

## CHARAKTERYSTYCZNE ZAKRESY PRĘDKOŚCI OBROTOWYCH WAŁU KORBOWEGO PODCZAS PRACY SILNIKA SPALINOWEGO W WARUNKACH EKSPLOATACJI SAMOCHODU

## CHARACTERISTIC ROTATIONAL SPEED RANGES OF A CRANKSHAFT DURING COMBUSTION ENGINE OPERATION AT CAR MAINTENANCE

*Badania empiryczne silników spalinowych w warunkach rzeczywistej eksploatacji pojazdów umożliwiają uzyskanie wielu informacji o ich pracy. Analiza posiadanych wyników pozwala na określenie skali obciążeń mechanicznych i cieplnych silnika w warunkach eksploatacji samochodu. Jest to szczególnie istotne przy ocenie trwałości i niezawodności silnika. Wyniki badań eksploatacyjnych są także pomocne przy konstruowaniu nowych i udoskonalaniu istniejących konstrukcji silników spalinowych oraz stosowanych systemów sterowania procesami zasilania, spalania i wydechu. Niniejszy artykuł prezentuje przeprowadzone badania samochodów LUBLIN oraz STAR. Przedstawiono w nim także analizę porównawczą uzyskanych wyników prędkości obrotowych wału korbowego trzech różnych silników: C22NED, 359M oraz 4CT90.*

*Słowa kluczowe: samochód, silnik, badania eksploatacyjne.*

*The combustion engines' studies run at actual vehicle maintenance provide significant information on some parameters of their operation. The analysis of results makes it possible to determine the scale of mechanical and thermal load at car maintenance. The results of maintenance studies are regarded as very helpful in designing new and improving existing engine structures as well as systems presently used to control admission, combustion and exhaust processes. The paper presents the studies carried out on two truck types: LUBLIN and STAR. Rotational speeds of the crankshaft for three different engine types: C22NED, 359M and 4CT90 were also compared.*

*Keywords: car, engine, maintenance research.*

### 1. Wstęp

Badania empiryczne silników spalinowych w warunkach rzeczywistej eksploatacji pojazdów umożliwiają uzyskanie wielu cennych informacji o parametrach ich pracy. Przykładowa analiza posiadanych wyników pozwala na określenie skali obciążeń mechanicznych i cieplnych silnika w warunkach eksploatacji samochodu. Jest to szczególnie istotne przy ocenie trwałości i niezawodności silnika, co pozwala na optymalizację danego systemu transportu pod kątem zwiększenia jego ekonomicznej efektywności [3, 4, 5].

Wyniki badań eksploatacyjnych są pomocne przy konstruowaniu nowych i udoskonalaniu istniejących konstrukcji silników spalinowych oraz stosowanych

### 1. Introduction

The combustion engines' studies run at actual vehicle maintenance provide significant information on some parameters of their operation. The analysis of results makes it possible to determine the scale of mechanical and thermal load at car maintenance, what seems particularly important to evaluate engine durability and reliability, and allows to optimise a given system of transport and increase its economical effectiveness [3, 4, 5].

The results of maintenance studies are regarded as very helpful in designing new and improving existing engine structures as well as systems presently used to control admission, combustion and exhaust

systemów sterowania procesami zasilania, spalania i wylotu spalin. Pozwala to na zmniejszenie zużycia paliwa, ograniczenia hałasu oraz obniżenie emisji związków toksycznych. Szerokie wykorzystanie wyników badań eksploatacyjnych trakcyjnych silników spalinowych pomimo ich pracochłonności powoduje, że są one coraz częściej przeprowadzane [6].

Niniejszy artykuł prezentuje przeprowadzone badania samochodów LUBLIN oraz STAR. Przedstawiono w nim także analizę porównawczą uzyskanych wyników prędkości obrotowych wału korbowego trzech różnych silników: C22NED, 4CT90 (LUBLIN) oraz 359M.

## 2. Obiekty i metodyka badań

Badaniami eksploatacyjnymi objęto trzy różne silniki. Jednym z nich był silnik C22NED o zapłonie iskrowym produkcji australijskiej firmy HOLDEN. Pozostałe to polskie silniki o zapłonie samoczynnym: 359M produkcji ZS „STAR” S.A. w Starachowicach oraz 4CT90 produkowany przez WSW „ANDORIA” S.A. w Andrychowie. Wybrane parametry techniczne badanych silników przedstawiono w tabeli 1.

processes. Such a knowledge may be applied to decrease fuel consumption, reduce noise, and prevent emission of toxic compounds generated during engine operation. Although the maintenance studies on traction combustion engines are labour consuming, they are performed more and more often [6] as their results tend to be thoroughly applied.

The paper presents the studies carried out on two truck types: LUBLIN and STAR. Rotational speeds of the crankshaft for three different engine types: C22NED, 359M and 4CT90 were also compared.

## 2. Objects and methods

The maintenance studies were run on three different engine types: C22NED spark ignition engine produced by an Australian company HOLDEN and two Polish automatic engines: 359M made by ZS „STAR” S.A. in Starachowice and 4CT90 - by WSW „ANDORIA” S.A. in Andrychow. Some technical parameters of investigated engines are presented in Table 1.

Tab. 1. Wybrane parametry techniczne obiektów badań  
Tab. 1. Some technical parameters of different engine types

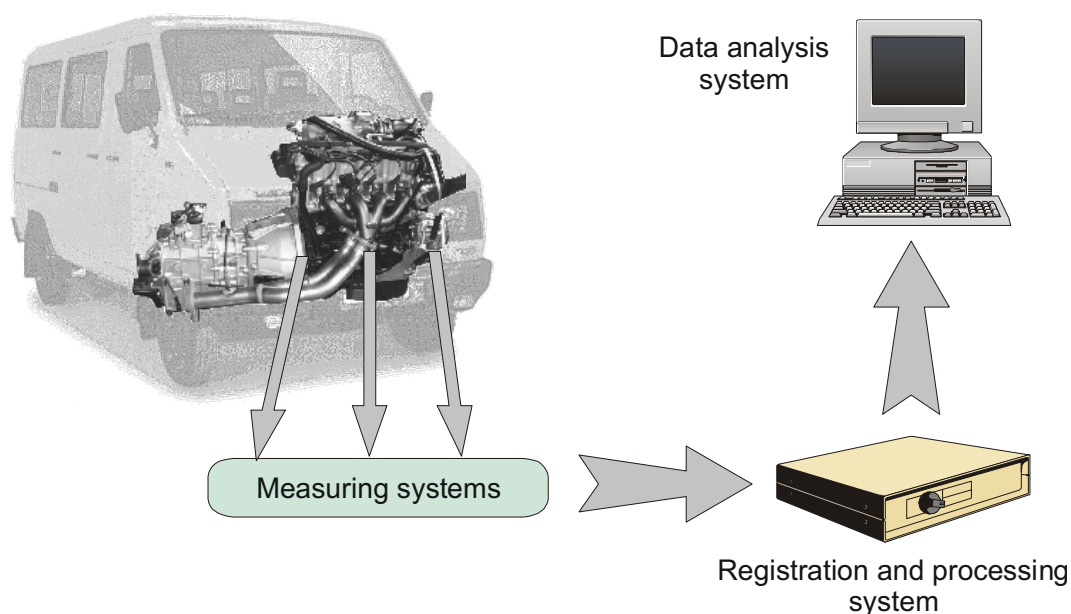
Specification	Engine parameter value		
	359M	4CT90	C22NED
Engine weight (without clutch, water and oil) [kg]	610	240	no data
Ignition type	compression	compression	spark
Cylinder system	in-line, vertical	in-line, vertical	in-line, vertical
Number of cylinders	6	4	4
Cylinder diameter [mm]	110	90	86
Piston course [mm]	120	95	94,6
Engine cubic capacity [dm <sup>3</sup> ]	6,842	2,417	2,198
Compression ratio	17	20,6	9,2
Firing sequence	1-5-3-6-2-4	1-3-4-2	1-3-2-4
Rated power [kW]	110	63,5	86
Maximum torque [Nm]	440	195	190
Engine speed at max. torque [RPM]	1800-2100	2500	2700
Idle speed [RPM]	500-600	800±20	no data
Maximum engine speed [RPM]	3100	4100	5400
Compression pressure [MPa]	2,4	3,0	no data
Injection pressure [MPa]	22+1	15±1	no data
Oil pressure in lubrication system [MPa]	0,2-0,6	0,38-0,50	no data
Liquid temperature in cooling system [°C]	79-90	80-96	no data
Fuel	diesel oil	diesel oil	petrol
Minimum fuel consumption per unit [g/kWh]	224	295	260

Silniki C22NED oraz 4CT90 stanowią jednostki napędowe samochodów dostawczych z serii LUBLIN, o ładowności ponad 1 ton, produkowanych przez DMP w Lublinie. Silnik 359M montowany był do samochodów ciężarowych STAR 1142 o ładowności do 6,5 tony produkowanych w ZS „STAR” S.A. w Starachowicach. Obydwie marki pojazdów, ze względu na wiele zalet (cena, prosta i łatwa obsługa, duża liczba stacji serwisowych w Polsce itd.) stanowiły w ostatnim okresie popularne środki transportu na średniej długości trasach przewozu.

W celu rejestracji wybranych parametrów pracy badanych silników spalinowych wykorzystano czujniki i systemy pomiarowe standardowo montowane w pojazdach (w szczególności dotyczy to silnika C22NED) lub zainstalowano dodatkowe układy pomiarowe [1, 7]. Sygnały z urządzeń pomiarowych były następnie zapisywane w specjalnie zbudowanych układach przetwarzająco-rejestrujących. Tak uzyskane informacje, związane z pracą silników, przetwarzane były w trybie off-line przy pomocy komputera klasy PC. Schemat blokowy stosowanych systemów rejestracji i przetwarzania danych przedstawiono na rys. 1.

Two of the engines under study: C22NED and 4CT90 are used as driving units in delivery trucks of LUBLIN series (produced by DMP factory in Lublin), while 359M engine is fitted to STAR 1142 trucks (produced by ZS „STAR” S.A. in Starachowice). Due to numerous advantages (price, simple and easy operation, great number of service stations in Poland, etc.) of both LUBLIN and STAR, they are regarded as very popular means of transport on medium-long routes.

Some indicators and measuring systems to determine the maintenance parameters of combustion engines were already mounted in vehicles (it particularly refers to C22NED engine), while the others had to be additionally installed [1, 7]. The indications given by such measuring equipment were recorded in specially constructed processing-registration systems, and then off-line processed by PC computer. Block scheme of applied registration and processing systems is shown on fig. 1.



*Rys. 1. Schemat blokowy stosowanych systemów rejestracji i przetwarzania danych*

*Fig. 1. Block scheme of applied data registration and processing systems*

Pojazdy w których zamontowano obserwowane silniki były badane w trzech różnych warunkach eksploatacji [2]:

1. warunki „normalne” – silnik 359M samochodu STAR 1142,
2. warunki „nadzorowane” – silnik 4CT90 samochodu Lublin III,

The vehicles with various engine types were observed under the following conditions of maintenance [2]:

1. „normal” conditions – 359M engine of STAR 1142,
2. „controlled” conditions – 4CT90 engine of Lublin III,

3. warunki „wymuszone” – silnik C22NED samochodu Lublin II.

Przez warunki „normalne” autorzy rozumieli taką eksploatację pojazdu, przy której badający jest biernym obserwatorem nie mającym wpływu na rodzaj charakter i sposób jego użytkowania. W warunkach „nadzorowanych” badacz ma możliwość częściowego zaplanowania warunków i tras przejazdów samochodów. W warunkach „wymuszonej” eksploatacji pojazdu prowadzone badania charakteryzują się tym, że świadomie wpływa się na warunki oraz trasy przejazdu. Wydaje się, że te trzy opisane rodzaje warunków eksploatacji pojazdów powinny umożliwić uzyskanie różnych rozkładów dla mierzonych parametrów pracy silników.

3. Analiza uzyskanych wyników badań

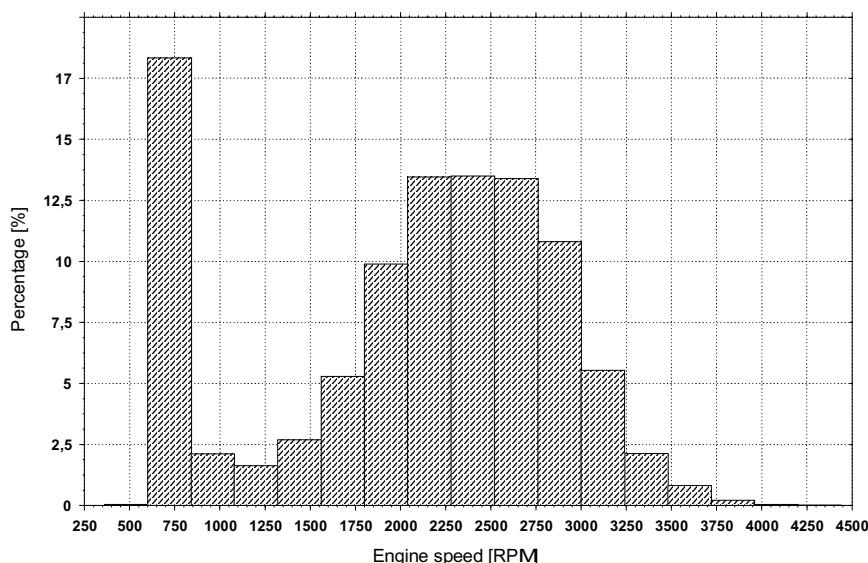
Pierwszym badanym silnikiem był silnik 359M, przy czym brak pomiaru obciążenia tego silnika spowodował, że możliwa była analiza porównawcza tylko jednego parametru pracy. Parametrem tym była prędkość obrotowa wału korbowego silnika. Na rysunkach 2, 4 oraz 6 przedstawiono uzyskane rozkłady wyników tego parametru z uwzględnieniem pracy badanych silników na biegu jałowym. Zaś na rysunkach 3, 5 i 7 przedstawiono rozkłady prędkości obrotowej wału korbowego silnika z wyłączeniem przypadków pracy na biegu jałowym. W celach poglądowych na tych rysunkach przedstawiono także przebieg charakterystyki zewnętrznej momentu obrotowego silników. Wyniki z wykresu na rysunku 5 aproksymowano rozkładem Weibulla, zaś na rysunkach 3 oraz 7 rozkładem normalnym.

3. „forced” conditions – C22NED engine of Lublin II.

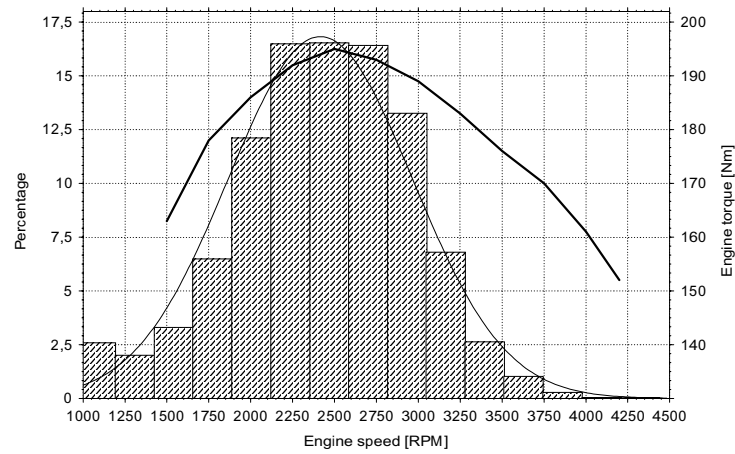
Under „normal” conditions the investigator can only play the role of a passive observer, who does not have any impact on the kind, character and way of vehicle operation, while „controlled” conditions partially allow to determine circumstances and routes for vehicles. The carefully planned conditions of vehicle maintenance that may be affected by the observer are considered „forced” conditions. It appears that distribution types of engine maintenance parameters should differ for all three cases described above.

3. Analysis of results

When analysing 359M engine, it was only possible to compare one maintenance parameter, i.e. rotational speed of the engine crankshaft, as its load had not been measured. Distribution of the speed with taking into account the cases of idle running was shown on figures 2, 4 and 6, while figures 3, 5 and 7 indicate distribution of rotational speed of the crankshaft with no idle running-cases. The figures present also the course of external characterization of engine turning moment. The results from fig.3 have been approximated with Weibull distribution, whereas from fig.5 and 7 – with normal distribution.

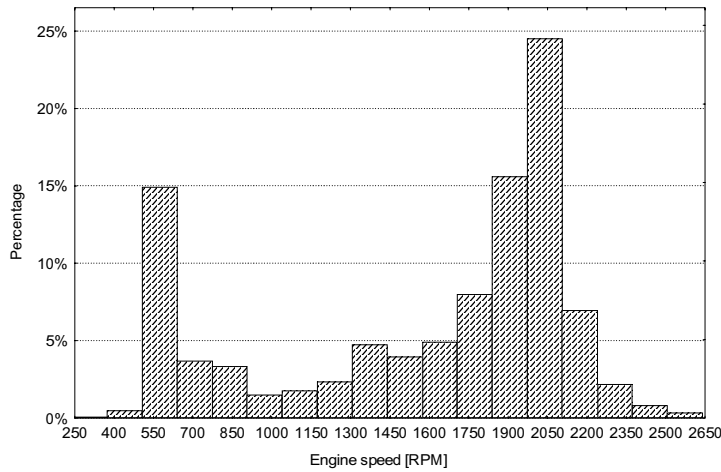


Rys. 2. Rozkład prędkości obrotowej wału korbowego silnika 4CT90 samochodu Lublin  
 Fig. 2. Distribution of rotational speed of 4CT90 engine crankshaft for Lublin truck



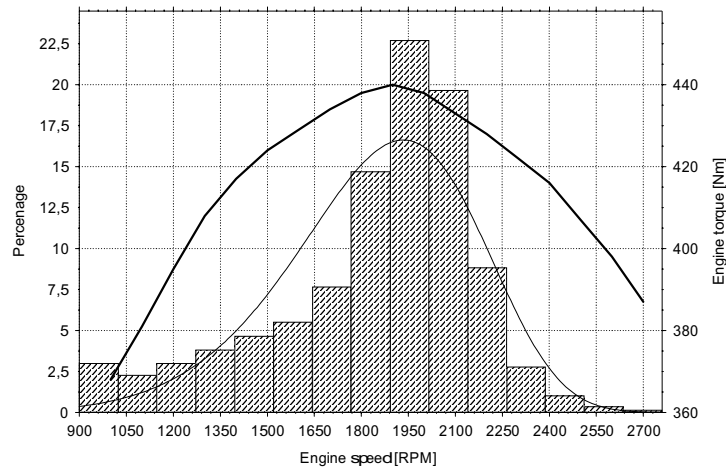
Rys. 3. Rozkład prędkości obrotowej wału korbowego silnika 4CT90 samochodu Lublin z pominięciem przypadków pracy na biegu jałowym

Fig. 3. Distribution of rotational speed of 4CT90 engine crankshaft for Lublin truck with no cases of idle running



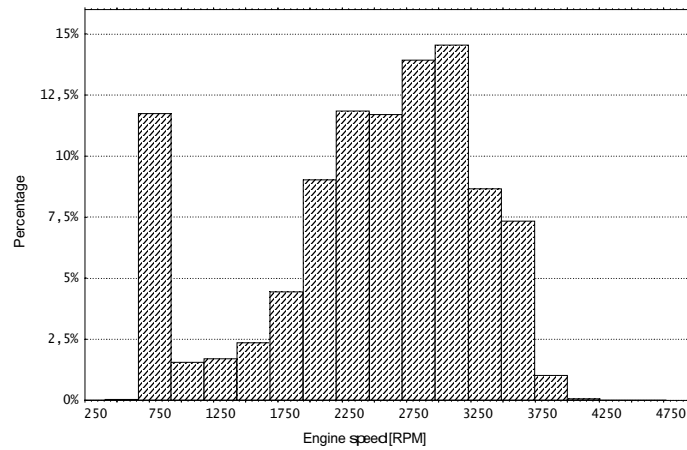
Rys. 4. Rozkład prędkości obrotowej wału korbowego silnika 359M

Fig. 4. Distribution of rotational speed of 359M engine crankshaft

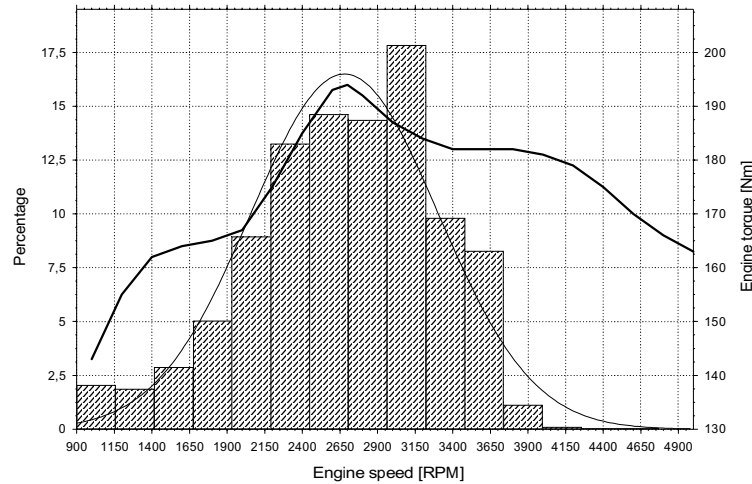


Rys. 5. Rozkład prędkości obrotowej wału korbowego silnika 359M z pominięciem przypadków pracy na biegu jałowym

Fig. 5. Distribution of rotational speed of 359M engine crankshaft with no cases of idle running



Rys. 6. Rozkład prędkości obrotowej wału korbowego silnika C22NED samochodu Lublin  
 Fig. 6. Distribution of rotational speed of C22NED engine crankshaft for Lublin truck



Rys. 7. Rozkład statystyczny prędkości obrotowej wału korbowego silnika C22NED bez uwzględnienia przypadków pracy na biegu jałowym  
 Fig. 7. Statistical distribution of rotational speed of C22NED engine crankshaft with no cases of idle running

Analizy statystycznej dokonano przy pomocy programu komputerowego STATYSTYKA PL. Wybrane parametry pracy silnika oraz rozkładów prędkości obrotowej wału korbowego, z wyłączeniem przypadków pracy na biegu jałowym, przedstawiono w tabeli 2. Wartość średnią oraz odchylenie standardowe prędkości obrotowej wału korbowego silnika 359M określono na podstawie rozkładu Weibulla [8] o następujących parametrach: kształtu – 3,14, skali – 1014,87 oraz progu – 42,773. Dla poszczególnych rozkładów prędkości obrotowej przy zastosowaniu statystycznego testu nieparametrycznego Pearsona, zweryfikowano hipotezę  $H_0$  dotyczącą, że dany rozkład empiryczny nie różni się w istotny sposób od przyjętych rozkładów.

The analyse was taken in software STATYSTYKA PL. There are some parameters of engine operation and distribution of rotational speed of the crankshaft, with no cases of idle running shown in table 2. Determination of the average value and standard deviation for 359M engine crankshaft was based on Weibull distribution [8], with parameter: shape – 3,14, scale – 1014,87 and threshold – 42,773. For aware engine speed distribution using statistic Pearson's test verifying  $H_0$  hypothesis that each empirical distribution is not essential different to used distribution.

Tab. 2. Wybrane parametry statystyczne pracy i prędkości obrotowej wału korbowego badanych silników  
 Tab. 2. Some statistical parameters of operational and rotational speed of engine crankshafts under study

Engine type	Total operation time [hours]	Idle running [%]	Average [turns/min]	Standard deviation [turns/min]
4CT90	80	18,3	2415	550
359M	411	17,6	1760	443
C22NED	10	12,4	2680	624

Analiza porównawcza uzyskanych wyników badań dla trzech różnych silników wykazała, że bez względu na warunki użytkowania pojazdu, występuje duży (ponad 12%) udział pracy silnika na biegu jałowym w całkowitym zarejestrowanym czasie jego działania. Pominięcie w analizie statystycznej przypadków pracy silnika na biegu jałowym pozwala na stwierdzenie faktu, że obserwowana wartość średnia prędkości obrotowej wału korbowego jest bardzo zbliżona do wartości prędkości obrotowej momentu maksymalnego. I tak, dla silnika 4CT90 przy nominalnej prędkości obrotowego momentu maksymalnego równej 2500 obr/min, wynosi ona 2415 obr/min. Dla silnika 359M, którego moment maksymalny występuje przy prędkości obrotowej 1900 obr/min, zaobserwowana wartość oczekiwana wynosi 1760 obr/min. Zaś dla silnika C22NED wartość średnia prędkości obrotowej wału korbowego z badań wynosi 2680 obr/min przy nominalnej prędkości momentu maksymalnego 2700 obr/min.

#### 4. Wnioski

Na podstawie analizy przeprowadzonych badań empirycznych w warunkach eksploatacji trzech różnych samochodowych silników spalinowych 359M, 4CT90 oraz C22NED opracowano następujące wnioski:

- 1) Bez względu na rodzaj warunków eksploatacji badanych pojazdów obserwuje się znaczący udział biegu jałowego w ogólnym czasie pracy silników. Należy zatem zwrócić szczególną uwagę na ten stan działania silnika w badaniach eksploatacyjnych, a w szczególności w eksperymentach stanowiskowych oraz homologacyjnych.
- 2) W przypadku analizy pracy silnika z wyłączeniem biegu jałowego można stwierdzić, że obserwowana wartość średnia prędkości obrotowej wału korbowego jest bardzo zbliżona (dla każdego z silników) do wartości prędkości obrotowej momentu maksymalnego. Wynika to z podświadomego dążenia operatora (kierowcy) do pracy silnika przy największej jego elastyczno-

The comparison of results for three different engine types proved that the contribution of idle running to total registered worktime of the engine is high (exceeds 12%), and is not affected by vehicle maintenance conditions. If the idle running-cases are omitted in statistical analysis, the observed average rotational speed of the crankshaft take nearly the same value as rotational speed of a maximum moment. For 4CT90 engine it amounts to 2415 turns/min (nominal speed of maximum turning moment is equal to 2500 turns/min, for 359M engine – its expected value reaches 1760 turns/min (a maximum moment occurs at rotational speed 1900 turns/min), and for C22NED engine - 2680 turns/min (at nominal speed of maximum moment 2700 turns/min).

#### 4. Conclusions

The analysis of the studies aimed to compare maintenance of three different car combustion engines: 359M, 4CT90 and C22NED results in drawing the following conclusions:

- 1) It is observed that idle running considerably contributes to total engine worktime with no regard to maintenance conditions of studied vehicles. Special attention should be then paid to that state of engine activity in maintenance studies, in particular in stand and official certification experiments.
- 2) The analysis of engine operation with no cases of idle running resulted in the remark that the average value of rotational speed of the crankshaft is very close to the value of rotational speed of maximum moment (it applies to all engine types). Such a situation is the effect of an unaware driver tendency to operate engine at its hi-

ści, co powoduje bardziej płynną jazdę pojazdu. Co interesujące, odbywa się to bez względu na warunki i rodzaj eksploatacji samochodu.

- 3) Uzyskane wyniki przeprowadzonych badań empirycznych potwierdzają celowość wykonywania takich badań, pomimo dużej ich pracochłonności i znaczących kosztów.

ghest response, what leads to more fluent work of a vehicle, and takes place with no regard to conditions and kind of vehicle maintenance.

- 3) The results certify the aim to carry out maintenance studies, in spite of great labour and considerable costs they consume.

### 5. Literatura

- [1] Drożdźiel P.: *Metoda oceny eksploatacyjnej trwałości tłokowego silnika samochodowego z uwzględnieniem przebiegu rozruchów*. Rozprawa doktorska. Politechnika Lubelska. Lublin, 1998.
- [2] Drożdźiel P., Ignaciuk P., Wośko W.: *Badania wybranych parametrów pracy silnika 4CT90 w warunkach eksploatacji samochodu Lublin III*. Journal of KONES, Internal Combustion Engines, vol. 7, no. 1-2. Permanent Committee of KONES. Warszawa-Lublin, 2000.
- [3] Liscak S., Las P.: *Actual Situation of Bus Fleet Renovation in Conditions of the Slovak Republic*. Journal of KONES, Internal Combustion Engines, vol. 8, no. 1-2. Permanent Committee of KONES. Warszawa-Gdynia, 2001.
- [4] Niewczas A.: *Trwałość zespołu tłok-pierścienie tłokowe-cylinder silnika spalinowego*. WNT, Warszawa, 1998.
- [5] Smalko Z.: *Podstawy eksploatacji technicznej pojazdów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 1998.
- [6] Wendeker M.: *Badania algorytmów sterujących samochodowym silnikiem benzynowym*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2000
- [7] Wendeker M., Czarnigowski J., Hawryluk B.: *Statystyczna ocena warunków pracy samochodowego silnika benzynowego*. Materiały Konferencyjne 25<sup>th</sup> International Scientific Conference on Combustion Engines. KONES'99.
- [8] Poradnik niezawodności. *Podstawy matematyczne*. Wydawnictwa Przemysłu Maszynowego „WEMA”. Warszawa, 1982.

---

**Mgr inż. Jacek Czarnigowski**

**Dr inż. Paweł Drożdźiel**

*Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn*

*Politechnika Lubelska*

*Ul. Nadbystrzycka 36*

*20-639 Lublin*

*tel. 0-83 53-81-499*

*e-mail: jac\_cza@archimedes.pol.lublin.pl*

*e-mail: drozda@archimedes.pol.lublin.pl*

**Mgr inż. Paweł Kordos**

*Katedra Silników Spalinowych*

*Politechnika Lubelska*

*Ul. Nadbystrzycka 36*

*20-639 Lublin*

*tel. 0-83 53-81-499*

*e-mail: kordos@archimedes.pol.lublin.pl*

---