

WPLYW PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ NA WŁAŚCIWOŚCI ROZRUCHOWE SILNIKÓW Z ZAPŁONEM SAMOCZYNNYM

Karol Franciszek Abramek

Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych, Politechnika Szczecińska

Streszczenie. Celem pracy było określenie wpływu prędkości obrotowej silnika z zapłonem samoczynnym na właściwości rozruchowe oraz wpływu temperatury rozruchu na minimalną prędkość rozruchu badawczego silnika SB-3.1.

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, rozruch, temperatura rozruchu, właściwości rozruchowe

WSTĘP

Jednym z ważniejszych problemów w eksploatacji pojazdów samochodowych wyposażonych w tłokowy silnik spalinowy o zapłonie samoczynnym w okresie zimowym (niskie temperatury) jest trudność rozruchu silnika. Zbyt niska temperatura może spowodować zakłócenia i nieprawidłową pracę układu zasilania w paliwo, jak i układu smarowania silnika.

Niska temperatura otoczenia powoduje, że do silnika zasysane jest powietrze o niższej temperaturze, rośnie lepkość oleju smarującego, a wskutek tego rosną opory obracania wałem korbowym i maleje prędkość obrotowa rozruchu (wpływ ma również spadek sprawności elektrycznej układu rozruchu). Spadek prędkości obrotowej przy rozruchu powoduje wzrost przedmuchów gazów do skrzyni korbowej na jeden obrót wału korbowego, ponieważ wydłuża się czas sprężania oraz wzrost wymiany ciepła ze ściankami. Czynniki te obniżają ciśnienie i temperaturę końca sprężania. Niższa temperatura otoczenia powoduje wzrost przedmuchów wywołanych dylatacją cieplną, wzrost lepkości oleju napędowego, a także spadek jakości rozpylenia paliwa. Wszystkie wymienione czynniki wpływają na pogorszenie warunków samozapłonu paliwa.

Jednym z ważnych czynników, od których zależy skuteczny rozruch jest prędkość obrotowa wału korbowego, ponieważ wpływa na wytworzenie się w cylindrze silnika odpowiednich warunków, niezbędnych do zapalenia się wtryskiwanego paliwa w danej temperaturze otoczenia. Prędkość obrotowa przy rozruchu (właściwie minimalna prędkość obrotowa) zależy od wielu czynników, między innymi: temperatury otoczenia

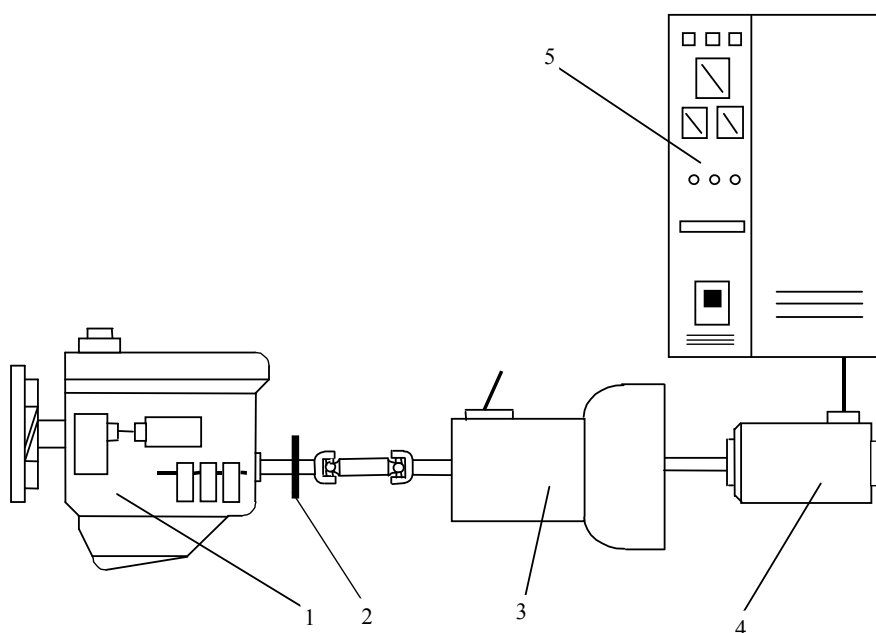
(powietrza), konstrukcji silnika, jego stanu technicznego (zużycia), jak i stanu cieplnego oraz rodzaju oleju smarującego, jak i napędowego.

CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy było określenie wpływu prędkości obrotowej na właściwości rozruchowe badawczego, jednocylindrowego silnika SB-3.1 w różnych (ujemnych) temperaturach otoczenia. W pracy określono także wpływ temperatury otoczenia na minimalną prędkość obrotową, przy której silnik SB-3.1 mógł uruchomić się bez dodatkowych urządzeń wspomagających rozruch i w czasie nie dłuższym niż 15 sekund.

STANOWISKO BADAWCZE

Badania właściwości rozruchowych silnika SB-3.1 przeprowadzono w komorze niskich temperatur znajdującej się w Katedrze Eksploatacji Pojazdów Samochodowych Politechniki Szczecińskiej.



Rys. 1. Widok stanowiska do zewnętrznego napędu silnika SB-3.1 umieszczonego w komorze niskich temperatur: 1 – badany silnik, 2 – sprzęgło jednokierunkowe, 3 – skrzynia biegów i sprzęgło cierne, 4 – silnik trójfazowy, 5 – pulpit sterowniczy [Abramek 2002]

Fig. 1. Installation appearance of the extremal engine drive placed in the low-temperature chamber: 1 – the engine studied, 2 – one-way clutch, 3 – gearbox and clutch, 4 – three-phase motor, 5 – control console

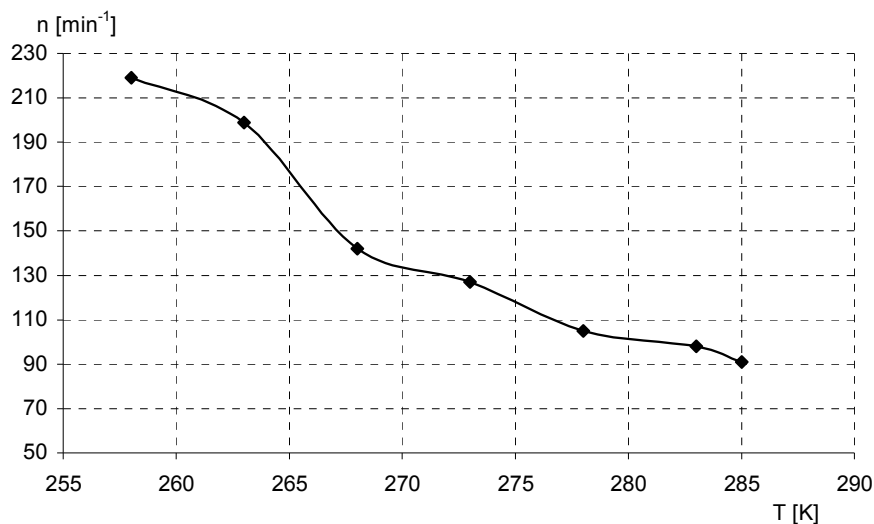
Komora wyposażona jest w dwa agregaty chłodnicze. Wykorzystując zewnętrzne urządzenie do napędu tłokowych silników spalinowych w pierwszej serii pomiarów,

wyznaczono wpływ temperatury otoczenia na minimalną prędkość obrotową, przy której mógł nastąpić rozruch silnika SB-3.1 i maksymalny czas rozruchu nie był większy niż 15 sekund. Tego typu napęd wyeliminował niekorzystny wpływ (jaki występuje przy napędzie z rozrusznika) zmian prędkości obrotowej wału korbowego silnika (na skutek spadku napięcia na zaciskach akumulatora) i dał możliwość ustawienia dowolnej prędkości rozruchowej silnika. W drugiej serii pomiarów wyznaczono minimalny czas potrzebny do uruchomienia silnika w funkcji temperatury otoczenia dla jednakowej, stałej prędkości obrotowej wału korbowego silnika wynoszącej $n = 172 \pm 1 \text{ min}^{-1}$. Widok stanowiska do zewnętrznego napędu silnika SB-3.1 pokazano na rys. 1.

WYNIKI POMIARÓW

Przed określeniem wpływu prędkości obrotowej na właściwości badanego, jednocylindrowego silnika SB-3.1 przeprowadzono badania wtryskiwaczy i pompy wtryskowej. Sprawdzono luz zaworowy, fazy rozrządu oraz wymieniono filtr paliwa i olej silnikowy. Silnik SB-3.1 miał nominalny, geometryczny stopień sprężania $\varepsilon = 15,75$ (grubość podkładki pod głowicą $g = 6,10 \text{ mm}$).

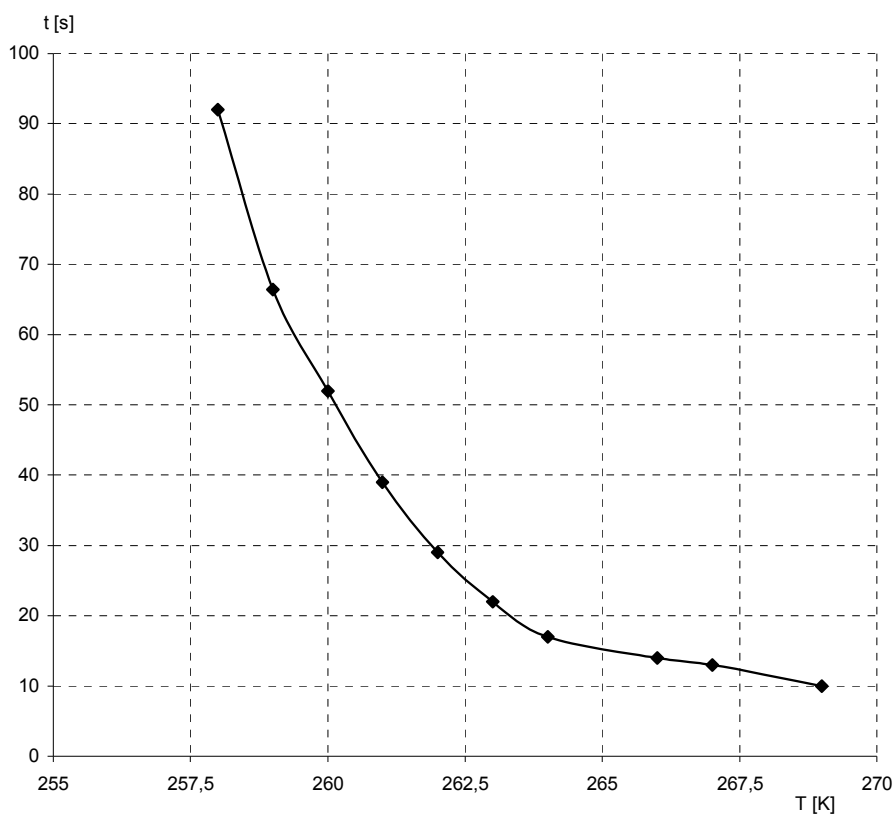
Doświadczalnie wyznaczono minimalną prędkość obrotową wału korbowego silnika w temperaturze, w której silnik podjął samodzielną pracę w czasie krótszym niż 15 sekund. Wynik pomiarów jest średnią arytmetyczną z trzech przeprowadzonych badań. Zależność minimalnej prędkości obrotowej przy rozruchu silnika SB-3.1 w funkcji temperatury otoczenia przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Wpływ temperatury otoczenia na minimalną prędkość obrotową przy rozruchu silnika SB-3.1

Fig. 2. The influence of the environmental temperature on the minimum rotational speed at the SB-3.1 engine starting

Zakładając, że inne czynniki konstrukcyjne i eksploatacyjne są stałe, prędkość obrotowa wału korbowego wpływa na ciśnienie i temperaturę w cylindrze w końcu suwu sprężania, zapewniając samozapłon wtrysniętego paliwa. Z rys. 2 wynika następująca prawidłowość, by nastąpił zapłon wtrysniętego oleju napędowego, minimalna prędkość rozruchu musi rosnąć wraz ze spadkiem temperatury otoczenia. Jednakże zaobserwowano, że w temperaturze 257 K zwiększanie prędkości obrotowej powyżej 215 min^{-1} powoduje wzrost czasu rozruchu. Zjawisko to można wytłumaczyć tym, iż warunkiem koniecznym do uzyskania samozapłonu paliwa jest nie tylko odpowiednio wysoka temperatura w cylindrze, ale również okres jej trwania. Stąd zwiększenie prędkości obrotowej powoduje wzrost szczytowej temperatury, jednak czas utrzymania odpowiednio wysokiej temperatury jest powiązany z okresem opóźnienia samozapłonu, który jest dłuższy w niskich temperaturach [Mysłowski 1996].



Rys. 3. Zależność czasu rozruchu od temperatury dla silnika SB-3.1 przy prędkości rozruchu $n = 172 \pm 1 \text{ min}^{-1}$

Fig. 3. The dependence of the starting time on the SB-3.1 engine temperature at the starting speed $n = 172 \pm 1 \text{ min}^{-1}$

Za graniczną temperaturę rozruchu w danych warunkach uznano taką, przy której silnik podejmował samodzielną pracę, natomiast obniżenie jej o 1 K powodowało wynik negatywny. Moment ustalenia się wskazań woltomierza i amperomierza na wartościach odpowiadających pracy rozrusznika nieobciążonego świadczyły o podjęciu samodzielną pracy przez silnik. Temperatura graniczna była wyznaczona jako średnia arytmetyczna trzech pomiarów przeprowadzonych w niezmiennych warunkach. Rozruch prowadzono do czasu, aż silnik podjął samodzielną pracę. W trakcie każdego rozruchu mierzono prędkość i czas obracania wału, aż silnik zaczął samodzielnie pracować. Na rys. 3 przedstawiono wyniki pomiarów wpływu temperatury rozruchu (otoczenia) na czas konieczny do uruchomienia silnika SB-3.1 przy prędkości rozruchu $n = 172 \pm 1 \text{ min}^{-1}$.

W temperaturze otoczenia 257 K i przy prędkości obrotowej 172 min^{-1} , mimo bardzo długiego czasu obracania silnikiem, rozruchu nie uzyskano. Stąd wniosek, że mimo długiego czasu prób, zbyt niska prędkość obrotowa uniemożliwiała rozruch. Zbyt niska prędkość rozruchowa wpłynęła na wysokość temperatury końca suwu sprężania, która powinna przekroczyć 250÷350 K (tj. temperaturę samozapłonu paliwa), by mógł nastąpić samozapłon mieszaniny paliwowo-powietrznej, a tym samym skuteczny rozruch [Mysłowski 1996].

W silniku SB-3.1 zamknięcie zaworu ssącego następuje 57° OWK po DMP. W związku z tym, część zassanego do cylindra ładunku ulega „wypchnięciu”. Ma to decydujące znaczenie właśnie w okresie zimnego rozruchu dla prędkości rozruchowych. Powoduje zmianę rzeczywistego stopnia sprężania ε_r i rzeczywistej objętości skokowej V_{sr} . Dla geometrycznego stopnia sprężania $\varepsilon = 15,75$ rzeczywisty stopień sprężania i rzeczywista objętość skokowa podczas rozruchu wynosi:

$$V_{sr} = V_s - V_x \quad (1)$$

gdzie:

V_s – objętość skokowa,

V_x – objętość strat (wyznaczona na drodze tłoka po której następuje zamknięcie zaworu ssącego).

$$\varepsilon_r = \frac{V_{sr} + V_k}{V_k} \quad (2)$$

gdzie:

V_k – objętość komory spalania.

Podstawiając dane silnika SB-3.1:

$D = 127 \text{ mm}$ (średnica cylindra),

$s = 146 \text{ mm}$ (skok tłoka),

$r = 0,5 \cdot s = 73 \text{ mm}$ (długość ramienia wykorbienia)

$\alpha = 57^\circ$ OWK po DMP (kąt zamknięcia zaworu ssącego)

do wzorów (1) i (2) otrzymujemy:

$$V_s = 1848,54 \text{ cm}^3$$

$$V_{sr} = 1423,38 \text{ cm}^3$$

$$\varepsilon = 15,75$$

$$\varepsilon_r = 12,36$$

Geometryczny stopień sprężania ma bezpośredni wpływ na wysokość temperatury końca suwu sprężania. Należy pamiętać, że w wyniku ustawienia faz rozrządu w silnikach, rzeczywisty stopień sprężania osiąga mniejsze wartości. Można zatem stwierdzić, że trudności rozruchowe silnika z zapłonem samoczynnym (przy braku regulacji faz rozrządu) spowodowane są zmianą rzeczywistego stopnia sprężania, co wpływa na obniżenie ciśnienia końca suwu sprężania, a tym samym na wysokość temperatury końca suwu sprężania (obniżenie).

WNIOSKI

Na podstawie literatury oraz uzyskanych wyników badań sformułowano następujące wnioski:

1. Prędkość obrotowa wału korbowego silnika jest jednym z ważniejszych czynników, od których zależy skuteczny rozruch. Przy wolnych obrotach wału korbowego silnika ścianki cylindra nagrzewają się od sprężanego ładunku powietrza oraz na skutek tarcia tłoka o ścianki cylindra, ale mimo to, temperatura wewnątrz cylindra może być zbyt niska, by nastąpił rozruch.
2. Badania wpływu prędkości obrotowej na właściwości rozruchowe silnika SB-3.1 w niskich temperaturach (do 258 K) wykazały, że prędkość obrotowa 172 min^{-1} przy rozruchu jest całkowicie wystarczająca, aby silnik podjął samodzielną pracę. Czas przygotowania mieszanki i okres trwania temperatury jej zapłonu jest dłuższy przy tej prędkości obrotowej, co znacznie skraca czas rozruchu.
3. Nie należy nadmiernie zwiększać prędkości rozruchowej. Im większa prędkość obrotowa wału korbowego silnika, tym krótszy czas na odparowanie i zmieszanie się paliwa z powietrzem w cylindrze. Zwiększa się ciśnienie i temperatura w końcu suwu sprężania, ale maleje czas oddziaływania wysokiej temperatury na paliwo, co wpływa na wydłużenie czasu rozruchu.
4. W silnikach (np. SB-3.1), w których nie ma automatycznej regulacji faz rozrządu w fazie rozruchu rzeczywisty stopień sprężania osiąga dużo mniejsze wartości od geometrycznego stopnia sprężania, co ma decydujące znaczenie podczas zimnego rozruchu silnika (utrudniony rozruch). Opóźnienie zamknięcia zaworu ssącego w czasie rozruchu powoduje wypchnięcie części ładunku powietrza przez ten zawór za pomocą tłoka przemieszczającego się w stronę GMP. Wpływa to na spadek geometrycznej wartości stopnia sprężania do rzeczywistej, a tym samym na utrudnienie rozruchu.
5. Prędkość kątowa wału korbowego w czasie rozruchu jest zmienna. Spowodowane jest to zmiennością momentu oporu wskutek sprężania i zmiennością oporu bezwładności mas wirujących. Dla stałego momentu rozruchowego nierównomierność obrotów jest funkcją liczby i wielkości cylindrów oraz rzeczywistego stopnia sprężania.

PIŚMIENNICTWO

- Abramek K. F., 2002: Ocena stanu zużycia układu TPC na podstawie pomiarów przedmuchów do skrzyni korbowej w silniku z zapłonem samoczynnym. Rozprawa doktorska. Politechnika Szczecińska, Szczecin
- Mysłowski J., 1996: Rozruch silników samochodowych z zapłonem samoczynnym. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa

THE INFLUENCE OF ROTATION SPEED ON THE STARTING PROPERTIES
OF THE COMPRESION IGNITION ENGINES

Summary. The aim was to determine the influence of the rotational speed of the compression ignition engine on the starting properties and the influence of the starting temperature on the influence of the minimum starting speed of the tested SB-3.1 engine.

Key words: internal-combustion engine, starting, starting temperature, starting properties

Recenzent: prof. dr hab. Mikołaj Miatluk