

Tomasz OSIPOWICZ

WPLYW PARAMETRÓW REGULACYJNYCH SILNIKA Z ZAPŁONEM SAMOCZYNNYM NA EMISJĘ SUBSTANCJI TOKSYCZNYCH DO OTOCZENIA ORAZ ZUŻYCIE PALIWA

Streszczenie

Celem artykułu było omówienie wpływu kąta wyprzedzenia wtrysku oraz ciśnienia wtrysku na emisję substancji toksycznych do atmosfery oraz jednostkowe zużycie paliwa. Badania eksperymentalne zostały przeprowadzone przy użyciu silnika ZS z bezpośrednim wtryskiem paliwa. Podczas badań silnik pracował według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej. Przeprowadzone badania wykazały, że na emisję substancji toksycznych do atmosfery wpływ mają zarówno kąt wyprzedzenia wtrysku jak i ciśnienie wtrysku. Analiza przeprowadzonych badań wykazała, że istnieje możliwość ograniczenia związków toksycznych w gazach wylotowych oraz zmniejszenie jednostkowego zużycia paliwa poprzez zmianę parametrów regulacyjnych silnika ZS.

WSTĘP

Rozwój silników spalinowych ukierunkowany jest w stronę ograniczania emisji substancji toksycznych do atmosfery oraz zmniejszania zużycia paliwa. Dyrektywy europejskie zwiększają restrykcyjność dotyczącą standardu emisji spalin w nowych samochodach sprzedawanych na terenie Unii Europejskiej. Aby sprostać normom, konstruktorzy wprowadzają coraz nowsze rozwiązania konstrukcyjne i regulacyjne silników.

Podstawowe parametry regulacyjne silnika z zapłonem samoczynnym to kąt wyprzedzenia wtrysku oraz ciśnienie wtrysku. Kąt wyprzedzenia wtrysku jest parametrem określającym przebieg charakterystyki wtrysku paliwa w silniku z zapłonem samoczynnym [1]. Jego optymalne ustawienie poprawia organizację procesu spalania w silniku. Wpływa to na zawartość substancji toksycznych w gazach wylotowych oraz na zużycie paliwa. Ciśnienie wtrysku jest parametrem regulacyjnym, wpływającym na strugę rozpylanego paliwa. Badania naukowe dowodzą, że zwiększając wartość ciśnienia wtrysku paliwa, osiągamy większą penetrację komory spalania, mniejszą średnicę kropel paliwa oraz większą szybkość rozchodzenia się strugi. Czynniki te mają bezpośredni wpływ na formowanie się mieszaniny paliwowo-powietrznej. Sprawne tworzenie mieszaniny palnej pozwala skrócić okres opóźnienia samozapłonu, co wpływa na toksyczność spalin oraz zużycie paliwa.

Główne toksyny wchodzące w skład spalin silnika z zapłonem samoczynnym to: tlenki azotu (NO_x), tlenek węgla (CO) oraz zadymienie spalin. Tlenki azotu (NO_x) są toksycznymi związkami gazów spalinowych [3]. Powstają podczas procesu spalania w wysokich temperaturach. Jest to gaz bezwonny, bezbarwny, który w nieznacznym stopniu rozpuszcza się w wo-

dzie. Ich działanie wpływa na powstawanie smogu oraz kwaśnych deszczy. Kolejnym silnie toksycznym produktem ubocznym procesu spalania jest tlenek węgla (CO). Powstaje on w wyniku niepełnego spalania węgla, a więc w obszarach komory z niedostateczną ilością tlenu. Powstawaniu tlenku węgla sprzyja również niedostateczne rozpylenie, odparowanie paliwa, wymieszanie z powietrzem oraz zbyt niska temperatura spalania. Jest to gaz bezwonny, bezbarwny a zatrucia nim prowadzą nawet do śmierci. Zadymienie spalin jest ekologicznym wskaźnikiem silników ZS i zależy ono od zawartości sadzy w gazach wylotowych. Sadza powstaje w wyniku termicznego rozpadu cząstek paliwa w wysokich temperaturach, a następnie ulega polimeryzacji produktów rozpadu [4]. Sadza samo w sobie nie jest toksyczna, jednak wydzielana ze spalinami zawiera pochłonięte węglowodory, które powodują, że staje się substancją trującą.

1. OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO

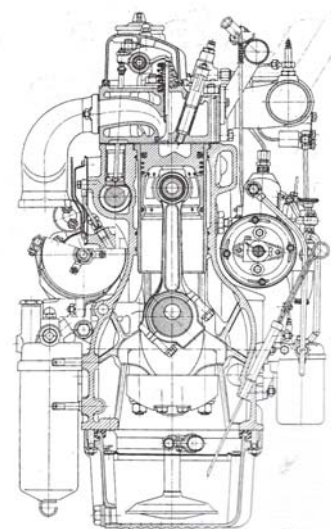
Badania eksperymentalne przeprowadzono na sześciocyndrowym silniku typu 359 z bezpośrednim wtryskiem paliwa. Dane techniczne silnika przedstawiono w tabeli 1 [2].

Tab. 1. Podstawowe dane techniczne silnika 359

Parametry	Silnik 359
Układ cylindrów	rzędowy pionowy
Liczba cylindrów	6
Średnica cylindra [m]	0,11
Skok tłoka [m]	0,12
Pojemność skokowa [dm ³]	6,846
Stopień sprężania	17
Moc maksymalna przy 2800 min ⁻¹ [kW]	110
Maksymalny moment obrotowy przy 1400 min ⁻¹ [Nm]	432
Minimalne jednostkowe zużycie paliwa [g/kWh]	223
Kolejność zapłonów	1-5-3-6-2-4
Kąt początku tłoczenia	18,5°OWK przed GMP
System wtrysku	bezpośredni
Pompa wtryskowa	P76 G10
Wtryskiwacz trójotworowy	typ: H1LMK148

Źródło: [2].

Na rysunku 1 przedstawiono przekrój poprzeczny silnika 359, a w tabeli 2 – podstawowe dane techniczne urządzeń pomiarowych wykorzystanych na tym etapie badań.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny silnika 359

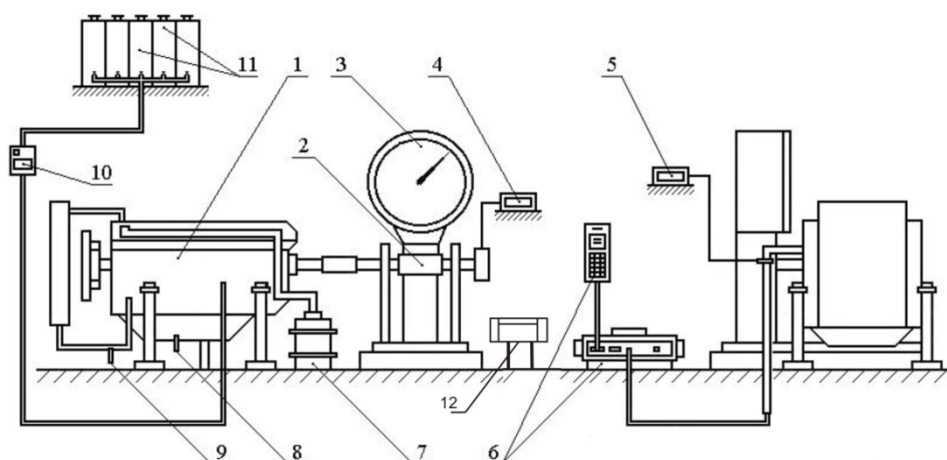
Źródło: [2].

Tab. 2. Urządzenia pomiarowe stanowiska badawczego z hamulcem hydraulicznym i silnikiem 359

Urządzenia pomiarowe	Zakres	Dokładność wskazań
Urządzenie dynamometryczne: dynamometr hamulca wodnego HWZ 3	0÷100 kG	0,1 kG
Aparatura kontrolno-pomiarowa: obrotomierz typ MK-3A (klasa 1,5)	0 ÷ 3000 obr/min	60 obr/min
wagowa miernica elektroniczna (czas zużycia 103 g paliwa)		
dymomierz MDO 2	0 ÷ 999,9 s	0,1 s
analizator spalin IMR 1500	0 ÷ 9,99 l/m	0,01 l/m
miernik temperatury spalin typ K EMT-10	-100 ÷ +1200°C	1°C
miernik temperatury oleju typ MK-3A (klasa 1,5)	0 ÷ 100°C	2°C
miernik temperatury wody typ MK-3A (klasa 1,5)	0 ÷ 100°C	2°C
manometr cieczowy dwuramienny (U-rurka)	0 ÷ 1000 mm H ₂ O	1 mm H ₂ O

Źródło: Opracowanie własne.

Na rysunku 2 przedstawiono schemat stanowiska eksperymentalnego wyposażonego w silnik 359 oraz hamulec hydrauliczny.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego: 1 – silnik, 2 – hamulec wodny, 3 – dynamometr, 4 – obrotomierz, 5 – miernik temperatury spalin, dymomierz MDO, 7 – filtr powietrza G-57, 8 – miernik temperatury oleju, 9 – miernik temperatury wody na wylocie silnika, 10 – wagowa miernica elektroniczna, 11 – zbiorniki paliwowe, 12 – analizator spalin IMR 1500

Źródło: Opracowanie własne.

Do wyznaczenia charakterystyk jednostkowego zużycia paliwa niezbędne było określenie mocy użytecznej silnika. Z tego względu wykorzystano stanowisko hamowniane, wyposażone w przyrządy pomiarowe, w którego skład wchodziły: urządzenie dynamometryczne, zestaw aparatury kontrolno-pomiarowej oraz urządzenia pomocnicze, takie jak termometr rtęciowy, barometr rtęciowy oraz higrometr włosowy. W celu zbadania toksyczności gazów wylotowych skorzystano z analizatora spalin IMR 1500 oraz dymomierza MDO.

2. CEL I PROGRAM PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu kąta wyprzedzenia wtrysku oraz ciśnienia wtrysku na emisję substancji toksycznych do atmosfery oraz na jednostkowe zużycie paliwa. Niniejszy artykuł dotyczy badań emisji tlenków azotu, tlenku węgla, zadyminienia spalin oraz emisji dwutlenku węgla silnika z zapłonem samoczynnym poprzez obniżanie kąta wyprzedzenia wtrysku i zwiększenie ciśnienia wtryskiwanego paliwa. Badania silnikowe zostały przeprowadzone na hamowni silnikowej. Podczas badań silnik pracował według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej w zakresie częstotliwości obrotowej

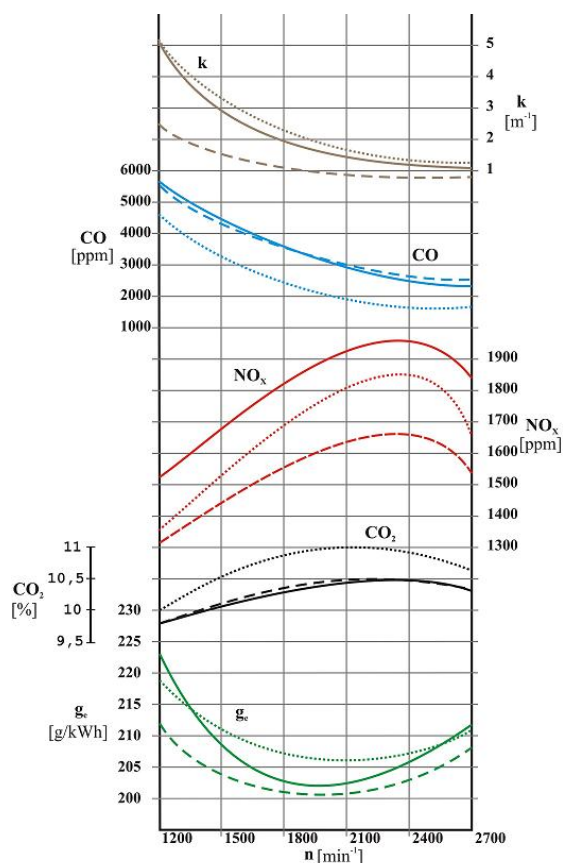
1200-2700 obr/min. Badania hamowniane zostały przeprowadzone przy następujących ustawieniach silnika:

- kąt wyprzedzenia wtrysku $18,5^\circ$, 16° oraz 14° przy ciśnieniu wtrysku 22 MPa (ciśnienie fabryczne),
- ciśnienie wtrysku: 22 MPa oraz 24 MPa przy kącie wyprzedzenia wtrysku $18,5^\circ$ (kąt wyprzedzenia wtrysku fabrycznego).

Pomiarów dokonano w ustalonych warunkach pracy przy wybranych punktach na zewnętrznej charakterystyce prędkościowej. Wyniki badań pozwoliły odpowiedzieć na pytanie w jaki sposób kąt wyprzedzenia wtrysku oraz ciśnienie wtrysku wpływają na emisję tlenku węgla, tlenków azotu oraz zadymienie spalin przez silnik z zapłonem samoczynnym zasilanym paliwem węglowodorowym.

3. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

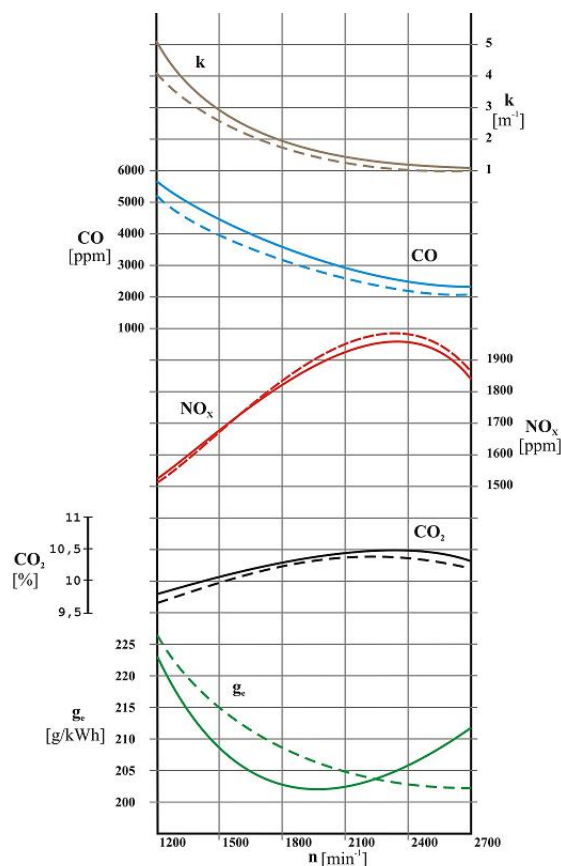
Na rysunku 3 przedstawiono wyniki badań silnika 359 pracującego na trzech kątach wyprzedzenia wtrysku: $18,5^\circ$, 16° oraz 14° w postaci zewnętrznej charakterystyki prędkościowej. Podczas badań odczytano emisję tlenków węgla (NO_x), tlenku węgla (CO), dwutlenku węgla (CO_2), zadymienie (k) oraz jednostkowe zużycie paliwa (g_e).



Rys. 3. Wyniki badań silnika 359 pracującego na różnych kątach wyprzedzenia wtrysku: — kąt wyprzedzenia wtrysku $18,5^\circ$, kąt wyprzedzenia wtrysku 16° , - - - kąt wyprzedzenia wtrysku 14°

Źródło: Opracowanie własne.

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki badań silnika 359 pracującego na dwóch ciśnieniach wtrysku: 22 MPa oraz 24 MPa w postaci zewnętrznej charakterystyki prędkościowej. Podczas badań odczytano emisję tlenków węgla (NO_x), tlenku węgla (CO), dwutlenku węgla (CO_2), zadymienie (k) oraz jednostkowe zużycie paliwa (g_e).



Rys. 4. Wyniki badań silnika 359 pracującego na różnych ciśnieniach wtrysku: — ciśnienie wtrysku 22 MPa, - - - ciśnienie wtrysku 24 MPa

Źródło: Opracowanie własne.

PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy przeprowadzonych badań można stwierdzić, że na poprawę ekologicznych parametrów pracy silnika z zapłonem samoczynnym istotny wpływ ma kąt wyprzedzenia wtrysku. Zmniejszając wartość tego parametru z $18,5^\circ$ do 14° uzyskaliśmy zmniejszenie emisji NO_x oraz zadymienia spalin w całym zakresie prędkości obrotowej. Również przy tym ustawieniu silnik osiągnął najniższe jednostkowe zużycie paliwa. Najniższą emisję CO uzyskano przy kącie wyprzedzenia wtrysku 16° w całym zakresie prędkości obrotowej.

Drugim parametrem regulacyjnym podczas przeprowadzonych badań było ciśnienie wtrysku. Analizując przeprowadzone badania, parametr ten nie ma tak istotnego wpływu na emisję NO_x jak kąt wyprzedzenia wtrysku. Wyniki badań pokazują, że zwiększając wartość ciśnienia wtrysku z 22 MPa do 24 MPa otrzymaliśmy minimalne obniżenie emisji CO, CO_2 oraz zadymienia spalin w całym zakresie prędkości obrotowej. Jednostkowe zużycie paliwa było niższe dla ciśnienia wtrysku 22 MPa w zakresie prędkości obrotowej 1200÷2100 obr/min. Natomiast w przedziale prędkości obrotowej 2400÷2700 obr/min jednostkowe zużycie paliwa było niższe dla silnika pracującego na wtryskiwaczach na ustawionym ciśnieniu wtrysku 24 MPa.

Podsumowując przeprowadzone badania, można stwierdzić, że kąt wyprzedzenia wtrysku ma istotny wpływ na emisję NO_x do otoczenia. Zmniejszając wartość tego parametru, uzyskaliśmy znaczne obniżenie ich zawartości w gazach wylotowych. Można stwierdzić, że parametr ciśnienia wtrysku wpływa na zadymienie spalin oraz emisję CO do otoczenia. Zwiększając wartość ciśnienia wtrysku uzyskujemy lepsze rozproszenie oraz wymieszanie kropeł paliwa z powietrzem w komorze spalania co wpływa na proces spalania mieszaniny paliwowo-powietrznej.

BIBLIOGRAFIA

1. Ambrozik A., Kurczyński D.: *Wpływ kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa na emisję tlenków azotu i zadymienie spalin silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego różnymi paliwami*, Silniki Spalinowe 2009, nr 2.
2. Instrukcja obsługi Star 200, Wydanie I, 1975.
3. Merkisz J.: *Ekologiczne problemy silników spalinowych*, t. II. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1999.
4. Wajand J. A., Wajand J. T.: *Tłokowe silniki spalinowe średnio i szybkoobrotowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.

THE INFLUENCE OF DIESEL ENGINE ADJUSTMENT PARAMETERS ON TOXICITY SUBSTANCES EMISSION AND FUEL CONSUMPTION

Abstract

The aim of article was discussion how the fuel injection advance angle and fuel pressure injection having an influence on toxic substances emission and individual fuel consumption. The experimental researches have been carried out by using Diesel engine with direct fuel injection. The engine operated in the external speed regime. The researches revealed that the fuel injection advance angle and fuel pressure injection affected on toxic substances emission. The analysis of carried out researches demonstrated that there is a possibility to limitation toxic substances in fumes and reduce individual fuel consumption by changing regulation parameters of Diesel engine.

Autor: dr inż. **Osipowicz Tomasz** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny