

WPLYW ZASTOSOWANIA DETERGENTOWYCH DODATKÓW PALIWOWYCH NA PRACĘ ELEKTROMAGNETYCZNYCH WTRYSKIWACZY PALIWA

W artykule opisano wyniki badań wykonanych dla oceny wpływu dodatków paliwowych do oleju napędowego na działanie elektromagnetycznych wtryskiwaczach paliwa. Dodatki tego typu stosowane są w celu ograniczenia powstawania osadów oraz usuwania już powstałych z precyzyjnie pasowanych elementów aparatury wtryskowej. Pomiary zostały wykonane na stanowisku badawczym z zasobnikowym układem wtryskowym. Przeprowadzono analizę dawkowania paliwa w różnych warunkach pracy układu, to znaczy wartości ciśnienia zasilania i czasu trwania wtrysku. Ocenie poddano również zmianę własności fizycznych paliwa po dodaniu modyfikatora.

Wprowadzane są coraz bardziej rygorystyczne normy związane z emisją zanieczyszczeń przez silniki spalinowe, w tym związane z emisją cząstek stałych. Najszerze możliwości zmniejszenia emisji szkodliwych składników spalin i tym samym spełnienia nakładanych norm dają zasobnikowe systemy wtrysku. Możliwości te wynikają z dużego zakresu możliwości sterowania czasem wtrysku i momentem początku wtrysku. Duże znaczenie ma również wartość ciśnienia rozpylania paliwa uzyskiwana w tego typu układach. Uzyskanie precyzyjnego dawkowania paliwa wpływającego na przebieg jego spalania w dużej mierze uzależnione jest od szybkości i poprawności działania wtryskiwaczy. Od ich hydraulicznej charakterystyki uzależniona jest wrażliwość na zmiany właściwości paliwa wynikające z wprowadzenia modyfikatora.

WSTĘP

Przebieg spalania paliwa w silniku o zapłonie samoczynnym jest procesem skomplikowanym, a o jego parametrach decyduje wiele czynników. Przebieg zmian ciśnienia w komorze spalania, wpływająca na głośność pracy silnika, a także trwałość elementów układu korbowo tłokowego związany jest między innymi z precyzją i sposobem dawkowania paliwa przez wtryskiwacze [1,2,3].

Nowoczesne układy wtryskowe w silnikach o zapłonie samoczynnym dzięki wykorzystaniu wysokiego ciśnienia wtrysku i elektronicznego sterowania dawkowaniem paliwa dają możliwość nie tylko poprawy charakterystyki eksploatacyjnej, obniżenia zużycia paliwa, ale również pozwalają sprostać coraz wyższym wymaganiom w zakresie ochrony środowiska naturalnego stawianym przez przepisy prawne.

Dla uzyskania poprawy warunków samozapłonu i skrócenia czasu opóźnienia samozapłonu wprowadza się pilotującą dawkę paliwa, natomiast dawka dotrysku pozwala na ograniczanie emisji toksycznych składników spalin [4,5,6]. Taka strategia dawkowania paliwa wymaga jednak wielokrotnego otwierania i zamykania wtryskiwacza przy każdym cyklu pracy silnika. Najszerze możliwości kontroli i poprawy przebiegu procesu spalania dają zasobnikowe układy wtryskowe - Common Rail. Rozwiązania zastosowane w trzeciej generacji tego typu układów pozwalają na podział całkowitej dawki nawet na osiem części. Jednocześnie są to układy, których precyzyjnie wykonane elementy wykazują dużą wrażliwość na właściwości wykorzystywanego paliwa [7,8,9,10]. Wszystko to sprawia, że zmiana właściwości zastosowanego paliwa odbija się na przebiegu wtrysku dawki paliwa. Takie właściwości paliwa jak jego gęstość, lepkość i napięcie powierzchniowe wpływają bezpośrednio na zasięg strugi rozpylanego przez wtryskiwacz paliwa, i wymiary kropel paliwa w strudze [6,11,12]. Właściwości te decydują również o precyzji dawkowania. Dodatkowo podczas spalania paliwa w silniku o zapłonie samoczynnym może dochodzić do zanie-

czyszczenia wnętrza komory spalania produktami termicznego i chemicznego krakingu paliwa. Dodatkowo dochodzi również do osiadania tych zanieczyszczeń na rozpylaczach paliwa i zakorkowania ich końcówek, co prowadzi do zmniejszenia przepustowości otworów wylotowych rozpylacza. W celu ograniczenia intensywności tych procesów mogą być stosowane dodatki paliwowe, których zadaniem jest usuwanie osadów.

W artykule omówiono wyniki uzyskane z przeprowadzonej oceny wpływu zastosowania dodatków paliwowych na charakterystykę hydrauliczną dawkowania paliwa przez wtryskiwacze elektromagnetyczne.

1. CHARAKTERYSTYKA UKŁADU WTRYSKOWEGO

1.1. Parametry pracy układu

Zadaniem układu zasilania jest dostarczenie do komory spalania określonej dawki paliwa, odpowiedniej dla danych warunków pracy silnika. Musi się to odbywać przy ciśnieniu wystarczającym dla zapewnienia niezbędnego rozdrobnienia paliwa i uzyskania oczekiwanych parametrów strugi paliwa. Zatem działanie układu wtryskowego silnika o zapłonie samoczynnym ma bardzo istotny wpływ na parametry pracy silnika [5, 13, 14,15].

Precyzyjne dawkowanie paliwa daje możliwość podniesienia ogólnej sprawności silnika, pozwala ograniczyć hałas związany z jego pracą i zmniejszyć ilość emitowanych zanieczyszczeń. Dlatego też znaczącą zaletą zasobnikowego układu wtryskowego jest możliwość sterowania parametrami pracy silnika dzięki zmianie charakterystyki wtrysku paliwa. Zastosowanie bardzo wysokiego ciśnienia wtrysku przekraczającego 150 MPa wpływa na poprawę procesu tworzenia strugi, czego nie można było osiągnąć w innych rozwiązaniach. Badania związane z oceną przebiegu tworzenia się strugi paliwa podczas wtrysku przeprowadzone między innymi przez C.Bocheńskiego [16] dały możliwość zaobserwowania różnic występujących w szerokim zakresie stosowanych ciśnień wtrysku paliwa. W starych konstrukcjach układów zasilania, wykorzystują-

cych pompy rozdzielaczowe, osiągane ciśnienia wtrysku były stosunkowo niskie i sięgały około 30 MPa. We współczesnych układach zasobnikowych z wtryskiwaczami elektromagnetycznymi, przy ciśnieniu wtrysku tego rzędu początek wypływu paliwa z otworków rozpylacza stwierdzano po czasie około 0,2 ms od momentu pojawienia się napięcia sterującego na cewce wtryskiwacza. Natomiast po podniesieniu ciśnienia paliwa do poziomu 170 MPa, po tym samym czasie (0,2 ms) obserwowano już pełną strugę wypływającego paliwa. Taka zmiana ciśnienia daje możliwość podawania tej samej dawki paliwa przy stosunkowo małym kącie wtrysku, zawierającym się w granicach do 20 stopni obrotu wału korbowego [9].

Przy wyższych ciśnieniach wtrysku uzyskiwana struga rozpylanego paliwa cechuje się większą szybkością penetracji i większym zasięgiem, jak również uzyskuje większą jednorodność niż przy niższych ciśnieniach. Średnica Sautera (SMD) kropeł paliwa przy dwukrotnym wzroście ciśnienia wtrysku od 70 do 130 MPa, ulegała zmniejszeniu o ponad 40% [16]. Obserwowane także w tym przypadku zmniejszenie wielkości kropeł w strudze paliwa wpływa na szybsze ich odparowanie. Istotne znaczenie mają tutaj również właściwości paliwa, a w szczególności jego lepkość, bowiem zwiększenie lepkości paliwa sprawia, że struga staje się bardziej zwarta i jej krople są większe. Zasięg takiej strugi również rośnie. Jak stwierdzono przebieg rozpylenia paliwa przez wtryskiwacze uzależniony będzie od cech fizycznych danego paliwa [1,4].

Z uwagi na szeroki zakres zmian temperatur w poszczególnych porach roku konieczna jest sezonowa korekta właściwości fizycznych dostarczanego na rynek oleju napędowego. Również, zależnie od technologii przeróbki ropy naftowej i składu chemicznego produkowanego paliwa występują bardzo duże rozrzuty lepkości. Dodatkowo ta właściwość jest bardzo silnie uzależniona od temperatury i ciśnienia otoczenia. Dla olejów napędowych letnich i przejściowych zazwyczaj lepkość zawiera się w granicach 2 – 4,5 mm²/s, natomiast zimowych wynosi 1,8 – 4,0 mm²/s. Jeszcze bardziej znaczące różnice właściwości fizycznych paliw występują pomiędzy paliwami mineralnymi a biopaliwami. Podobnie jak ma to miejsce w przypadku zastosowania biododatków do paliw węglowodorowych [3,17,20].

1.2. Sterowanie dawkowaniem paliwa

Ze względu na sposób sterowania wtryskiwaczami z cewką elektromagnetyczną i zaworem przelewowym paliwo dopływające pod wysokim ciśnieniem do wtryskiwacza w części zostaje rozprężone i przewodami przelewowymi odprowadzane jest ponownie do zbiornika paliwa. Również do zbiornika odprowadzane jest paliwo z przecieków na złożeńiach par precyzyjnych aparatury paliwowej. Tylko część całkowitej ilości paliwa dopływająca do wtryskiwacza zostaje podana przez rozpylacza do komory spalania silnika.

Przy stałym ciśnieniu w zasobniku, ilość paliwa potrzebnego do uniesienia iglicy jest praktycznie niezmienna, dlatego też udział przelewu przy zwiększeniu dawki ulega zmniejszeniu. Przy krótkich czasach otwarcia wtryskiwacza, niemal połowa paliwa dopływającego do niego jest wykorzystywana do sterowania dawką paliwa [9]. Zakres możliwościysterowania dawki paliwa uzależniony jest od szybkości ruchu iglicy rozpylacza. Czas, w jakim iglica osiąga pełny zakres wzniosu do pozycji zderzaka nabiera szczególnego znaczenia podczas podawania dawek dzielonych. W przypadku małej odległości kątowej dawki przedwtrysku i dawki głównej iglica wtryskiwacza może nie zdążyć opaść całkowicie, przed rozpoczęciem się kolejnej fazy wtrysku [11]. Stwierdza się również zmiany objętości dawki paliwa przy zmianie częstotliwości podawania dawek. Wy tłumaczyć to można pulsacjami ciśnienia w zasobniku i przewodach wysokiego ciśnienia. Amplituda pulsacji ciśnienia w układzie może dochodzić nawet do 50 MPa [11,12]. To jak duża jest pulsacja ciśnienia w przewodach podczas dawkowania paliwa uzależnione

jest przede wszystkim od parametrów konstrukcyjnych wtryskiwacza, jednakże również daje się zauważyć wpływ właściwości paliwa, w szczególności dla wyższych zakresów ciśnienia wtrysku. H. Kuszewski i inni [18] obserwowali ten efekt przy badaniach różnych wtryskiwaczy przy wartościach ciśnień 100 i 125 MPa.

2. OCENA DZIAŁANIA WTRYSKIWACZY

2.1. Metodyka wykonania pomiarów

Podczas pomiarów dawkowania paliwa przez wtryskiwacze elektromagnetyczne wykorzystano dwa oleje napędowe różniące się właściwościami fizycznymi. Zostały one oznaczone odpowiednio ON1 i ON2. Oprócz tego badano te same oleje napędowe z pakietem dodatków detergentowych. W pierwszej części badań wykonano pomiary gęstości i lepkości dynamicznej wspomnianych paliw. Następnie paliwa te zostały wykorzystane do testów stanowiskowych na wtryskiwaczach elektromagnetycznych, podczas których wykonano pomiary dawkowania paliwa.

Gęstość porównywanych paliw wyznaczona została metodą grawimetryczną w temperaturze 20°C. Drugą z bardzo istotnych cech paliw silnikowych jest ich lepkość. Jest to cecha niezwykle istotna, ponieważ jest miarą oporu przepływu lub deformacji cieczy. Pomiary lepkości wykonano na wiskozymetrze kulowym.

Pomiary dawkowania i przelewu paliwa z wtryskiwaczy wykonano na stole probierczym do badań aparatury wtryskowej na wtryskiwaczach elektromagnetycznych o różnym stopniu zużycia. Podczas pomiarów wysterowano czas otwarcia wtryskiwacza oraz zawór regulacji ciśnienia w zasobniku paliwa ustalając ciśnienie wtrysku. Pomiary dla obydwu paliw przeprowadzono na wtryskiwaczach w pełni sprawnych, które oznaczono w dalszej części opisów jako W2 oraz wtryskiwaczach z widocznymi śladami zużycia na gnieździe zaworu sterującego - oznaczonych odpowiednio jako wtryskiwacze W1. Również w tym drugim przypadku pomiary dawkowania wykonane na oleju probierczym mieściły się w zakresach podanych przez producenta, zatem wszystkie pomiary wykonywane były na wtryskiwaczach spełniających wymagania producenta. Takie założenia do pomiarów przyjęto po to by możliwe było w porównaniach uwzględnienie eksploatacyjnego zużycia elementów wtryskiwaczy. Po serii pomiarów z olejami napędowymi wtryskiwacze pracowały na olejach napędowych z pakietem dodatków detergentowych przez dwie godziny. Dopiero po tym okresie rozpoczęto serie pomiarów.

Podczas testów wtryskiwacze rozpylały paliwo do menzurek, a więc bez uwzględnienia przeciwcisnienia występującego w rzeczywistych warunkach pracy silnika w komorze spalania.

Dawki wtrysku i przelew paliwa mierzone były w założonym zakresie zmian czasu wysterowania otwarcia wtryskiwaczy i ciśnienia w zasobniku paliwa. Takie same warunki pomiarów zachowano dla wszystkich wtryskiwaczy. W celu uzyskania możliwości porównania wyników pomiędzy paliwami o różnych właściwościach podczas pomiarów utrzymywany był stały poziom wysterowania zaworu regulacji ciśnienia.

2.2. Omówienie wyników pomiarów

Paliwa wykorzystane podczas pomiarów dawkowania paliwa różniły się nieco podstawowymi właściwościami fizycznymi. Charakterystyka tych paliw została przedstawiona w tabeli 1. Wyznaczone wartości ich właściwości mieszczą się w granicach zakresów deklarowanych przez producentów paliw. Oznaczone gęstości różniły się o około 1%, natomiast różnice lepkości były wyraźne i przekraczały 50%. Wprowadzenie do paliw zestawu dodatków detergentowych o podobnych parametrach praktycznie nie powoduje zmian gęstości, a obserwowane zmiany lepkości są jedynie nieznaczne. Gęstości

paliw z dodatkami różniły się o około 5 kg/m^3 , a różnice lepkości nie przekraczały $0,2 \text{ mPa} \cdot \text{s}$.

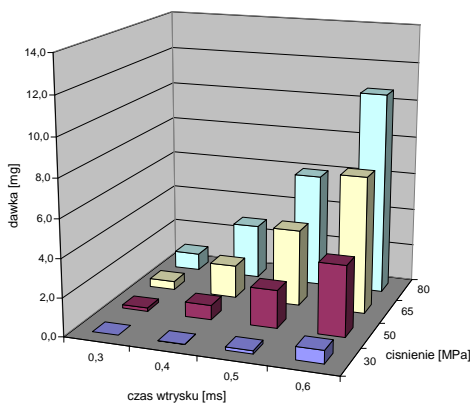
Tab. 1. Charakterystyka podstawowych właściwości zastosowanych paliw w temperaturze 25°C

Oznaczenie	Jednostka	ON 1	ON 1 + dodatek	ON 2	ON 2 + dodatek
Gęstość	kg/m^3	832	832	827	827
Lepkość	$\text{mPa} \cdot \text{s}$	3,46	3,49	2,37	3,39

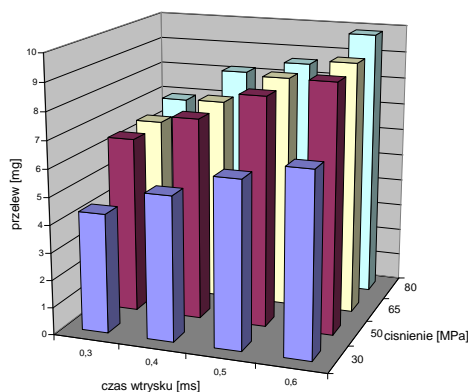
Charakterystyki dawkowania paliwa i masowej wartości przelewu dla dwóch różnych wtryskiwaczy (wtryskiwacze oznaczono odpowiednio W1 i W2) pokazano kolejno na rysunkach od 1 do 4.

Na rysunkach 1 i 3 pokazano zestawienie wyników przeprowadzonych pomiarów charakterystyk dawkowania elektromagnetycznych wtryskiwaczy paliwa pracujących przy różnych poziomachysterowania. Pomiary wykonano z użyciem paliwa ON2. Obserwując przebieg zmian dawkowania w zależności od zmianysterowanego czasu wtrysku zauważyć można wzrost zarówno dawek jak i przelewu przy zwiększaniu czasu otwarcia. W zakresach niższych ciśnień przebieg zmian dawkowania ma charakter paraboliczny, natomiast przelewu niemal liniowy. Porównanie przedstawionych na rysunkach wartości dawek paliwa obrazuje różnice w dawkowaniu wynikające ze stopnia zużycia elementów wtryskiwacza.

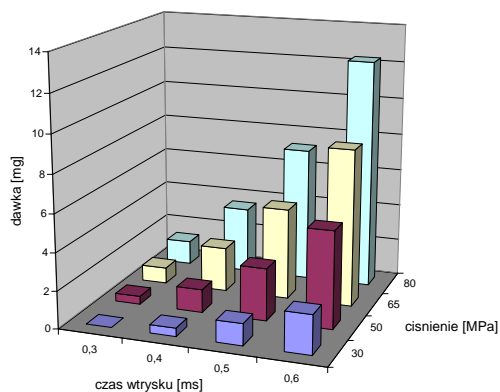
Porównując charakterystyki przelewu dla dwóch różnych wtryskiwaczy (odpowiednio rysunki 2 i 4) wyraźnie zauważalna jest różnica wartości przelewu. W całym zakresie ocenianych czasów otwarcia i ciśnień wtrysku dla pierwszego wtryskiwacza przelewy są większe. Oznacza to też zwiększenie ilości paliwa sterującego potrzebnego do podniesienia iglicy rozpylacza w tym wtryskiwaczu. Dla takiego większego zapotrzebowania zmierzona dawka robocza jest odpowiednio zmniejszona. Na przedstawionych wykresach można zauważyć również, że wartość dawki przelewu wzrasta proporcjonalnie ze wzrostem czasu otwarcia wtryskiwacza.



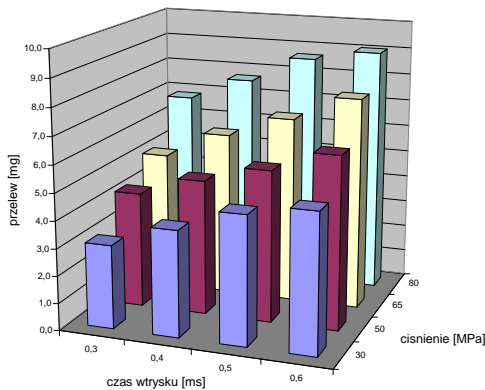
Rys. 1. Charakterystyka dawek paliwa wtryskiwacza W1 zasilanego paliwem ON2



Rys. 2. Charakterystyka przelewu paliwa z wtryskiwacza W1 zasilanego paliwem ON2



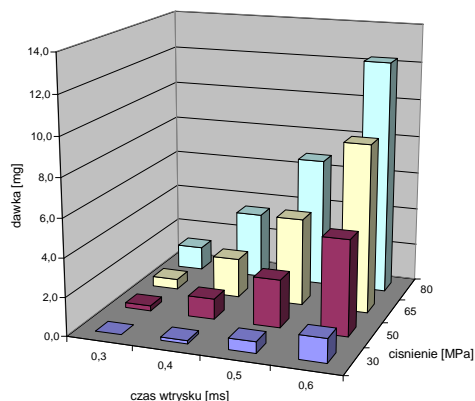
Rys. 3. Charakterystyka dawek paliwa wtryskiwacza W2 zasilanego paliwem ON2



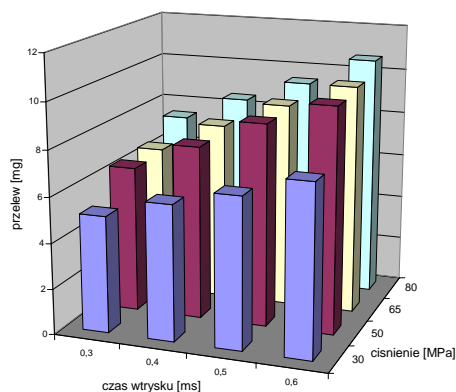
Rys. 4. Charakterystyka wartości przelewu paliwa z wtryskiwacza W2 zasilanego paliwem ON2

Na rysunkach od 5 do 8 kolejno przedstawiono charakterystyki dawkowania paliwa i masowej wartości przelewu wyznaczone na tych samych wtryskiwaczach w sposób analogiczny do charakterystyk uzyskanych podczas zasilania paliwem ON-2, ale w tym przypadku dla oleju napędowego ON1. Dało to możliwość ukazania różnic w ich przebiegu. Na rysunkach 5 i 7 przedstawiono zestawienie wyników przeprowadzonych pomiarów charakterystyk dawkowania, a na rysunkach 6 i 8 odpowiednio charakterystyki masowej wartości przelewu. Porównując obydwie wykorzystane paliwa trzeba zauważyć, że charakterystyka wartości przelewów pierwszego wtryskiwacza przebiega wyraźnie wyżej niż dla wtryskiwacza drugiego. Zastosowanie paliwa o innej gęstości i lepkości decyduje o natężeniu jego przepływu przez dławiki komór sterujących wtryskiwaczy, czego konsekwencją są zmiany prędkości przesuwu iglicy

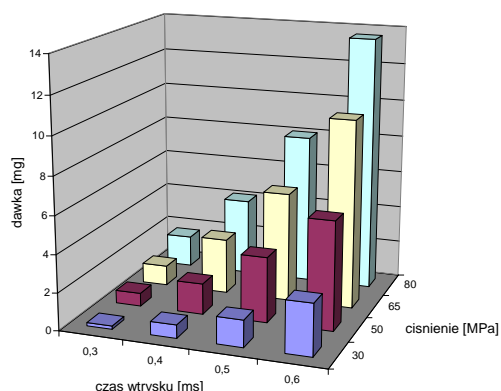
wynikające ze zmian ciśnienia w komorach sterujących. Dla paliwa o większej gęstości i lepkości czas potrzebny na uzyskanie pełnego wzniosu iglicy dla tego samego wtryskiwacza wydłuża się.



Rys. 5. Charakterystyka dawek paliwa wtryskiwacza W1 zasilanego paliwem ON1

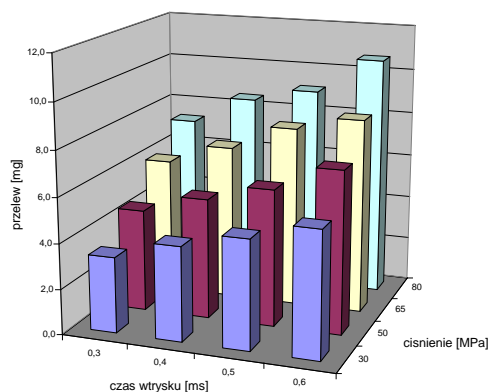


Rys. 6. Charakterystyka wartości przelewu paliwa z wtryskiwacza W1 zasilanego paliwem ON1



Rys. 7. Charakterystyka dawek paliwa wtryskiwacza W2 zasilanego paliwem ON1

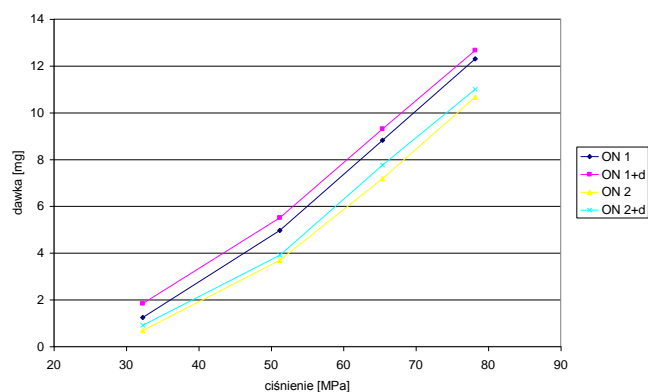
Przy dłuższych czasach wtrysku dla całego zakresu zastosowanych ciśnień różnica dawki paliwa może przekraczać 25%. Wraz ze skracaniem czasu otwarcia różnice zmniejszają się, co widoczne jest na wykresach. Przy krótkich czasach otwarcia większa część dawki podawana jest przy częściowym wzniosie iglicy, natomiast wydłużenie czasu otwarcia umożliwi podanie większej części dawki przy całkowitym uniesieniu iglicy, czym można tłumaczyć zmianę różnicy pomiędzy dawkowaniem dla różnych paliw.



Rys. 8. Charakterystyka wartości przelewu paliwa z wtryskiwacza W2 zasilanego paliwem ON1

Dla lepszego uwidocznienia różnic dawkowania poszczególnych paliw przez wtryskiwacze i oceny wpływu zastosowanych dodatków na rysunku 9 pokazano porównanie fragmentów charakterystyk dawkowania. Odpowiadają one czasowi otwarcia wtryskiwacza 0,6 ms. Na rysunku widoczny jest wzrost dawki paliwa w całym zakresie wykorzystanych ciśnień paliwa. Prawidłowość ta występuje dla obydwu zastosowanych olejów napędowych po wprowadzeniu do nich dodatków detergentowych.

Generalnie charakterystyka dawkowania paliwa z dodatkiem detergentowym jest położona wyżej niż charakterystyka uzyskana dla paliwa bez zastosowania dodatku. Przesunięcie charakterystyki jest widoczne w szczególności dla długich czasów otwarcia wtryskiwacza. Jednak, w całym ocenianym zakresie pracy wtryskiwacza dawki paliwa są większe. Zmiana dawkowania jest wynikiem zmiany właściwości paliwa. Po części zmiany charakterystyki lepkościowej, a także oporów ruchu iglicy rozpylacza.



Rys. 9. Porównanie dawek paliwa przy jednakowych parametrachysterowania wtryskiwacza W1 przy zasilaniu różnymi paliwami; czas otwarcia 0,6 ms

PODSUMOWANIE

Elementy aparatury paliwowej w układach zasilania silników o zapłonie samoczynnym są wykonane z bardzo dużą precyzją, bowiem muszą zapewniać dokładne dawkowanie paliwa przy bardzo wysokich ciśnieniach wtrysku. Zastosowanie paliwa o zmienionych właściwościach reologicznych wpływa na charakterystykę przepływów przez dławiki komór sterujących wtryskiwaczy, czego efektem są zmiany prędkości przesuwu iglicy wynikające ze zmian ciśnienia w tych komorach sterujących. Zastosowanie do paliw dodatków detergentowych wpływa na zmianę hydraulicznej charakterystyki elektromagnetycznych wtryskiwaczy paliwa.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów w szczególności można sformułować następujące wnioski:

- zastosowane dodatki paliwowe nie wpływają na zmiany gęstości paliwa;
- zmiany lepkości paliwa wynikające z wprowadzenia dodatków do paliwa nie przekraczają 0,2 mPa·s niezależnie od wyjściowej lepkości oleju napędowego;
- zastosowanie dodatków detergentowych wpływa na zwiększenie dawki paliwa przy tych samych parametrach wysterowania wtryskiwaczy w całym zakresie pracy wtryskiwaczy o około 1%.

BIBLIOGRAFIA

1. Doudou A., Maslouhi A., *A macro-microscopic investigation of high-pressure sprays injected by a common rail system*, Journal of Mechanical Science and Technology. Vol. 21, No. 8, 2007.
2. Kim H. M., Cho W. Lee J. K. H., *Effect of injection condition and swirl on d.i. diesel combustion in a transparent engine system*, International Journal of Automotive Technology, Vol. 9, No. 5, 2008.
3. Orliński P., Orliński S., *Wpływ zasilania silnika rolniczego mieszaniną oleju napędowego z biobutanołem na jego efektywne wskaźniki pracy*, Logistyka 2011, nr 6.
4. Park S.W., Kim J.W., Lee C.S., *Effect of Injector Type on Fuel-Air Mixture Formation of High-Speed Diesel Sprays*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, Vol. 220, No 5, 2006.
5. Pirooz A., *Effects of injector nozzle geometry on spray characteristics, an analysis*, Indian J. Sci. Res. 5 (1), 2014.
6. Rosli Abu Bakar, Seminand Abdul, Rahim Ismail, *Fuel Injection Pressure Effect on Performance of Direct Injection Diesel Engines Based on Experiment*, American Journal of Applied Sciences 5 (3), 2008.
7. Ignaciuk P., Gil L., *Damages to injectors in diesel engines*, Advances in Science and Technology Research Journal. Vol. 8, No. 21, 2014.
8. Idzior M., Borowczyk T., Karpiuk W., Stobnicki P., *Możliwości badania stanu technicznego nowoczesnych wtryskiwaczy silników o zapłonie samoczynnym*, Logistyka 2011, nr 3.
9. Knefel T., *Ocena techniczna wtryskiwaczy Common Rail na podstawie doświadczalnych badań przelewów*, Eksploatacja i Niezawodność, vol. 14, no. 1, 2012.
10. Stoeck T., Osipowicz T., Abramek K.F., *Methodology for the repair of Denso common rail solenoid injectors*. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, 16 (2), 2014.
11. Ustrzycki A., Jaworski A., Kuszewski H., *Wpływ przedwtrysku na zjawiska falowe w zasobnikowym układzie wtryskowym silnika o zapłonie samoczynnym*, National Transport University, Kijów nr 21, 2013.
12. Ustrzycki A., Kuszewski H., *Comparative study of fuel injection at common rail system using different types of fuel*, Journal of Kones Powertrain and Transport, Vol. 18, No. 3, 2011.
13. Jankowski A., Sęczyk J., Zbierski K., *Badania strugi paliwa rozpylanej przez układ wtryskowy CR*, Journal of Kones, Internal Combustion Engines, Vol. 7, No. 1-2, 2000.
14. Suh H.K., Park S.W., Lee C.S., *Effect of piezo-driven injection system on the macroscopic and microscopic atomization characteristics of diesel fuel spray*, Elsevier, Vol. 86, Issues 17-18, 2007.
15. Ustrzycki A., Kuszewski H., Woś P., *The effect of length of high pressure pipes on injection process in common rail system of diesel engine*, Journal of Kones, Powertrain and Transport, Vol. 17, No.3, 2010.
16. Bocheński C.I., *Wpływ ciśnienia wtrysku i lepkości oleju napędowego na proces rozpylenia paliwa w silnikach z ZS*, Motrol. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, tom 6, 2004.
17. Szczypiński-Sala W., *Niektóre własności mieszanin olejów roślinnych i paliw do silników o zapłonie samoczynnym*, Czasopismo Techniczne, Mechanika, PK. z. 3-M, 2012.
18. Kuszewski H., Lejda K., Ustrzycki A., *Determinanty dokładności dawkowania paliwa w systemie zasobnikowego układu zasilania Common Rail*, Czasopismo Techniczne, Mechanika, R. 105, z. 8-M, 2008.
19. Osipowicz T., Stoeck T., *Regeneracja współczesnych wtryskiwaczy paliwowych silników o zapłonie samoczynnym*, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, tom 14, nr 10, 2013.
20. Cisek, J., Mruk A., Szczypiński-Sala W., *Wpływ biopaliw (FA-ME) na właściwości eksploatacyjne rozpylaczy paliwa silnika z zapłonem samoczynnym*, Czasopismo Techniczne. Mechanika R. 109, z. 3-M, 2012.
21. Hawthorne M., Ross J., Openshaw M., *Use of fuel additives to maintain modern Diesel engine performance with severe test conditions*. SAE 2008-01-1806, 2008.
22. Ullmann J. et al, *Investigation into the formation and prevention of internal Diesel injector deposits*. SAE 2008-01-0926, 2008.

The influence of detergent additives to diesel engines fuel on the operation of diesel engine injection system

The article describes the results of the research carried out in order to evaluate the influence of detergent additives to diesel engines fuel on the operation of diesel engines injection systems. This type of additives is applied in order to restrict the formation of deposits and to remove those already formed from the elements of fuel injectors.

The measurements were carried out on the test stand for solenoid controlled high pressure common-rail fuel injection systems. The analysis of fuel dosing was conducted in various conditions of the work of the system, ie. the value of fuel outflow pressure from the injection nozzle and injection duration. Change of fuel physical properties after adding modifier was also evaluated.

There are introduced more and more rigorous norms in relation to the emission of fumes by diesel engines, including those associated with the emission of particles. Solenoid controlled common-rail fuel injection systems give the broadest possibilities of reducing the emission of detrimental fume concentrations and all the same fulfilling the imposed norms. The possibilities result from a wide range of the capability of steering the time of injection and the moment it begins. Value of pressure of spraying fuel, obtained in this type of systems is also very significant. The obtainment of precise fuel dosing, having the influence on the course of burning, depends to a large extent on the velocity and correctness of the operation of the injection systems. The proneness to the changes of fuel properties resulting from the introduction of a modifier depends on their hydraulic characteristics. In other side due to clearances 1 to 2 microns even minimal internal diesel injector deposits on the injector pintal or other components can lead to sticking and even seizure.

Autor:

dr inż. **Wojciech Szczypiński-Sala** – Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, 31-864 Kraków; al. Jana Pawła II 37, tel: +48 12 628-35-40; e-mail: ws@mech.pk.edu.pl