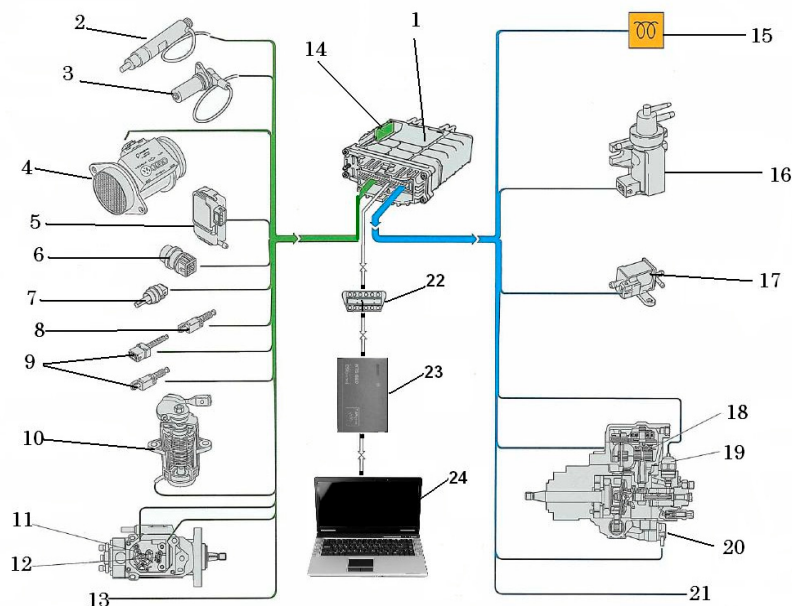
pojazdu zatrzymają się bez użycia hamulca. W przypadku takiego pomiaru obciążeniem silnika jest siła bezwładności rolek, opory toczenia kół oraz opory mechanizmu napędowego. Moc i moment obrotowy silnika są mierzone jako funkcje przyspieszenia pojazdu na rolkach w postaci mocy i momentu na kołach oraz jego zwalniania czyli mocy i momentu strat. Suma tych wartości przedstawia moc i moment obrotowy silnika. Główną zaletą tej metody jest krótki czas pełnego obciążenia silnika co sprawia, że pomiar inercyjny jest bezpieczny dla badanej jednostki napędowej. Ze względu na krótki czas pełnego obciążenia, który wynosi od 10 do 30 sekund, nie jest również konieczne stosowanie intensywnego chłodzenia, wystarczy zastosować wentylator. Hamownie inercyjne charakteryzują się większą dokładnością pomiaru niż hamownie obciążeniowe, ponieważ tensometr hamulca oraz ograniczenia sterowalności hamulca i jego termika obniżają dokładność pomiaru obciążeniowego. Hamownia inercyjna nie nadaje się do pomiarów silników doładowanych o bardzo dużych mocach, ponieważ takie silniki mogą wymagać dużego obciążenia w celu uzyskania odpowiednich parametrów doładowania. Metoda inercyjna nie może być stosowana dla pomiarów przy stałych obrotach silnika [Power4car (on-line). 2010]. Na rysunku 1 przedstawiono hamownię inercyjną oraz stanowisko pomiarowe. Do pomiaru ciśnienia i temperatury powietrza doładowanego zastosowano interfejs diagnostyczny połączony z komputerem klasy PC. Informacje w postaci sygnałów elektrycznych z czujników zamontowanych na silniku trafiają do komputera sterującego pracą silnika. Komputer na podstawie tych informacji steruje elementami wykonawczymi, które zmieniają parametry pracy silnika. System samodiagnozy OBD umożliwia wgląd do podstawowych wartości rzeczywistych tj. ciśnienia doładowania, temperatury powietrza doładowanego, obrotów silnika, dawki wtrysku, masy zasysanego powietrza i innych. Połączenie interfejsu z komputerem umożliwia zapis sprawdzanych parametrów w postaci wykresu.



Foto: M. Walczyna

Rys. 1. Hamownia inercyjna i stanowisko pomiarowe
Fig. 1. Inertial engine test house and measurement setup

Pomiary zostały dokonane w następujących warunkach: temperatura silnika 90°C, temperatura otoczenia 20°C, ciśnienie atmosferyczne 1001 hPa. Rysunek 2 przedstawia schemat pomiarów przy użyciu interfejsu diagnostycznego i komputera.

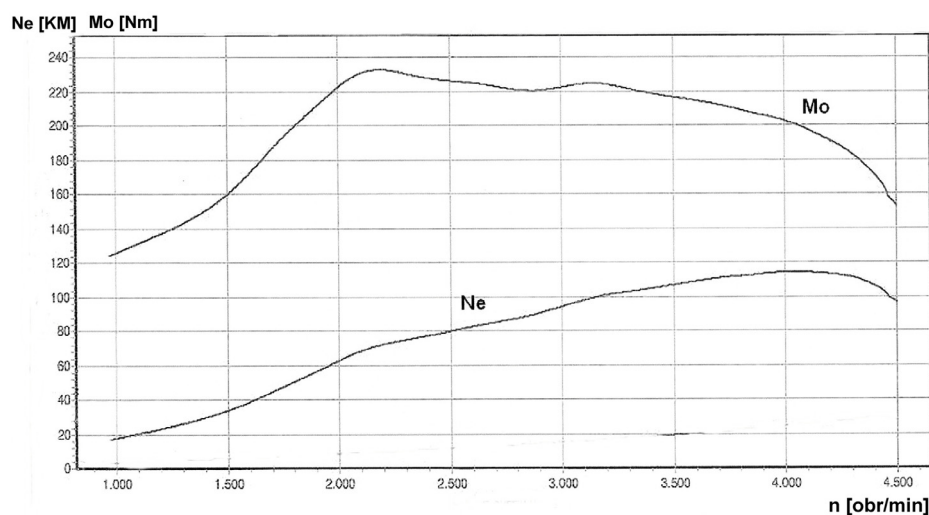


Rys. 2. Schemat pomiarów. 1 – sterownik silnika, 2 – czujnik wzniosu iglicy wtryskiwacza, 3 – czujnik prędkości obrotowej silnika, 4 – przepływomierz powietrza, 5 – czujnik ciśnienia atmosferycznego, 6 – czujnik temperatury silnika, 7 – czujnik temperatury zasysanego powietrza, 8 – czujnik włączenia pedału sprzęgła, 9 – czujniki włączenia pedału hamulca, 10 – czujnik położenia pedału przyspieszania, 11 – czujnik położenia suwaka, 12 – czujnik temperatury paliwa, 13 – inne sygnały wejściowe, 14 – czujnik ciśnienia w kolektorze ssącym, 15 – lampka kontrolna, 16 – zawór regulacji ciśnienia doładowania, 17 – zawór sterujący recyrkulacją spalin, 18 – nastawnik dawki paliwa, 19 – zawór paliwa, 20 – zawór przestawiacza początku tłoczenia, 21 – inne sygnały sterujące, 22 – gniazdo diagnostyczne, 23 – interfejs diagnostyczny, 24 – komputer klasy PC [www.vtech.pl]

Fig. 2. Measurement setup layout: 1 – engine controller, 2 – injector needle lift sensor, 3 – engine speed sensor, 4 – air flowmeter, 5 – atmospheric pressure pick-up, 6 – engine temperature sensor, 7 – drawn-in air temperature sensor, 8 – clutch pedal activation sensor, 9 – brake pedal activation sensors, 10 – accelerator pedal position sensor, 11 – slide position sensor, 12 – fuel temperature sensor, 13 – other input signals, 14 – pressure pick-up in suction manifold, 15 – warning light, 16 – turbocharge pressure control valve, 17 – exhaust gas recirculation control valve, 18 – fuel charge controller, 19 – fuel valve, 20 – pumping start timing device valve, 21 – other command signals, 22 – diagnostic socket, 23 – diagnostic interface, 24 – PC computer [www.vtech.pl]

Wyniki badań

Wyniki pomiarów mocy i momentu obrotowego w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego dla silnika AFN przedstawia rysunek 3. Badana jednostka napędowa osiąga maksymalny moment obrotowy o wartości 233 Nm przy prędkości obrotowej wału korbowego wynoszącej 2200 obr·min⁻¹. Natomiast maksymalna moc jaką dysponuje ten silnik wynosi 84kW i jest osiągana przy 4000 obr·min⁻¹. Do prędkości obrotowej wynoszącej 2200 obr·min⁻¹ moment obrotowy wzrasta. W zakresie prędkości obrotowej wału korbowego od 2000 obr·min⁻¹ do 3500 obr·min⁻¹ wartość momentu obrotowego charakteryzuje się dość dobrą stabilnością. Po przekroczeniu prędkości obrotowej 3500 obr·min⁻¹ następuje spadek momentu obrotowego do wartości 155 Nm odpowiadającej maksymalnej prędkości obrotowej silnika wynoszącej 4500 obr·min⁻¹. Taki przebieg krzywej momentu obrotowego świadczy o dobrej elastyczności silnika stosowanego do celów trakcyjnych.

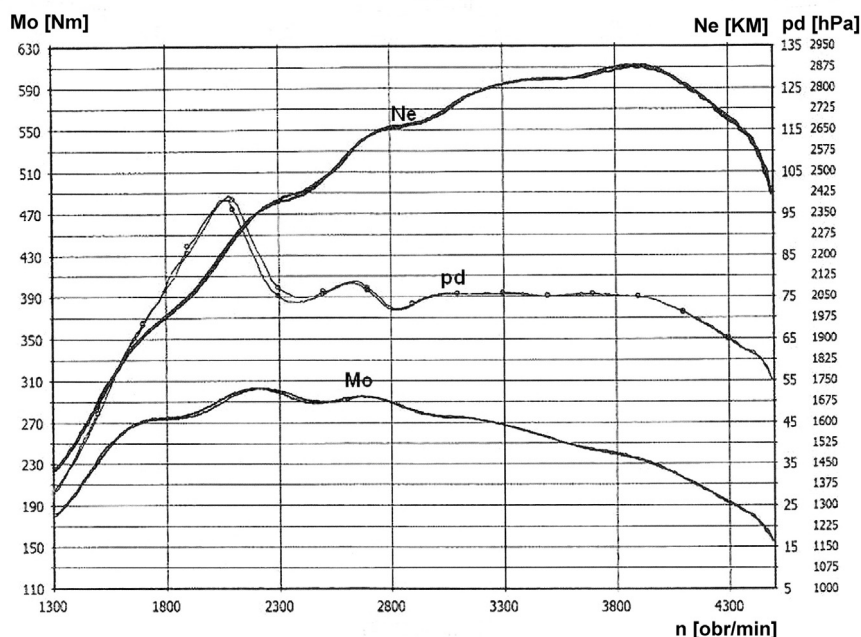


Rys. 3. Wykres pomiaru mocy i momentu obrotowego dla silnika AFN. M_o – moment obrotowy, N_e – moc silnika, n – obroty wału silnika

Fig. 3. Diagram of power and torque measurement for the AFN engine: M_o – torque, N_e – engine power, n – engine shaft speed

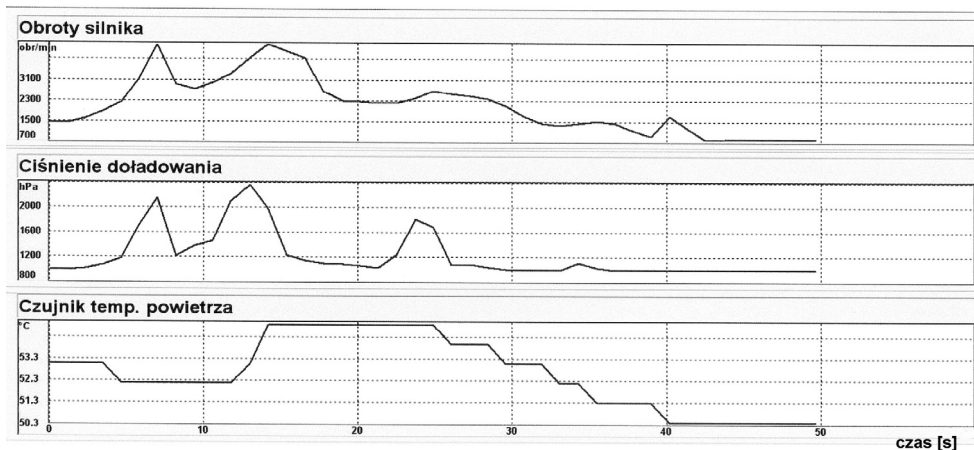
Na rysunku 4 przedstawiono wynik pomiaru mocy i momentu obrotowego w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego dla silnika Y22DTR. Dodatkowym parametrem zamieszczonym na wykresie jest wartość ciśnienia doładowania, która również została opisana w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego. W przypadku tego silnika wartość maksymalnego momentu obrotowego wynosi 303 Nm przy prędkości obrotowej wynoszącej 2200 obr·min⁻¹. Maksymalna moc jaką osiąga badana jednostka napędowa wynosi 96kW przy prędkości obrotowej 3900 obr·min⁻¹. Przebieg krzywej momentu obrotowego

silnika Y22DTR jest mniej korzystny niż dla silnika AFN ponieważ przedział prędkości obrotowej, w której wartość momentu obrotowego osiąga dość dobrą stabilność jest mniejsza i wynosi od 2000 obr·min⁻¹ do 2800 obr·min⁻¹. Po przekroczeniu tej prędkości wartość momentu obrotowego spada i przy maksymalnych obrotach osiąga taką samą wartość jak dla silnika AFN.



Rys. 4. Wykres pomiaru mocy i momentu obrotowego dla silnika Y22DTR. M_o – moment obrotowy, N_e – moc silnika, p_d – ciśnienie doładowania, n – obroty wału silnika
 Fig. 4. Diagram of power and torque measurement for the Y22DTR engine: M_o – torque, N_e – engine power, p_d – turbocharge pressure, n – engine shaft speed

Rysunek 5 przedstawia przykładowe wyniki pomiaru ciśnienia doładowania i temperatury powietrza doładowanego dla silnika AFN. Jako dodatkowy parametr porównawczy została wprowadzona prędkość obrotowa wału korbowego. Pomiar wszystkich parametrów został wykonany w funkcji czasu. Maksymalna wartość ciśnienia doładowania wynosi 2400 hPa i została uzyskana przy prędkości obrotowej równej 4500 obr·min⁻¹. Natomiast maksymalna temperatura powietrza doładowanego w trakcie pomiaru wynosiła 55°C. Przebieg pomiaru ciśnienia doładowania i prędkości obrotowej wału korbowego w funkcji czasu pozwala na obserwację regulacji ciśnienia doładowania przez sterownik w przypadku zmiany prędkości obrotowej wału korbowego.



Rys. 5. Wykres pomiaru ciśnienia doładowania i temperatury powietrza doładowanego silnika AFN
Fig. 5. Diagram of turbocharge pressure and air temperature measurement for the AFN turbo-charged engine

Podsumowanie

Przeprowadzone badania dwóch wybranych silników wysokoprężnych wyposażonych w turbodoładowanie wykazały że na hamowni inercyjnej, silnik Y22DTR charakteryzuje się wyższą mocą oraz momentem obrotowym niż silnik AFN. Pomimo wyższego momentu obrotowego silnik Y22DTR posiada mniej korzystny zakres prędkości obrotowej wału korbowego, dla której moment obrotowy osiąga wartości zbliżone do maksymalnych. Oba silniki osiągają maksymalny moment obrotowy przy prędkości obrotowej wału korbowego wynoszącej $2200 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$. Za pomocą systemu samodiagnozy OBD z wykorzystaniem interfejsu diagnostycznego i komputera PC można dokonać pomiaru wartości rzeczywistych parametrów silnika spalinowego i dokonać oceny prawidłowej pracy poszczególnych układów silnika.

Bibliografia

- Adamczyk E., Jucha J., Miller S. 1978. Teoria mechanizmów i maszyn. Analiza układów mechanicznych. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. s. 56-97.
- Kijewski J. 1997. Silniki spalinowe. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne. Warszawa. ISBN 83-02-00163-5.
- Mysłowski J. 2006. Doładowanie silników. Wyd. Komunikacji i Łączności. Warszawa. ISBN 83-206-1603-4.
- Power4car (on-line). 2010. Dostęp [14.03.2010]. Dostępny w Internecie: www.vtech.pl/power4car.pl/teoria/

ANALYSIS OF WORK PARAMETERS FOR TWO MODERN TURBOCHARGED ENGINES

Abstract. The article presents results of tests for self-ignition engines, carried out in inertial engine test house. The research has shown that Y22DTR type engine has more horsepower and higher torque than AFN type engine. In spite of higher torque, the Y22DTR engine offers less favourable range of crankshaft rotational speed, for which torque reaches values close to maximum. The results show that due to higher torque and horsepower, the assembly of crankshaft, pistons and connecting rods in the Y22DTR engine is subject to higher forces than the AFN engine.

Key words: inertial engine test house, combustion engines, engine power, torque

Adres do korespondencji:

Jerzy Bieniek; e-mail: jerzy.bieniek@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chełmońskiego 37/41
51-630 Wrocław