

O ROZRUCHU SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM

START-UP OF A DIESEL ENGINE

W niniejszym artykule przedstawiono problematykę rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym. Omówiono także wybrane parametry tego procesu przejściowego. Miało to na celu usystematyzowanie wybranych pojęć i zagadnień związanych z rozruchem. Przemyslenia zawarte w tym artykule są wynikiem dokonanego przeglądu literatury oraz wieloletnich badań prowadzonych przez autora.

Słowa kluczowe: silnik o zapłonie samoczynny, rozruch

This article presents the problems connected with diesel engine start-up. The chosen parameters of this temporary process of the engine operation are also discussed. The aim of the article was to systemize the selected terms and issues connected with the diesel engine start-up. Conclusions presented in this paper are the result of the overview of the literature, as well as many years of research conducted by the author.

Keywords: Diesel engine, start-up

1. Wstęp

Podczas rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym obserwuje się występowanie wielu negatywnych zjawisk i procesów, które oddziałują nie tylko na silnik, ale także na jego otoczenie. I tak w czasie rozruchu silnika z powodu: niedostatecznego smarowania spowodowanego bezwładnością układu olejania, dużej lepkości oleju smarującego (szczególnie w obniżonych temperaturach) oraz zbyt małej prędkości względnej przemieszczających się elementów następuje wzrost intensywności zużycia się jego par tribologicznych. W trakcie rozruchu obserwuje się także zbyt słabe rozpylenie i odparowanie pierwszych dawek paliwa, co wywołuje wypadanie samozapłonów oraz niecałkowite i niezupełne spalanie bogatej w paliwo mieszanki palnej w cylindrach silnika spalinowego. Przyczynia się to do tego, że podczas rozruchu możemy zaobserwować zwiększoną emisję składników toksycznych w spalinach. W trakcie rozruchu silnika spalinowego występujące znaczne opory ruchu powodują pojawienie się w krótkim czasie dużych wartości natężeń prądu pobieranego przez rozrusznik, co wywołuje nagłe przeciążenia w układzie elektrycznym pojazdu. Dodatkowo, odpowiadające im spadki napięcia na zaciskach akumulatora, mogą być przyczyną nieprawidłowości w funkcjonowaniu innych elektronicznych układów pojazdu.

Dlatego też na rozruch silnika o zapłonie samoczynnym zwraca się szczególną uwagę. Wyrazem tego są prowadzone badania oraz opublikowane prace naukowe [2,8,9,10]. Niniejszy artykuł jest próbą przybliżenia tego procesu przejściowego w działaniu

1. Introduction

At start-up of a self-igniting combustion engine, observe numerous phenomena and processes may be observed which have a negative impact not only on the engine but also on its surroundings. While the engine is starting up, due to insufficient lubrication caused by inertia in the lubrication system, high viscosity of the lubricating oil (particularly at low temperatures), as well as too low relative velocity of moving parts, the intensity of wear and tear of its tribological pairs increases. During engine start-up, atomizing and vaporization of fuel may also be too little, which causes misfiring of the self-ignition, as well as incomplete combustion of the air-fuel mixture rich in fuel within the combustion cylinders. This results in increased emission of toxic components in the exhaust gas. During combustion engine start-up, the significant resistance to motion causes the consumption of large current intensities by the starter, which produces sudden overloads in the vehicle electrical system. Additionally, the corresponding voltage drops on the battery terminals may result in irregularities in the operation of other electronic systems of the vehicle.

Thus, special attention is paid to the start-up of a diesel engine. It is expressed by researches and scientific papers [2,8,9,10]. The purpose of this paper is to introduce this transitory process in the operation of a motor-car diesel engine. It is also to systemize selected terms and issues connected with the process. Conclusions presented in this paper result from an

samochodowego silnika spalinowego. Ma też na celu usystematyzowanie wybranych pojęć i zagadnień z nim związanych. Przemyslenia zawarte w tym artykule są wynikiem dokonanego przeglądu literatury oraz wieloletnich badań prowadzonych przez autora.

2. Definicja rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym

Na początku rozważań należy stwierdzić, że rozruch samochodowego silnika o zapłonie samoczynnym jest stanem koniecznym do zaistnienia jego samodzielnego funkcjonowania. Przez samodzielne działanie silnika rozumie się taką sytuację w której wytwarza on wewnętrznie, poprzez zamianę energii chemicznej zawartej w paliwie w trakcie spalania, energię mechaniczną. Energia ta jest wykorzystywana do pokonania wszystkich oporów występujących w czasie działania silnika.

W literaturze można spotkać wiele definicji rozruchu silnika. I tak rozruch silnika według pozycji [15] to nadanie silnikowi prędkości kątowej przy użyciu obcego napędu aż do chwili rozpoczęcia samodzielnego działania. W pozycjach związanych ze znaczeniem słów w języku polskim [13,14] rozruch opisywany jest jako wprawienie w ruch, uruchomienie urządzenia technicznego; stan przejściowy w trakcie uruchomienia urządzenia technicznego przed osiągnięciem prawidłowego funkcjonowania.

W monografii [10] rozruch silnika (urządzenia technicznego) został zdefiniowany jako proces przejścia ze stanu spoczynku do stanu wypełnienia funkcji użytkowych. W innych publikacjach naukowych [7,9] rozruch bądź zamiennie uruchomienie rozumie się jako okres inicjowania samodzielnego działania poprzez wymuszenie realizacji procesów roboczych za pomocą zewnętrznego źródła energii. Wg norm [16,17] przyjmuje się, że stan samodzielnego działania silnika spalinowego rozpoczyna się w chwili, gdy napięcie na zaciskach i natężenie prądu pobieranego w czasie rozruchu osiągają wartości występujące przy funkcjonowaniu rozrusznika nieobciążonego.

Obecnie, w przypadku samochodowego silnika spalinowego, energia zewnętrzna niezbędna podczas rozruchu dostarczana jest przy pomocy rozrusznika elektrycznego. Oprócz użycia rozrusznika elektrycznego rozruchu silnika możemy dokonać za pomocą energii sprężonego powietrza lub ręcznie przy wykorzystaniu energii człowieka [11].

W niniejszym artykule proponuje się aby rozruch silnika o zapłonie samoczynnym definiować w następujący sposób:

Rozruch silnika spalinowego jest to proces, w którym poprzez dostarczenie energii z zewnątrz i wymuszenie realizacji procesów roboczych następuje doprowadzenie silnika ze stanu spoczynku do stanu samodzielnego działania.

overview of the literature, as well as many years of research conducted by the author.

2. Definition of start-up of a diesel engine

It must be stated at the beginning that start-up of a motor-car diesel engine is a state necessary for its independent operation. Independent operation is understood as a situation in which the engine produces mechanical energy internally, through transforming the chemical energy contained in the fuel in the process of combustion. The energy is used to overcome all resistance present while the engine operates.

Literature gives many definitions of engine start-up. According to [15], start-up is the process of giving the engine angular velocity with the use of external drive until the engine starts operating independently. In Polish literature providing definitions of terms [13, 14], start-up is described as putting in motion, activating a technical device; a transitory state during activation of a technical device before it starts operating properly.

Monograph [10] defines the start-up of an engine (technical device) as a process of transition from standstill to the state of performing practical tasks. In other academic papers [6, 9], start-up or, interchangeably, activation is understood as the period of initiating independent operation through forcing performance of working processes with an external source of energy. According to the standards [16, 17], it is assumed that the state of independent operation of a combustion engine starts at the moment when voltage at the terminals and the intensity of current consumed during the start-up reach the values which occur when an unloaded starter operates.

Currently, in the case of a motor-car combustion engine, the external energy necessary for start-up is provided by an electrical starter. Apart from using an electrical starter, it is also possible to start up an engine with compressed-air or manually, using human energy [11].

It is suggested in this paper that start-up of a diesel engine should be defined in the following way:

Start-up of a combustion engine is a process in which, through providing external energy and forcing performance of working processes, the engine is transitioned from standstill to the state of independent operation.

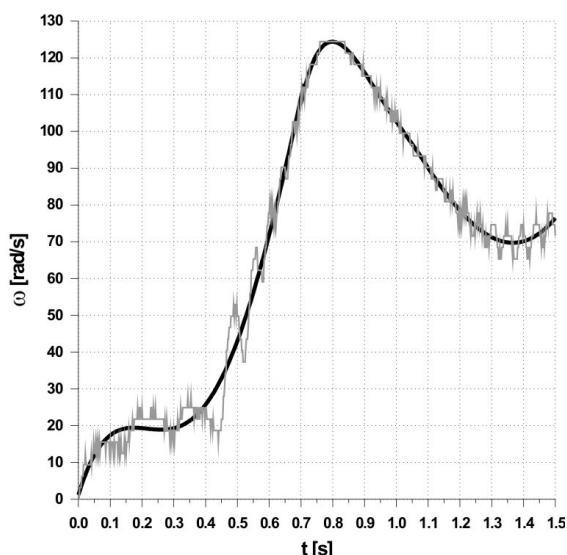
It is also suggested to differentiate between the two terms: start-up of an engine and engine activation. The engine activation should be understood as the process of driving its crankshaft with the use of

Proponuje się dodatkowo rozróżnić dwa pojęcia: rozruch silnika oraz jego uruchamianie. Przez uruchamianie silnika spalinowego należy rozumieć proces napędzania jego wału korbowego przy wykorzystaniu tylko zewnętrznego napędu, którym w samochodzie najczęściej jest rozrusznik elektryczny. Uruchamianie jest więc składową procesy rozruchu.

Podczas rozruchu silnika spalinowego występuje wzrost prędkości kątovej wału korbowego od zera do wartości umożliwiającej jego samodzielne działanie. Rysunek 1 ilustruje przebieg zmian prędkości kątovej wału korbowego oraz jej uśrednionej wartości podczas rozruchu silnika spalinowego 4CT90 o zapłonie samoczynnym. Przebieg zmian prędkości kątovej na rysunku 1 obarczony jest nieściślnością wynikającą z niedokładności pomiaru w którym mierzono zmianę położenia wału korbowego z precyzją $3,6^\circ$.

Na rysunku 1 warto zwrócić uwagę na występującą okresowość sygnału prędkości kątovej wału korbowego wynikającą z cyklicznej pracy silnika i jego poszczególnych cylindrów.

Podczas użytkowania pojazdu może wystąpić przypadek tzw. nieudanego rozruchu silnika spalinowego. Przez nieudany rozruch silnika spalinowego rozumie się proces, podczas którego nie doprowadzono go (z różnych przyczyn) do stanu samodzielnego funkcjonowania. Na rysunku 2 przedstawiono przypadek trwającego 5 s nieudanego rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym. Analizując rysunek 2 należy zwrócić uwagę na występowanie lokalnych maksimum prędkości kątowych wału korbowego. Są one wynikiem wystąpienia pojedynczych samozapłonów mieszanki w cylindrach.



Rys. 1. Przebieg prędkości kątovej wału korbowego i jej uśrednionej wartości podczas rozruchu silnika 4CT90

Fig. 1. The course of angular velocity of the crankshaft and its mean value at the start-up of a 4CT90 engine

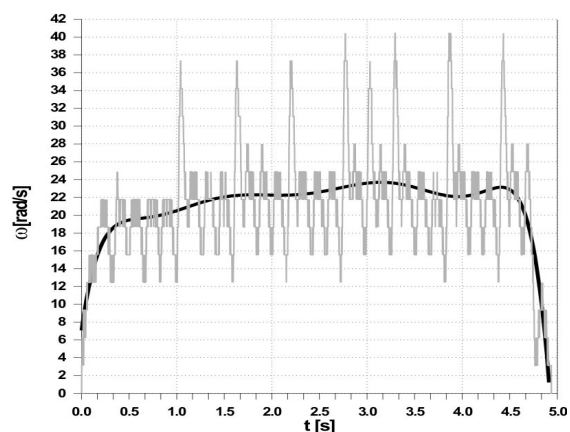
only external drive, which in a motor-car is usually an electrical starter. Thus, activation is a component of the start-up process.

During the start-up of a combustion engine, the angular velocity of the crankshaft increases from zero to the value which enables it to work independently. Figure 1 presents the course of changes of angular velocity of the crankshaft and its mean value at the start-up of a 4CT90 diesel engine.

The course of changes of angular velocity of the crankshaft shown on figure 1 is burdened with the inaccuracy which results from the error of the measurement. The precision of the measurement of the crankshaft position was $3,6^\circ$. The periodicity of the angular velocity signal of the crankshaft, which is the result of the cyclic engine and its cylinders work, is shown on the figure 1.

While a vehicle is used, an unsuccessful start-up event of a combustion engine may occur. Unsuccessful start-up of a combustion engine is understood as a process which failed (for various reasons) to make it operate independently. Figure 2 presents an event of an unsuccessful start-up of the diesel engine which lasted 5 s. Analyzing the figure 2 we should pay attention on local angular velocity maxima of the crankshaft. They are the result of the single self-ignitions of the air-fuel mixture in the engine cylinders.

Once the start-up is finished, the combustion engine itself produces the mechanical energy necessary to overcome its own resistance and resistance to the vehicle's motion, as well as to make it possible for other devices installed in the car (lights, air conditioning, etc.) to operate.



Rys. 2. Przebieg prędkości kątovej wału korbowego i jej uśrednionej wartości podczas nieudanego rozruchu silnika 4CT90

Fig. 2. The course of angular velocity of the crankshaft and its mean value at the unsuccessful start-up of a 4CT90 engine

Po zakończeniu rozruchu silnik spalinowy działając już samodzielnie wytwarza niezbędną energię mechaniczną służącą do pokonania jego oporów własnych i oporów ruchu pojazdu oraz umożliwiającą funkcjonowanie innych urządzeń zamontowanych w samochodzie (światła, klimatyzacja itd.).

3. Etapy rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym

To, że rozruch silnika o ZS należy traktować jako proces wieloetapowy, wynika z analizy przebiegu wartości prędkości kątowej wału korbowego silnika oraz natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik w trakcie fazy ząbienia się rozrusznika z kołem zamachowym wału korbowego. W publikacji [5] wyróżniono cztery etapy rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym. Etap nr 1 zaczyna się od chwili sprzęgnięcia się zębika rozrusznika elektrycznego z kołem zamachowym wału korbowego silnika. Powoduje to ruszanie z miejsca mechanizmów ruchomych silnika. Etap nr 2 to obracanie się wału korbowego silnika z prawie stałą prędkością kątową za pomocą rozrusznika. Te dwa pierwsze etapy stanowią więc proces uruchamiania silnika. W etapie nr 3 obserwuje się występowanie nieregularnego spalania mieszanki w cylindrach silnika wraz z przerywaną pracą rozrusznika. W etapie nr 4 występują już tylko same zapłony mieszanki oraz prędkość kątowa wału korbowego, po początkowym szybkim wzroście i osiągnięciu maksimum lokalnego, stabilizuje się [5].

Zaproponowane cztery etapy wyszczególniono podczas „modelowego” rozruchu samochodowego silnika o zapłonie samoczynnym co zaprezentowanego na rysunku 3.

Analizując rysunek 3 należy zwrócić uwagę na wyraźne widoczne zwiększenia się wartości natężenia prądu oraz zmniejszenie się wartości prędkości kątowej wału korbowego przy wchodzeniu poszczególnych cylindrów w suw sprężania. Jest to wynikiem występowania momentu oporu sprężania mieszanki paliwowo-powietrznej.

Należy zaznaczyć, że w warunkach użytkowania samochodu możliwe są rozruchy silnika o zapłonie samoczynnym, w których np.: etap nr 2 nie występuje wcale, czy też po zaistnieniu etapu nr 3 nastąpi powrót do etapu nr 2. Możliwe są także inne przejścia pomiędzy wyróżnionymi etapami rozruchu [5], co ilustruje graf procesu rozruchu silnika z rysunku 4.

4. Wybrane parametry rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym

Najczęściej do parametrów rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym zaliczamy: maksymalne natężenie prądu pobranego przez rozrusznik, średnie natężenie prądu pobieranego przez rozrusznik podczas

3. Stages of the start-up of the diesel engine

The fact that the start-up of a diesel engine should be perceived as a multi-stage process results from the analysis of the course of change of the engine crankshaft angular velocity, as well as of the current consumed by the starter at the stage of meshing the starter with the crankshaft flywheel. Publication [5] enumerates four stages of the start-up of a self-igniting combustion engine. Stage 1 begins when the pinion of the electric starter couples with the engine crankshaft flywheel. This puts the engine's movable mechanism in motion. Stage 2 consists of the crankshaft turning with nearly constant angular velocity, with the help of the starter. Thus, these first two stages constitute the engine activation process. At stage 3, irregular combustion of air-fuel mixture in the engine cylinders may be observed, as well as misfiring of the starter work. Stage 4 consists of air-fuel mixture ignitions alone, as well as the angular velocity of crankshaft which, after an initial rapid increase and achieving local maximum, stabilizes at one level [5].

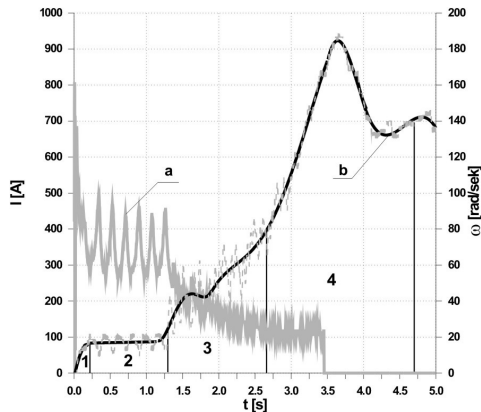
The suggested four stages were identified during the „model” start-up of a motor-car diesel engine, which has been presented in Figure 3.

The figure 3 shows distinct increases of the current values and the decrease of the angular velocity of the crankshaft while the particular cylinders get in the compressing stroke. It is the result of the moment of resistant of the air-fuel mixture compression.

It must be noticed that in conditions of regular vehicle use it is possible that start-ups of diesel engine occur in which, for example, stage 2 does not occur at all or it occurs again after stage 3. Other transitions between the start-up stages are also possible [5], which has been presented in the graph of the start-up of self-combusting engine, in Figure 4.

4. Selected parameters of the start-up of a diesel engine

Usually, the following parameters of the start-up of a diesel engine are differentiated: maximum current intensity consumed by the starter, mean current intensity consumed by the starter during the engine



Rys. 3. Przebieg zmian prędkości kątowej wału korbowego i jej uśrednionej wartości oraz natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik podczas wyróżnionych czterech etapów dla rozruchu silnika 4CT90, a) natężenie, b) prędkość kątowa

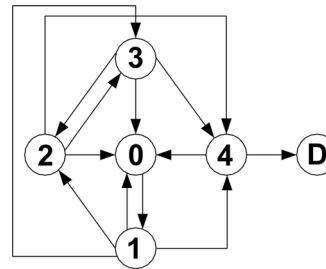
Fig. 3. The course of angular velocity of the crankshaft and its mean value, as well as current intensity consumed by the starter at the four stages of the start-up of 4CT90 engine, a) intensity, b) angular velocity

uruchamiania silnika, czas trwania pracy rozrusznika pod obciążeniem, czas rozruchu, czas przyłożenia napięcia na zaciskach rozrusznika oraz temperaturę silnika i temperaturę oleju smarującego na początku rozruchu [4,9,10]. Temperatura silnika jest określana przez pomiar wartości temperatury cieczy chłodzącej na wyjściu z jego bloku. Temperaturę oleju smarującego w chwili rozpoczęcia rozruchu określa się mierząc jej wartość w misce olejowej silnika.

Maksymalne natężenie prądu pobranego przez rozrusznik występuje na początku rozruchu, w chwili ruszania wału korbowego silnika, co przedstawiono na rysunku 5. Parametr ten charakteryzuje więc opory sił tarcia spoczynkowego występującego w zespołach i elementach ruchomych silnika.

Średnie natężenie prądu pobierane przez rozrusznik podczas uruchamiania silnika (zob. rys. 5), które określa się podczas napędzania wału korbowego silnika tylko samym rozrusznikiem, nazywane jest w literaturze prądem rozruchu [9,10]. Należy powiedzieć, że parametr ten wykorzystuje się do określenia wartości rozruchowego momentu oporowego silnika spalinyowego, na który składają się: moment oporu sprężania mieszanki paliwowo-powietrznej w cylindrach oraz moment sił tarcia kinematycznego występujące w zespołach i układach ruchomych [9,10].

Czas pracy rozrusznika pod obciążeniem, jest to czas jaki upłynął od chwili włączenia rozrusznika do chwili, kiedy jego parametry elektryczne (napięcie i natężenie prądu) osiągną wartości odpowiadające działaniu bez obciążenia. W tym miejscu należy zwrócić uwagę, że czas ten wg norm [16,17] utożsamiany jest z czasem rozruchu. Ze względu jednak



Rys. 4. Graf procesu rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym uwzględniający wszystkie wyróżnione etapy oraz możliwe przejścia pomiędzy nimi; 0 – stan spoczynku silnika, 1 – etap nr 1 rozruchu, 2 – etap nr 2, 3 – etap nr 3, 4 – etap nr 4 rozruchu, D – samodzielne działanie silnika

Fig. 4. Graph of the start-up process of the diesel engine, taking into account all indicated stages and possible transitions between them; 0 – engine standstill, 1 – stage 1 of start-up, 2 – stage 2, 3 – stage 3, 4 – stage 4 of start-up, D – engine independent operation

activation, time of loaded starter operation, start-up time, voltage application to the starter terminals, as well as engine temperature and lubricating oil temperature at the beginning of the start-up [4, 9, 10]. The temperature of lubricating oil at the moment the start-up begins is determined through measurement taken in the oil sump.

The maximum current consumed by the starter appears at the beginning of the start-up, at the moment of putting the engine crankshaft in motion, which has been presented in figure 5. Thus, the parameter characterises the static friction force resistance present in the assemblies and moving elements of an engine.

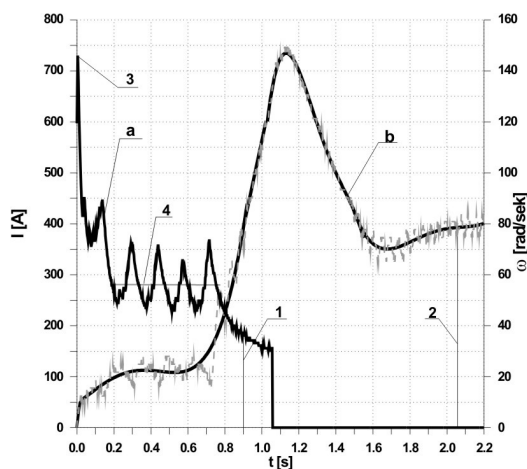
Mean current intensity consumed by the starter during the engine activation which is defined when the starter itself drives the engine crankshaft, which has also been presented in figure 5. This parameter is called the start-up current in the literature [9,10]. It must be said that this parameter is used to determine the value of the combustion engine start-up anti-torque which consists of: resistance moment of compressing the air-fuel mixture in the cylinders and kinetic friction force moment occurring in the engine assemblies and moving elements [9, 10].

The loaded starter operation time equals the time which passes from the moment the starter is switched on until the starter's electrical parameters (voltage and current intensity) reach values corresponding to its operation without load. It must be noted here that, according to the standards [16, 17] this time is equated with the start-up time. However, due to the start-up definition suggested here, the start-up time should be understood as the time which passes from the moment

na zaproponowaną definicję rozruchu przez czas rozruchu należy rozumieć czas, jaki upłynął od chwili ruszenia wału korbowego do chwili osiągnięcia przez niego ustabilizowanej prędkości kątowej, podczas samodzielnego działania silnika o zapłonie samoczynnym. Różnicę pomiędzy czasem pracy rozrusznika pod obciążeniem a czasem rozruchu przedstawiono również na rysunku 5.

Ostatnim parametrem rozruchu związanym z działaniem rozrusznika jest czas przyłożenia napięcia na jego zaciskach. Odpowiada on czasowi, w którym kierowca pojazdu zwiera styki jego obwodu elektrycznego. Czas przyłożenia napięcia na zaciskach rozrusznika jest oczywiście dłuższy od czasu pracy rozrusznika pod obciążeniem, co ilustruje rysunek 6.

Najważniejszymi z wymienionych parametrów rozruchu są: temperatura silnika i temperatura oleju smarującego w chwili rozruchu. Temperatury te oddziałują na wiele innych właściwości rozruchowych silnika [9,10]. Przy zmniejszaniu się wartości omawianych temperatur obserwuje się bowiem pogorszenie właściwości energetycznych układu rozruchowego silnika oraz zwiększenie rozruchowego momentu oporowego [2,6]. Dodatkowo występuje zwiększenie: czasu rozruchu silnika, zużycia paliwa, emisji



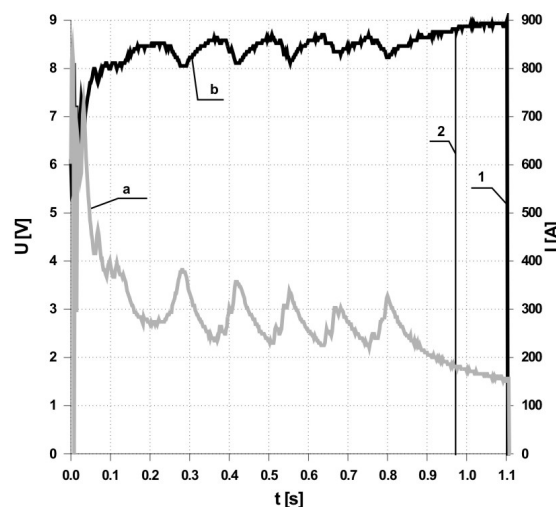
Rys. 5. Przebieg natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik oraz średniej prędkości kątowej wału korbowego i jej uśrednionej wartości podczas rozruchu silnika 4CT90; a) natężenie, b) prędkość kątowa 1 – czas pracy rozrusznika pod obciążeniem, 2 – czas rozruchu wg zaproponowanej definicji rozruchu, 3 – maksymalne natężenie prądu, 4 – średnie natężenie prądu podczas uruchamiania

Fig. 5. The course of current intensity consumed by the starter, as well as of course of angular velocity of the crankshaft and its mean value at start-up of 4CT90 engine; a) intensity, b) angular velocity, 1 – loaded starter operation time, 2 – start-up time acc. do the start-up definition suggested, 3 – maximum intensity of start-up current, 4 – mean current intensity during the engine activation

the crankshaft is put in motion until it reaches stable angular velocity with the engine independently self-igniting. The difference between the loaded starter operation time and the start-up time is also presented in Figure 5.

The last start-up parameter connected with starter operation is the voltage application time on its terminals. This corresponds to the time during which the vehicle driver short-cuts its electrical circuit contacts. Obviously, the voltage application time on the starter terminals is longer than the loaded starter operation time, which is presented in Figure 6.

The most important of the start-up parameters above are engine temperature and lubricating oil temperature at start-up. These temperatures influence many other engine start-up characteristics [9, 10]. This is because decrease of these temperatures is accompanied by deterioration of the energy characteristics of the engine start-up system, as well as by an increase of the start-up anti-torque [2, 7]. Additionally, the following values increase: engine start-up time, fuel consumption, harmful exhaust gas emission, as well as the engine wear and tear [1, 3, 8].



Rys. 6. Przebieg natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik oraz napięcia przyłożonego na zaciskach rozrusznika podczas działania rozrusznika przy rozruchu silnika 4CT90; a – natężenie, b – napięcie, 1 – czas przyłożenia napięcia, 2 – czas pracy rozrusznika pod obciążeniem

Fig. 6. Course of current intensity consumed by the starter and the voltage applied on the starter terminals during the starter operation at the start-up of 4CT90 engine; a – intensity, b – voltage, 1 – voltage application time, 2 – loaded starter operation time

szkodliwych składników spalin oraz zużycia zespołów silnika [1,3,8].

5. Podział temperatur rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym

Analizując występujące podczas użytkowania pojazdu wartości temperatury silnika i oleju smarującego w chwili rozruchu silnika o zapłonie samoczynnym rozruchy można podzielić na dwie grupy: rozruchy „zimne” oraz rozruchy „gorące”. „Gorący” rozruch silnika o zapłonie samoczynnym występuje wtedy, gdy przed przyłożeniem napięcia na zaciski rozrusznika nie występuje konieczność użycia urządzenia ułatwiającego rozruch (świeca żarowa, płomieniowa itd.). Najczęściej temperatura silnika wynosi wtedy powyżej 60°C. W przeciwnym przypadku mamy do czynienia z „zimnym” rozruchem silnika o zapłonie samoczynnym. O wykorzystaniu urządzenia wspomagającego rozruch silników decyduje subiektywnie operator pojazdu lub automatycznie układ sterujący wtryskiem paliwa (dotyczy to nowoczesnych silników).

W grupie rozruchów „gorących” należy wyróżnić rozruch silnika, odbywający się po krótkotrwałej przerwie w jego działaniu, podczas którego nie występuje wzbogacenie mieszanki paliwowo-powietrznej. Nazywany jest on „restartem” silnika [12]. Długość przerwy w działaniu silnika, po której może jeszcze zajść „restart” zależy od zastosowanego elektronicznego układu sterowania zasilaniem paliwem.

Analizując wpływ temperatury na właściwości rozruchowe silnika [9,10] oraz wyników badań własnych warunków użytkowania pojazdu [4] przyjęto, że w grupie „zimnych” rozruchów wyodrębnić możemy: rozruchy przy umownej temperaturze silnika mniejszej niż 0°C, rozruchy przy umownej temperaturze silnika zawierającej się w granicach (0÷20)°C oraz rozruchy przy umownej temperaturze silnika zawierającej się w granicach (20÷60)°C.

Podstawą przyjęcia powyższej klasyfikacji była analiza wpływu czasu postoju pojazdu z wyłączonym silnikiem na jego temperaturę w chwili rozruchu. W trakcie dnia użytkowania pojazdu obserwuje się postoje z wyłączonym silnikiem trwające co najmniej 120 min. W tym czasie temperatura silnika zmniejsza się, w zależności od panujących warunków atmosferycznych, do zakresu (20÷60)°C. Rozruchy przy umownej temperaturze silnika zawierającej się w granicach (0÷20)°C są wynikiem dłuższych postojów pojazdu. Rozruchy przy umownej temperaturze silnika mniejszej niż 0°C występują w okresie zimowym użytkowania pojazdu. Klasyfikację rozruchów silnika o zapłonie samoczynnym przedstawiono na rysunku 7.

5. Temperature division of the start-up of a diesel engine

According to analyses of the temperatures of engine and lubricating oil present at the start-up of diesel engine, engine start-ups may be divided into two groups: „cold” start-ups and „hot” start-ups. „Hot” start-up of a diesel engine occurs when before voltage is applied to the starter terminals, it is not necessary to use a start-up facilitating device (pre-ignition plug, soft-sparking plug, etc.). Usually, in this case the engine temperature is above 60°C. In other situations, the „cold” start-up of a diesel engine takes place. The decision to use the device supporting the start-up of a diesel engine is taken either subjectively, by the vehicle operator, or automatically, by the system regulating fuel injection (in the case of modern engines).

Among „hot” start-ups, engine start-up taking place after a short break in operation must be mentioned; the enrichment of fuel mixture does not take place then. This situation is called an engine „restart” [12]. The period of break in engine operation after which a restart is still possible depends on the use of an electronic fuel supply regulation system.

After an analysis of the impact of temperature on engine start-up characteristics [9, 10] as well as of own tests of vehicle use conditions [4], it was assumed that among „cold” start-ups the following may be distinguished: start-ups at a conventional engine temperature lower than 0°C, start-ups at a conventional engine temperature between 0 and 20°C and start-ups at a conventional engine temperature between 20 and 60°C.

The above classification is based on the analysis of the impact the vehicle standstill time has on its temperature at start-up. When vehicles are regularly used, standstills with the engine switched off may last for at least 120 min. During this period, the engine temperature decreases, depending on the weather conditions, down to (20÷60)°C. Start-ups at a conventional engine temperature between 0 and 20°C result from longer vehicle standstills. Start-ups at a vehicle conventional temperature lower than 0°C occur in the winter. The classification of start-ups of diesel engines has been presented in Figure 7.

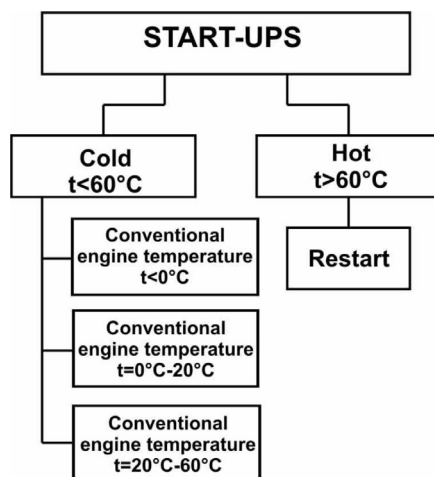
The literature describing this subject also defines the critical temperature and the immediate start-up temperature [9, 17]. The critical start-up temperature is the lowest ambient temperature at which (in the test conditions established) it is possible to make the thermally stabilized engine operate independently.

W literaturze zagadnienia rozróżnia się także temperaturę graniczną oraz temperaturę natychmiastowego rozruchu silnika [9,17]. Graniczna temperatura rozruchu jest to najniższa temperatura otoczenia, przy której (zgodnie z ustalonymi warunkami badań) można doprowadzić ustabilizowany termicznie silnik do stanu samodzielnego działania. Temperatura rozruchu natychmiastowego określona jest przez temperaturę silnika przy której doprowadzony jest on do samodzielnego funkcjonowania w czasie krótszym niż 3 s od chwili przyłożenia napięcia na zaciski rozrusznika [9,17].

Na podstawie badań własnych autor proponuje dodatkowo wprowadzić pojęcie tzw. pierwszego dziennego rozruchu silnika spalinowego. Rozruch taki występuje po trwającym minimum 8 h nocnym postoju pojazdu na otwartej przestrzeni lub w pomieszczeniu. Temperatura pierwszego dziennego rozruchu silnika spalinowego jest równa temperaturze powietrza otaczającego pojazd [4].

The immediate start-up temperature is defined as the engine temperature at which the engine is made to operate independently within less than 3 s from the time the voltage is applied to the activator terminals [9, 17].

On the basis of his own experiments, the author suggests also that a concept of first daily start-up of a combustion engine should be introduced. Such a start-up takes place after a minimum 8-hour vehicle standstill in the open air or in a building. The temperature of the first daily start-up of a diesel engine equals the vehicle ambient temperature [4].



Rys. 7. Klasyfikacja „temperaturowa” rozruchów silnika o zapłonie samoczynnym
Fig. 7. Temperature classification of the start-up of the diesel engine

6. Podsumowanie

W artykule, będącym posumowaniem analizy literaturowej oraz eksploatacyjnych i stanowiskowych badań własnych autora, omówiono wybrane zagadnienia związane z rozruchem silnika o zapłonie samoczynnym.

W opracowaniu zaproponowano rozróżnianie pojęć procesu rozruchu od uruchamiania silnika spalinowego. Omówiono rozruch silnika o zapłonie samoczynnym jako złożony proces wieloetapowy. Przedstawiono także najczęściej stosowane przy opisie procesu rozruchu parametry, które są w większości związane z parametrami działania rozrusznika elektrycznego. Zaproponowano nowy sposób określania czasu trwania rozruchu, który uwzględni przyjętą w artykule definicję. W artykule przedstawiono także

6. Summary

This paper has summarized an analysis of literature, as well as operational and standing tests conducted by the author; it has also described selected issues connected with the start-up of a diesel engine.

The paper has proposed de-differentiating the notions of start-up and activation of a combustion engine. The start-up of a diesel engine has been described as a complex, multi-stage process. The parameters most frequently used for describing the start-up process have been presented; most of them are connected with the parameters of electrical starter operation. A new method of determining the start-up time has been proposed taking into account the definition used in the paper. Temperature classification of the start-up of the diesel engine has also been presented here.

propozycję klasyfikacji „temperaturowej” rozruchu silnika o ZS.

Dokonane usystematyzowanie pojęć i zagadnień związanych z rozruchem miało przede wszystkim na celu lepsze przybliżenie i zrozumienie tego procesu przejściowego, który jest stanem koniecznym dla doprowadzenia silnika o zapłonie samoczynnym do samodzielnego działania.

The aim of the systematization of notions and issues connected with the start-up is to introduce and explain the transitory process which is necessary to make a diesel engine operate independently.

7. References

- [1] Bielaczyc P., Merkisz J., Pielecha J.: *Stan cieplny silnika spalinowego a emisja związków szkodliwych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań 2001.
- [2] Buck W. H., Lohuis J. R.: *Lubricant effects on low-temperature diesel engine cold starting*. SAE Technical Paper Series. No. 940097. 1994, str. 117–124.
- [3] Drożdźiel P., Ignaciuk P.: *Zużycie tulei cylindrowych podczas rozruchu spalinowego silnika 4C90 o zapłonie samoczynnym*. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, z. 4 (136), vol. 38. Polska Akademia Nauk, Komitet Budowy Maszyn, Radom 2003, str. 22–30.
- [4] Drożdźiel P.: *Badania wybranych parametrów rozruchu samochodowego silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym*. Eksploatacja silników spalinowych, Zeszyt nr 13. Rozruch silników spalinowych. Komisja Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa Polska Akademia Nauk Oddział w Lublinie, Politechnika Szczecińska. Szczecin 2005, str. 53–60.
- [5] Drożdźiel P.: *Nowa klasyfikacja etapów rozruchu silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym*. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, z. 4(144), vol. 40, Polska Akademia Nauk, Komitet Budowy Maszyn, Radom 2005, str. 87–96.
- [6] Duval H.: *Computer model of the lead/acid starter battery in automobiles*. Journal of Power Sources. No. 53 (1995). Elsevier 1995. str. 351–357.
- [7] Golec K.: *Rozruch tłokowych silników spalinowych w obniżonych temperaturach otoczenia*. Monografia nr 60. Politechnika Krakowska. Kraków 1987.
- [8] Miller A. L., Ginter D., Seaba J. P., Loyalka S. K., Ghosh T. K.: *A study to investigate the capability of adsorbents for reduction of cold-start emissions*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part D, Journal of Automobile Engineering. Vol. 212, 1998, str. 525–532.
- [9] Mysłowski J.: *Rozruch silników samochodowych z zapłonem samoczynnym*. WNT. Warszawa 1996.
- [10] Pszczołkowski J.: *Charakterystyki rozruchowe silników o zapłonie samoczynnym*. Wyd. SEPP „Cogito”. Zbąszynek 2004.
- [11] Wajand J. A., Wajand J. T.: *Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe*. WNT. Warszawa 1997.
- [12] Wendeker M.: *Sterowanie wtryskiem benzyny w silniku samochodowym*. Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Politechnika Lubelska. Lublin 1999.
- [13] Słownik współczesnego języka polskiego. WILGA, Warszawa 1996.
- [14] Słownik języka polskiego. PWN, Warszawa, 2004 (wersja elektroniczna 1.0).
- [15] Leksykon naukowo-techniczny. WNT, Warszawa, 2001.
- [16] BN-74/1345-09 Silniki z zapłonem samoczynnym – Określenie granicznej temperatury rozruchu.
- [17] BN-82/1374-10 Silniki samochodowe. Badania stanowiskowe – Określenie właściwości rozruchowych w niskich temperaturach.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2005–2007 jako projekt badawczy

Dr inż. Paweł Drożdźiel

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn
Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 36
tel. 081 53 84 200
e-mail: p.drozdziel@pollub.pl
