

Paweł DROŹDZIEL*
Paweł KORDOS**

PROPOZYCJA NOWEGO POJEDYNCZEGO CYKLU TESTOWEGO SILNIKA SPALINOWEGO PODCZAS WYKONYWANIA STANOWISKOWYCH BADAŃ NIEZAWODNOŚCI

Przy ocenie niezawodności samochodowych silników spalinowych dokonywanej na stanowisku badawczym określa się następujące wskaźniki: średnią częstość uszkodzeń, średnią częstość wymiany części, średnią częstość regulacji, a także zużycie badanych elementów silnika. Analiza uzyskanych wartości wskaźników niezawodności umożliwia ocenę trwałości zastosowanych części składowych oraz konstrukcji całego silnika. Ze względu na różnorodność zastosowań oraz warunków pracy silników, nie udało się opracować standardowego testowego cyklu działania. Stwierdza się jednak, że występujące podczas testów niezawodności wartości prędkości obrotowej wału korbowego oraz momentu obrotowego, odpowiadają wyteżonym warunkom pracy silnika spalinowego. Takie parametry pracy silnika odbiegają znacznie od warunków jego rzeczywistego działania w pojeździe. Zaproponowany przez autorów w artykule sposób budowy pojedynczego cyklu testowego charakteryzuje się wyszczególnieniem dwóch rodzajów warunków działania silnika spalinowego odwzorowujących rzeczywiste przejazdy samochodu w mieście i poza nim oraz występowaniem „łżejszych” parametrów pracy i częstszych rozruchów.

Słowa kluczowe: silniki spalinowe, testy niezawodności, badania przebiegowe pojazdu

WSTĘP

W celu oceny niezawodności dla projektowanych lub produkowanych już zespołów i elementów samochodowych silników spalinowych należy przeprowadzić badania stanowiskowe. W trakcie ich wykonywania można określić następujące

* dr hab. inż. Paweł DROŹDZIEL – Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej

** dr inż. Paweł KORDOS - Katedra Silników Spalinowych i Transportu, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej

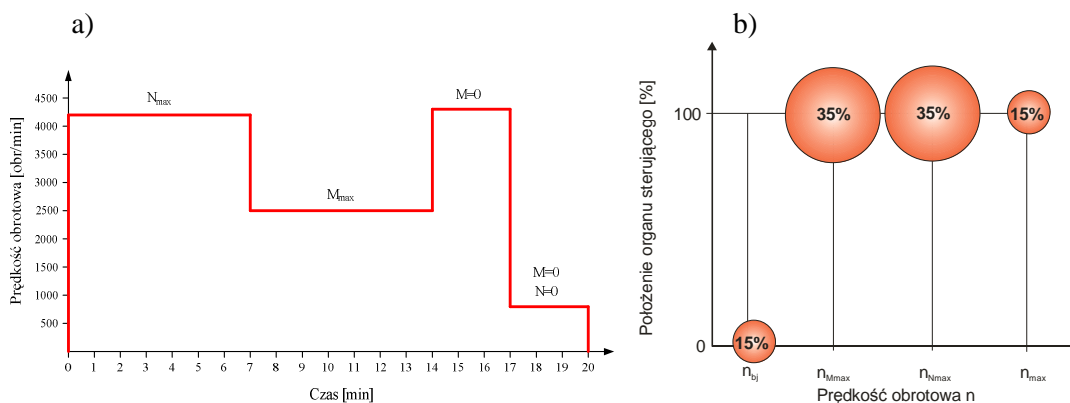
wskaźniki niezawodności: średnią częstość uszkodzeń, średnią częstość wymiany części, średnią częstość regulacji, a także stopień zużycia badanych elementów silnika. Analiza uzyskanych wartości wskaźników niezawodności pozwala ocenić trwałość zarówno stosowanych części, jak i konstrukcji całego silnika. Pomimo tego że stanowiskowe badania niezawodności silników spalinowych są długotrwałe oraz wymagają dużych nakładów finansowych, są one obecnie prowadzone [5].

Silnik spalinowy, w trakcie prowadzenia hamownianych testów niezawodności, pracuje według określonego, wielokrotnie powtarzanego cyklu działania. Ze względu na różnorodność zastosowań oraz warunków pracy silników, nie udało się opracować standardowego testowego cyklu działania. Niniejszy artykuł prezentuje przegląd wybranych pojedynczych cykli testowych wykonywanych przez producentów silników spalinowych oraz proponuje nowy cykl, podczas którego warunki działania silnika odzwierciedlają jego rzeczywistą pracę w czasie przejazdów samochodu.

1. CYKLE DZIAŁANIA SILNIKA PODCZAS TESTÓW NIEZAWODNOŚCI A RZECZYWISTE WARUNKI PRACY

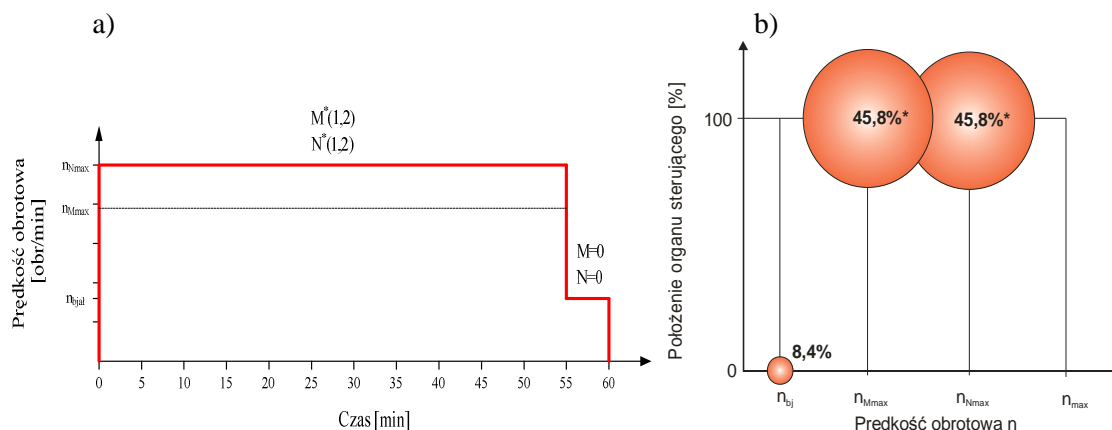
W czasie wykonywania długotrwałych testów niezawodności silnik spalinowy pracuje na stanowisku hamownianym powtarzając wielokrotnie tzw. pojedynczy cykl testowy. Zakłada on kolejne czasy pracy silnika przy zadanych wartościach obciążenia i prędkościach obrotowych wału korbowego. Zmienność oraz różnorodność warunków działania silników spalinowych spowodowała, że producenci nie opracowali standardowego, reprezentatywnego dla wszystkich typów silników cyklu testowego. Poszczególne firmy produkujące silniki spalinowe posługują się programem badań opracowanym przez siebie [2].

Przykład: na rysunku 1a przedstawiono pojedynczy cykl testowy stosowany przez firmę Cummins, na rysunku 1b udział procentowy poszczególnych stanów działania silnika podczas tego cyklu. W trakcie badań niezawodności cykl ten powtarza się 3000 razy (czas trwania testu 1000 godzin). Inne przykłady testów zilustrowano na rysunkach 2-3. Test przedstawiony na rysunku 2 opracowała firma Ford. Jest on powtarzany 2000 razy (czas trwania testu 2000 godzin). Rysunek 3a prezentuje pojedynczy cykl testowy zalecany przez Polską Normę Branżową BN-79/1374-04 (czas trwania testu 350 godzin) [6].



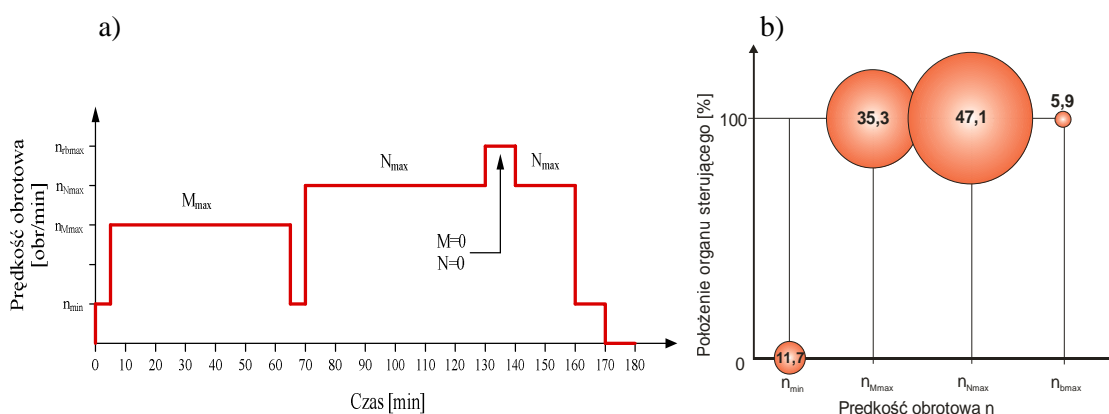
Rys. 1. Pojedynczy cykl testowy firmy Cummins; a) zmienność warunków działania silnika, b) gęstość czasowa warunków działania silnika podczas próby niezawodności

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 2. Pojedynczy cykl testowy firmy Ford; a) zmienność warunków działania silnika, b) gęstość czasowa warunków działania silnika podczas próby niezawodności

Źródło: Opracowanie własne

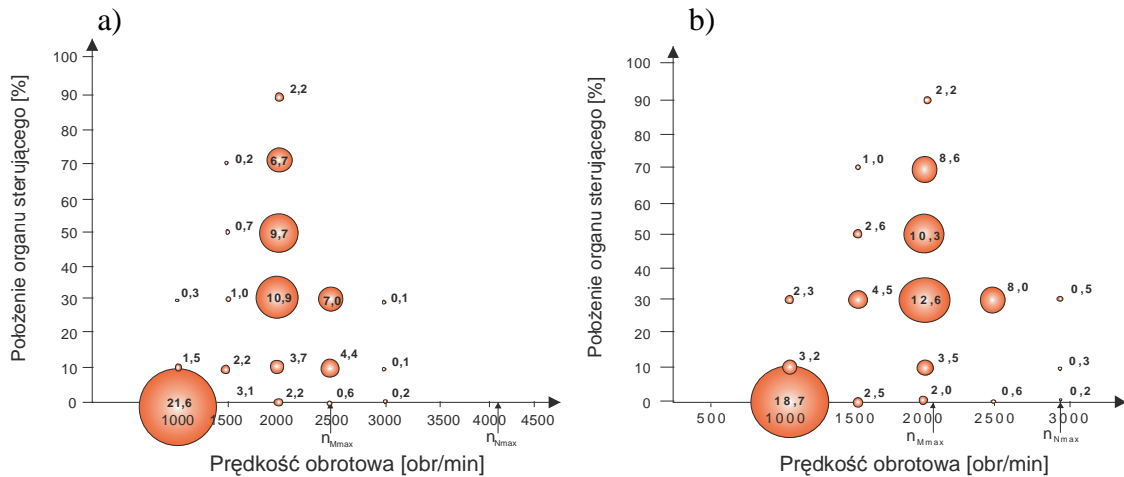


Rys. 3. Pojedynczy cykl testowy wg polskiej normy BN-79/1374-04; a) zmienność warunków działania silnika, b) gęstość czasowa warunków działania silnika podczas próby niezawodności

Źródło: Opracowanie własne

Charakterystyczną własnością pojedynczych cykli testowych przedstawionych na rysunkach 1-3 oraz cykli innych producentów silników jest niezmienność, w ustalonych okresach czasu, dwóch parametrów działania silnika, jakim są: prędkość obrotowa wału korbowego oraz obciążenie. Analizując wartości tych dwóch parametrów, należy stwierdzić, że odpowiadają one „ciężkim” warunkom pracy silnika spalinowego (przy mocy znamionowej, czy też przy maksymalnym momencie obrotowym). Okres pracy silnika bez obciążenia, w trakcie przeprowadzanych badań niezawodności, zabezpiecza przed przegrzaniem i zatarciem się jego głównych par tribologicznych [5].

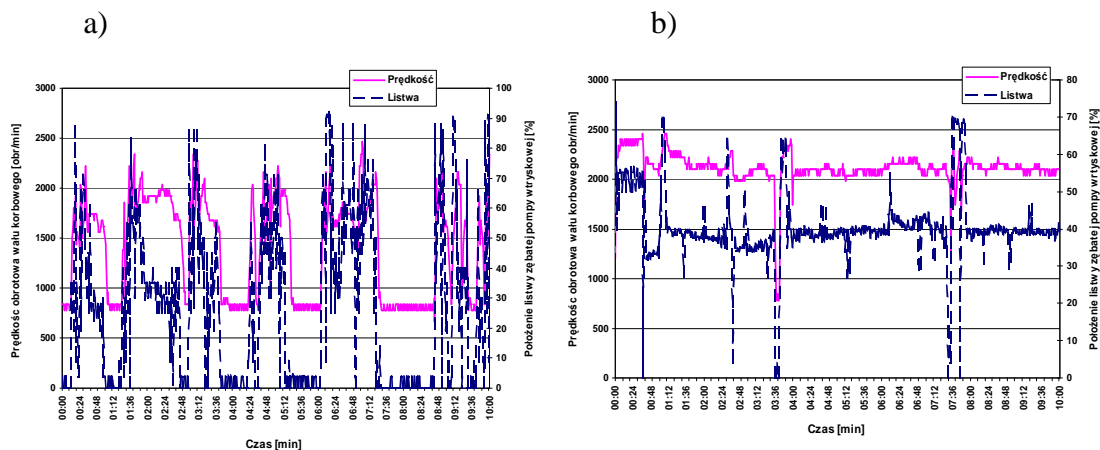
Testowe warunki działania samochodowych silników spalinowych odbiegają znacznie od ich rzeczywistych warunków pracy. Analiza wyników, wykonanych przez autorów, długotrwałych badań przebiegowych pojazdów pozwoliła na opracowanie rzeczywistych wykresów gęstości czasowej warunków działania samochodowych silników spalinowych [3]. Ilustrują to wykresy przedstawione na rysunku 4.



Rys. 4. Gęstości czasowe warunków działania silników spalinowych w trakcie rzeczywistego użytkowania pojazdu; a) Lublin III - silnik 4CT90, b) STAR 1142 - silnik 359 [3]

Źródło: Opracowanie własne

Analizując wykresy gęstości czasowych z rysunku 4, należy stwierdzić, że badane samochodowe silniki spalinowe pracują głównie w zakresie prędkości obrotowych wału korbowego odpowiadających wartościom przy częściowym dawkowaniu pompy wtryskowej. Drugim istotnym punktem działania silników jest zakres prędkości odpowiadający biegowi jałowemu [3]. Występujące różnice wynikają z określonych warunków użytkowania pojazdów. I tak podczas jazd w mieście obserwuje się znaczną zmienność warunków działania silnika spalinowego, która wynika z częstych przyspieszeń oraz hamowań samochodu. W warunkach jazd miejskich występuje także duży udział pracy silnika na biegu jałowym. Działanie zaś silnika spalinowego w warunkach tras pozamiejskich cechuje się większą stabilnością oraz występowaniem częściowych obciążeń [4]. Warunki działania silnika spalinowego w zależności od tras przejazdu zilustrowano na rysunku 5.



Rys. 5. Przebieg prędkości obrotowej wału korbowego oraz położenia listwy zębatej pompy wtryskowej silnika 4CT90 dla samochodu Lublin a) przejazdu w warunkach miejskich, b) przejazdu w warunkach pozamiejskich [4]

Źródło: Opracowanie własne

Dodatkowo należy podkreślić, że podczas rzeczywistych warunków użytkowania pojazdów występuje większa częstotliwość rozruchu silnika spalinowego niż podczas prowadzenia badań niezawodności wg obecnie stosowanych cykli testowych na stanowisku badawczym [1].

2. BUDOWA NOWEGO CYKLU TESTOWEGO NA PRZYKŁADZIE SILNIKA 4CT90

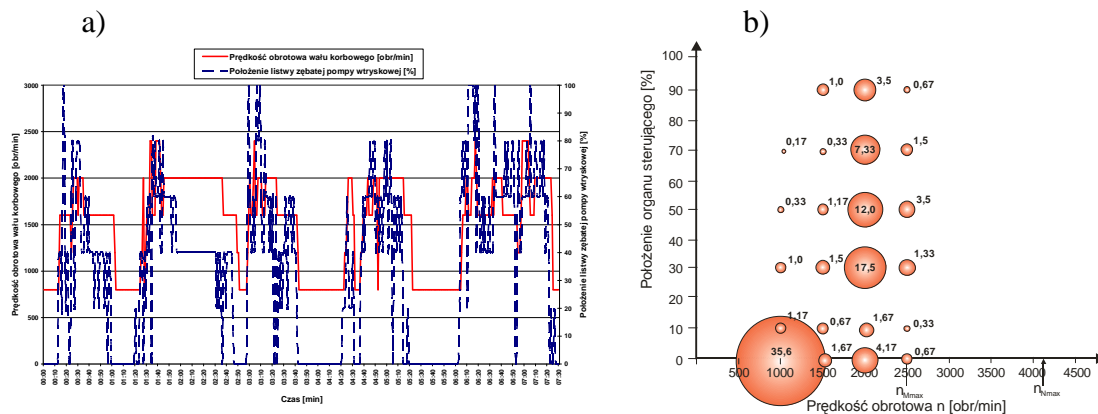
Różnice w warunkach działania samochodowego silnika spalinowego, między badaniami hamownianymi a trakcyjnymi, w trakcie wykonywania niezawodnościowych powodują, że konieczne wydaje się zaprojektowanie nowego cyklu testowego.

Podstawowym założeniem podjętym przy planowaniu nowego cyklu testowego było, aby działanie silnika na stanowisku jak „najlepiej” odwzorowało rzeczywiste warunki jego użytkowania w pojeździe, a tym samym uwzględniło mniejsze obciążenia niż w dotychczasowych badaniach niezawodności. Przyjęto więc, że prędkość obrotowa wału korbowego może się zmieniać w zakresie od wartości występującej na biegu jałowym do wartości prędkości obrotowej odpowiadającej momentowi maksymalnemu. Zakres tych zmian dzieli się następnie na przedziały o stałej długości. W zakresie zmian (0-100%) położenia organu sterującego przyjmuje się także określone interwały o stałym skoku.

W proponowanym cyklu testowym wyszczególniono dwa różne rodzaje warunków działania silnika spalinowego. Mają one odwzorowywać przejazdy samochodu na trasach w mieście i poza nim. Założono dodatkowo, że długość czasu działania silnika podczas tych dwóch części cyklu testowego symulujących warunki jazdy samochodu w mieście oraz po za nim są jednakowe i wynoszą 7,5 minuty. Pomiedzy nimi występuje 7,5 minutowa przerwa w pracy silnika. Powoduje to, że w ciągu 8-godzinne go dnia pracy można wykonać po szesnaście razy części cyklu symulujące różne warunki przejazdu pojazdu. Występująca następnie 16-godzina przerwa pozwala na osiągnięcie przez silnik tzw. temperatury „pierwszego dziennego rozruchu” silnika [1].

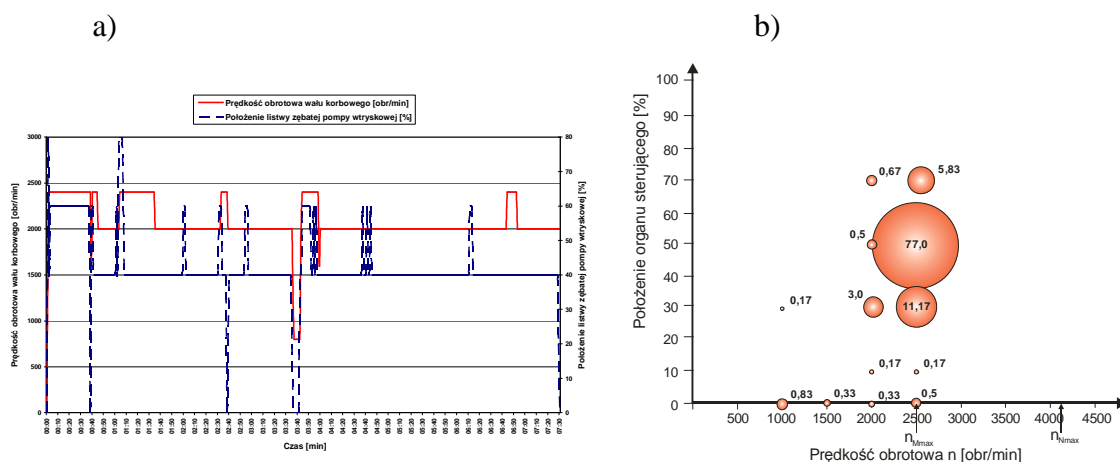
W celu odwzorowania warunków działania samochodowych silników spalinowych występujących podczas przejazdu w mieście i poza nim, w programie EXCEL przygotowano arkusz, w którym z dokładnością 1 sekundy podaje się wartości środków przyjętych przedziałów prędkości obrotowej wału korbowego oraz położenia organu sterującego. Następnie analizując graficznie przebieg zmian tych dwóch parametrów działania, dokonuje się eksperckiego przybliżenia do zakładanych rzeczywistych warunków pracy samochodowego silnika spalinowego.

Sposób tworzenia przykładowego cyklu testowego omówiono na przykładzie silnika 4CT90 samochodu dostawczego LUBLIN. Silnik ten rozwija moc maksymalną 66 kW przy 4100 obr/min. Maksymalny moment obrotowy silnika 195 Nm przy 2500 obr/min. Wartość prędkości obrotowej bieg luzem wynosi około 800 obr/min. Zakres prędkości obrotowej wału korbowego podzielono na dziewięć przedziałów szerokości 500 obr/min, zaś położenie listwy zębatej zestopniowano co 20%. Dokonując kolejnych przybliżeń, zaproponowano warunki działania silnika spalinowego odwzorowujące przejazdy samochodu w mieście (rys. 6) oraz po za miastem (rys. 7).



Rys. 6. Pojedynczy cykl testowy działania silnika 4CT90 odwzorujący przejazdy samochodu Lublin w warunkach miejskich; a) Przebieg prędkości obrotowej wału korbowego oraz położenia listwy zębatej pompy wtryskowej silnika 4CT90, b) gęstości czasowe działania silnika 4CT90

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 7. Pojedynczy cykl testowy działania silnika 4CT90 odwzorujący przejazdy samochodu Lublin po za miastem; a) Przebieg prędkości obrotowej wału korbowego oraz położenia listwy zębatej pompy wtryskowej silnika 4CT90, b) gęstości czasowe działania silnika 4CT90

Źródło: Opracowanie własne

Analizując wykresy z rysunków 6 i 7, wydaje się, że przyjęte zmiany oraz przebieg dwóch parametrów działania silnika spalinowego (prędkości obrotowej wału korbowego oraz położenia organu sterującego zasilaniem) w trakcie zaproponowanego niezawodnościowego cyklu testowego zasadniczo odwzorowuje możliwe do zaobserwowania rzeczywiste warunki jego użytkowania w pojeździe.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonej w artykule analizy porównawczej warunków pracy silnika spalinowego występujących podczas rzeczywistego użytkowania samochodu oraz warunków jego działania w trakcie wykonywania testów niezawodności należy stwierdzić, że:

1. W trakcie testów niezawodności warunki działania silnika spalinowego charakteryzują się niezmiennością w czasie oraz występowaniem wartości maksymalnych prędkości obrotowej wału korbowego oraz momentu obrotowego. Dla warunków rzeczywistej eksploatacji pojazdu występuje większa zmienność wartości tych parametrów (przejazdy miejskie), przy jednoczesnym znacznym udziale częściowych obciążeń silnika (jazda poza miastem).
2. Kolejną różnicą pomiędzy pracą silnika spalinowego na stanowisku badawczym, a rzeczywistymi warunkami użytkowania jest częstotliwość jego rozruchów. W warunkach rzeczywistych są one dokonywane znacznie częściej.

Zaproponowany w artykule sposób budowy pojedynczego cyklu testowego charakteryzuje się wyszczególnieniem dwóch rodzajów warunków działania silnika spalinowego odwzorowujących przejazdy pojazdu w mieście i poza nim oraz występowaniem „łżejszych” parametrów pracy i częstszych rozruchów. Jednakże, na obecnym etapie, ekspercki sposób jego projektowania nie pozwala na stworzenie uniwersalnego cyklu tentego. Autorzy mają nadzieję, że dalsze badania i prace pozwolą na jego opracowanie.

LITERATURA

- [1] Drożdziel P., *Widmo rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym jako kryterium oceny warunków użytkowania samochodu*, PNTTE, Warszawa 2009.
- [2] Kowalik M., *Opracowanie nowej metody stanowiskowych testów niezawodności silników spalinowych*, Praca magisterska, Lublin, Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny 2010.
- [3] Kordos P., *Stanowiskowa metoda badań niezawodności silnika samochodowego o zapłonie samoczynnym*, Rozprawa doktorska, Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny 2005.
- [4] Liščák Š., Drożdziel P., Kordos P., *Test-stand reliability evaluation under the operational research of the vehicle*, [in:] “Studies of Faculty of Operation and Economics of Transport and Communications of University of Transport and Communications in Žilina”, vol. 19, University of Transport and Communications in Žilina, Žilina, Slovak Republic, 2003, pp. 107-112.
- [5] Niewczas A., Czerniec M., Ignaciuk P., *Badania trwałości elementów maszyn współpracujących tarciowo*, IZT Lublin, Lublin 2000.
- [6] BN-79/1374-04. *Silniki samochodowe. Badania stanowiskowe. Badania niezawodności.*

PROPOSITION OF NEW SINGLE TEST CYCLE OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE DURING STAND RELIABILITY TESTS

Summary

A test-stand reliability evaluation of automotive internal combustion engines is carried out so as to determine the selected reliability parameters, such as an average occurrence of defects, an

average frequency of part exchange, an average frequency of engine regulation or the wear of selected engine components. The values of these indicators make it possible to estimate the durability of components used as well as of the whole structure of the engine. During reliability test-stand research, the engine is run according to multiple repeated cycles of operation. The conditions of engine operation during reliability tests can be characterized by time invariability and extreme values of rotational speed and torque.

In this article the authors prove that the conditions of real automotive engine operation are much more diversified (city driving) with a high share of partial loads (intercity driving). Another significant difference in test-stand reliability evaluation and real operation is the frequency of engine start-ups. In real conditions engine start-ups are far more frequent. The authors propose a new test cycle, which will enable reproducing the real engine operation conditions in stand tests. Characteristic features of this test include more frequent starts and distinguishing between the two kinds of variability in conditions of operation: city and intercity driving, with “lighter” values of rotational speed and torque.

Key words: *internal combustion engines, reliability tests, vehicle mileage tests*

Artykuł recenzował: prof. dr hab. inż. Janusz MYSŁOWSKI