

WPŁYW CIŚNIENIA WTRYSKU OLEJU NAPĘDOWEGO NA PARAMETRY PRACY I PRZEBIEG PROCESU SPALANIA W DWUPALIWOWYM SILNIKU ZASILANYM PROPANEM

Streszczenie

W artykule zaprezentowano i omówiono wyniki badań wpływu zmian ciśnienia wtrysku oleju napędowego na osiągi, emisję składników toksycznych spalin oraz przebieg procesu spalania w dwupaliwowym silniku zasilanym odparowany propanem. Badania przeprowadzono na jednocylindrowym badawczym silniku o zapłonie samoczynnym firmy AVL. Zastosowany wysokociśnieniowy, zasobnikowy układ wtryskowy oleju napędowego pozwolił na dostosowanie parametrów wtrysku do zasilania dwupaliwowego i pracę silnika ze znacznym 65% udziałem energetycznym paliwa gazowego przy jednoczesnym doładowaniu. W badaniach mimo zmian ciśnienia wtrysku, wielkość dawki oleju napędowego była stała. Również współczynnik nadmiaru powietrza dla wszystkich przeprowadzonych prób był stały i wynosił 1.25 co odpowiadało pełnemu obciążeniu badanego silnika. Badania wykazały zarówno wyraźny wpływ zmiany ciśnienia wtrysku oleju napędowego na szereg parametrów badanego silnika, jak i konieczność zmiany parametrów wtrysku w przypadku stosowania różnych udziałów obu paliw.

WSTĘP

Parametry wtrysku oleju napędowego podczas pracy silnika z zasilaniem standardowy podlegają ciągłej regulacji. W silnikach o przeznaczeniu trakcyjnym regulacja ta wymuszana jest potrzebą zmiany warunków pracy takiego silnika. Zapotrzebowanie na wyższą moc czy zmianę prędkości obrotowej wymaga dostosowania parametrów wtrysku oleju napędowego. Dotychczasowe badania nad zasilaniem dwupaliwowym ujawniły szereg zależności wpływających na parametry pracy takiego silnika. Wykazano, że zarówno wielkość inicjującej zapłon dawki oleju napędowego, kąt początku wtrysku, czy też jej podział mają istotny wpływ na przebieg procesu spalania [1] i winny zmieniać się w szerokim zakresie w zależności od: współczynnika nadmiaru powietrza mieszaniny gazowo-powietrznej, obciążenia i prędkości obrotowej silnika. Współczesny układ zasilania silnika o zapłonie samoczynnym stwarza szerokie możliwości wpływania na wyżej wymienione parametry, dzięki czemu możliwe jest efektywne przeprowadzenie procesu spalania a ponadto zwiększanie udziału paliwa dodatkowego. Priorytetem jest tutaj uzyskanie najwyższej sprawności ogólnej silnika przy jednoczesnym ograniczaniu emisji związków toksycznych już na etapie procesu spalania. Możliwość oddziaływania w szerokim zakresie na parametry wtrysku oleju napędowego, dają szansę na dostosowanie tychże parametrów do zasilania dwupaliwowego, przy jednoczesnym zachowaniu dotychczasowych osiągnięć. Należy jednak zauważyć, iż dzięki właściwemu doborowi parametrów wtrysku dla zasilania dwupaliwowego istnieje możliwość oddziaływania na pojawiające się niekorzystne zjawiska występujące podczas tego typu zasilania [3]. Mimo to zastosowanie takiego układu zasilania, dającego szerokie możliwości adoptowania się do odmiennych warunków pracy nie jest w stanie zapobiec wszystkim niekorzystnym zjawiskom towarzyszącym zasilaniu dwupaliwowemu. Ograniczeniem jest tutaj sam sposób podawania paliwa dodatkowego. Głównie ze względów ekonomicznych stosowane są rozwiązania tanie a zarazem proste, gdzie dodatkowe paliwo najczęściej gazowe podawane jest do kolektora dolotowego wielocylindrowego silnika zwykle jednym bądź dwoma wtryskiwaczami tuż za sprężarką powietrza doładującego. Ogranicza się w ten sposób liczę wtryski-

waczy, oraz konieczność stosowania droższych sterowników obsługujących wielopunktowy wtrysk gazu. Oznacza to, iż mieszanina gazu z powietrzem wypełniająca kanały dolotowe oraz układ chłodzenia powietrza doładowanego (intercooler) ze względów bezpieczeństwa musi charakteryzować się składem o współczynniku nadmiaru powietrza będącym poza granicami palności. Zatem aby możliwe było skuteczne wykorzystanie energii dostarczonej w paliwie gazowym konieczne jest zastosowanie odpowiedniej dawki paliwa standardowego. Dodatkowo przy tego typu układzie zasilania istnieje ryzyko dostarczenia do cylindrów silnika zróżnicowanych energetycznie dawek mieszaniny, co stwarza ryzyko braku kontroli nad procesem spalania a ponadto wprowadza nierównomierność pracy tak zasilanego silnika. Zastosowanie wielopunktowego wtrysku dodatkowego paliwa w pobliżu zaworów ssących oraz synchronizacja czasów ich otwarcia z etapem napełniania jest jednym ze sposobów na wyeliminowanie wymienionych wyżej wad. Mimo to sprzęgnięcie ze sobą dwóch układów zasilania podczas ciągłej zmiany warunków pracy silnika przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej sprawności ogólnej oraz wysokich standardów ekologicznych stanowi nadal poważne wyzwanie. Dlatego też poszukiwane są rozwiązania proste a zarazem tanie dające odczuwalny efekt głównie w postaci redukcji kosztów eksploatacji. Spotykane są rozwiązania stosowane w przypadku silników dwupaliwowych polegające na ograniczaniu dawki oleju napędowego poprzez redukcję ciśnienia wtrysku. Ma to miejsce wówczas, gdy odpowiedzią na wzrost obciążenia jest zwiększanie udziału paliwa gazowego w miejsce paliwa standardowego. Tego typu sterowanie nie wymaga ingerencji w oryginalne oprogramowanie sterujące silnikiem a jedynie zmienia jeden parametr. Dlatego też warto podjąć badania których wyniki dałyby odpowiedź na pytanie, w jaki sposób zmiana ciśnienia wtrysku wpłyną na przebieg procesu spalania w dwupaliwowym silniku.

1. PROCEDURA DOBORU PARAMETRÓW PRACY SILNIKA

Jednym z istotniejszych parametrów układu zasilania silników o ZS jest ciśnienie wtrysku. Można wyraźnie zaobserwować, że wraz z rozwojem kolejnych generacji układów zasilania wiąże się wzrost

ciśnienia wtrysku realizowany bezpośrednio do komory spalania. Tak więc podnoszenie ciśnienia wtrysku oleju napędowego wiąże się z poprawą sprawności silnika a ponadto przekłada się na spadek emisji związków toksycznych w spalinach, w szczególności węglowodorów, tlenku węgla, oraz cząstek stałych. Wyższe ciśnienie wtrysku umożliwia tworzenie kropeł o mniejszej średnicy, co poprawia warunki utleniania paliwa, ogranicza opóźnienie samozapłonu. Zatem należy się spodziewać, że zmniejszając ciśnienie wtrysku warunki pracy silnika ulegną pogorszeniu. Warto zatem odpowiedzieć na pytanie w jakim stopniu warunki te ulegną pogorszeniu szczególnie wtedy gdy realizowane jest zasilanie dwupaliwowe. Tak postawiony problem można uzasadnić tym, że dodatkowo instalacja dotyczy raczej silników ze znacznym przebiegiem gdzie silnik jest już poza okresem gwarancji a parametry wtrysku odbiegają od fabrycznych.

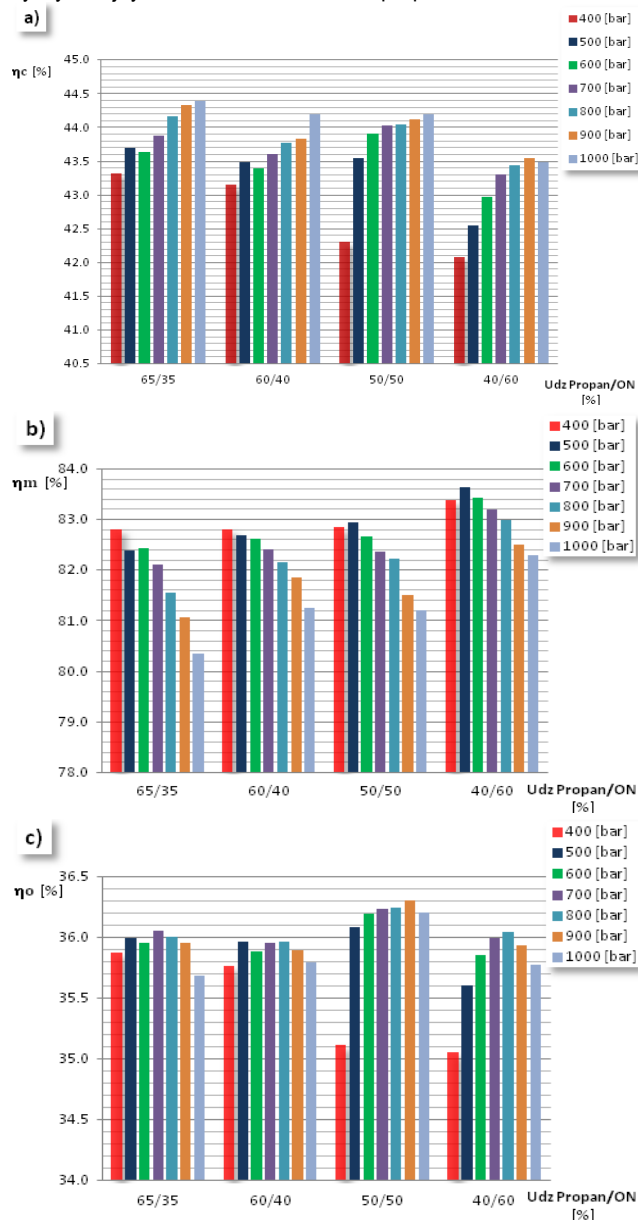
W artykule zaprezentowano wyniki dotyczące wpływu wielkości ciśnienia wtrysku oleju napędowego na parametry pracy, proces spalania, oraz emisję, w silniku zasilanym dwupaliwowo. Paliwem głównym był odparowany propan podawany do kolektora dolotowego w pobliżu zaworu ssącego. Zastosowanie układu wtryskowego gazu pozwoliło na zsynchronizowanie pracy wtryskiwacza gazowego z otwarciem zaworów ssących badanego silnika. Badania przeprowadzono dla kilku różnych udziałów energetycznych obu paliw. Najwyższy udział energetyczny propanu wynosił 65%, kolejne 60, 50, 40. Podczas badań dawka oleju napędowego była podzielona na dawkę pilotującą oraz dawkę główną. Czas otwarcia wtryskiwacza dla dawki pilotującej i dawki głównej był regulowany tak by ilość wtryskiwanego paliwa nie ulegała zmianie pod wpływem zmiany ciśnienia wtrysku. W chwili zmiany proporcji obu paliw tylko dawka główna podlegała zmianom. Kąt początku wtrysku zarówno dawki pilotującej jak i dawki głównej był stały dla wszystkich przeprowadzonych prób i wynosił odpowiednio 30° przed GMP dla dawki pilotującej i 3° po GMP dla dawki głównej. Umieszczenie obu dawek określono na podstawie wcześniej przeprowadzonych badań. Głównym kryterium doboru kąta początku wtrysku zarówno dawki pilotującej i dawki głównej było uzyskanie najwyższej sprawności ogólnej nie przekraczając przy tym maksymalnych szybkości narastania ciśnienia w procesie spalania powyżej $1\text{MPa}/^\circ\text{OWK}$. Ciśnienie wtrysku oleju napędowego zmieniane było w zakresie od 400 do 1000 [bar] co 100 [bar]. Odpowiada to zakresowi stosowanemu w większości układów zasilania. Pomiar ciśnienia realizowany był bezpośrednio na przewodzie łączącym listwę paliwową z wtryskiwaczem, dzięki czemu możliwy był precyzyjny odczyt wartości ciśnienia paliwa w chwili wtrysku. W badaniach stosowano doładowania podnosząc ciśnienie powietrza w kolektorze dolotowym do 600[mb], co pozwoliło na uzyskanie średniego ciśnienia użytecznego na poziomie 1,3 [MPa]. Prędkość obrotowa silnika była stała i wynosiła 1200 [obr/min]. Badania zostały przeprowadzone na jednocylindrowym silniku badawczym firmy AVL o pojemności 511 [cm³] i stopniu sprężania 17,5.

2. WYNIKI BADAŃ

2.1. Proces spalania

Na poniższych wykresach zaprezentowano wyniki wpływu wielkości ciśnienia wtrysku oleju napędowego na sprawność cieplną mechaniczną i ogólną badanego silnika. Zgodnie z przewidywaniami wraz ze wzrostem ciśnienia wtrysku obserwuje się poprawę sprawności cieplnej. Badania powtórzone dla czterech różnych udziałów paliwa gazowego dały podobne rezultaty. Największe obserwowane różnice blisko dwuprocentowe dotyczą 50% udziału propanu w spalonym ładunku, gdzie najniższą sprawność cieplną uzyskuje się przy najniższym stosowanym podczas badań ciśnieniu

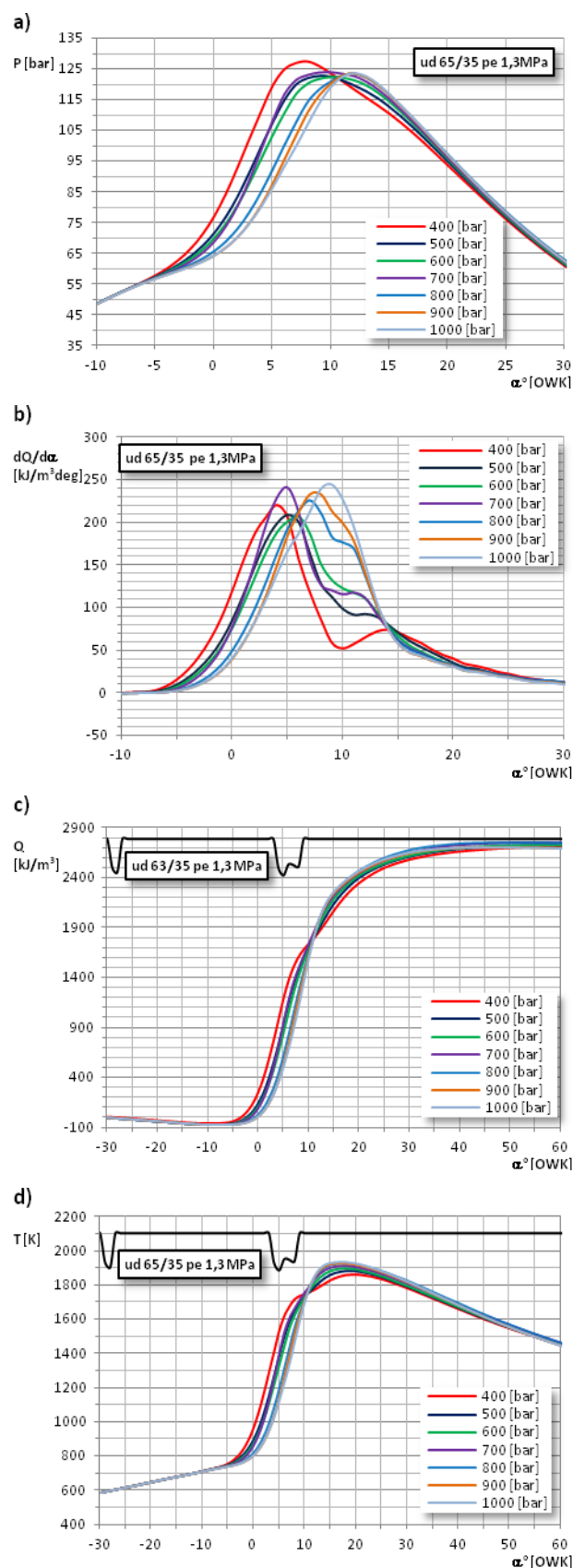
wtrysku, zaś najwyższą sprawność uzyskuje się przy ciśnieniu najwyższym. Sprawność mechaniczna wykazuje odmienny charakter uzasadnieniem, czego będzie późniejsza analiza przebiegu ciśnień w cylindrze. W związku z tym różnice w sprawności ogólnej dla poszczególnych prób będące wypadkową sprawności cieplnej i mechanicznej są bardzo niewielkie. Największa różnica nieznacznie przekracza jeden procent i podobnie jak dla sprawności cieplnej dotyczy skrajnych ciśnień i 50% udziału propanu.



Rys. 1. Porównanie: a) sprawności cieplnej, b) mechanicznej, c) ogólnej dla różnych wartości ciśnień wtrysku oleju napędowego oraz czterech udziałów energetycznych propanu

W trakcie badań rejestrowano przebiegi ciśnień w cylindrze w funkcji kąta obrotu wału korbowego a przedstawione wyniki są średnią ze stu kolejnych cykli. Zestawione poniżej wykresy zarejestrowanych ciśnień w cylindrze ukazują wyraźny wpływ zmiany wielkości ciśnienia na przebieg procesu spalania. Wzrost ciśnienia wtrysku opóźnia początek spalania. Tendencja ta dotyczy wszystkich przebadanych udziałów energetycznych obu paliw. Dla najniższego stosowanego ciśnienia wtrysku przebieg ciśnienia w cylindrze jest wyraźnie odmienny od pozostałych pomimo stałej wartości przyrostu ciśnienia wtrysku równej 100 [bar]. Przy założeniu że dawka oleju napędowego dostarczana w dawce pilotującej jest stała

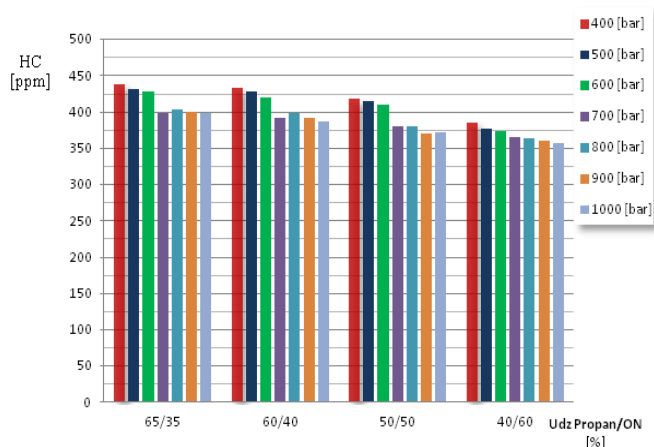
bez względu na ciśnienie wtrysku należy przyjąć że zmianie ulega wielkość kropeł w strudze paliwa oraz jej zasięg. Zatem zmieni się również czas potrzebny do odparowania i wymieszania z tlenem wtrysniętego paliwa. Kąt wtrysku dawki pilotującej wynoszący 30 stopni przed GMP sprawia że dawka ta wtryskiwana jest w obszar o stosunkowo niskiej temperaturze. Wielkość dawki wynosząca około 1,2 mg wtrysnięta pod wysokim ciśnieniem gwałtownie odparowując tworzy bardzo ubogą mieszaninę która rozpoczyna proces spalania gdy temperatura w cylindrze wynosi ponad 700 [K]. Wskutek większej średnicy kropeł czas potrzebny do jej odparowania rośnie a zarazem porcja nieodparowanego paliwa jest w stanie przetrwać do momentu uzyskania wyższej temperatury w procesie sprężania tworząc w tym czasie obszary o odpowiednim składzie zapewniając w ten sposób warunki konieczne do zainicjowania procesu spalania. Konsekwencją takiego mechanizmu jest wcześniejszy początek spalania uzyskiwany dla dawek oleju napędowego wtryskiwanych przy niższych ciśnieniach. Na rys 2. b) przedstawiono wyliczone przebiegi wywiązywania się ciepła, na których można łatwo zaobserwować wpływ parametrów wtrysku dawki głównej. Ponieważ jest on realizowany 3° po GMP krzywa wywiązywania się ciepła załamuje się wyraźnie tuż po zamknięciu wtryskiwacza, kiedy wtrysnięta dawka oleju napędowego pobiera ciepło w procesie parowania. Skutkuje to obniżeniem ciśnienia w cylindrze a zarazem redukuje maksymalne chwilowe przyrosty ciśnień, co może być pożądane w przypadku zasilania dwupaliwowego szczególnie przy dużych udziałach paliwa gazowego. Ponadto należy zauważyć, że wraz ze wzrostem ciśnienia wtrysku załamanie to stopniowo zanika, a dla najwyższego stosowanego ciśnienia, szczytowa wartość wywiązywania ciepła przypada tuż po wtrysku dawki głównej. Takie umiejscowienie dawki głównej w trakcie najbardziej intensywnego wydzielania ciepła mogło przyczynić się do uzyskania najwyższej sprawności cieplnej. Charakter przebiegu wywiązywania się ciepła wskazuje na równie odmienny i zależny od ciśnienia wtrysku przebieg wypalenia ładunku rys. 2. c) szczególnie charakterystyczny przebieg wypalenia ładunku dotyczy próby z najniższym ciśnieniem wtrysku. Można tu wyodrębnić trzy etapy wypalenia ładunku. W chwili rozpoczęcia procesu spalania tj. około 10° rozpoczyna się etap pierwszy, który trwa do 8° po GMP. Intensywność wypalenia ładunku na tym etapie przebiega podobnie dla wszystkich przeprowadzonych prób. Dla omawianego charakterystycznego przypadku z najniższym ciśnieniem wtrysku gdzie proces spalania rozpoczyna się najwcześniej, etap ten również rozpoczyna się najwcześniej. Etap drugi z charakterystycznym załamaniem w okolicach 8° po GMP przypadający na czas tuż po zamknięciu wtryskiwacza realizującego wtrysk dawki głównej gdzie szybkość wypalenia ładunku spadła. Oraz etap trzeci rozpoczynający się w okolicach 12° po GMP a kończący się wraz z wypaleniem ładunku. Etap ten również wskazuje na zmniejszenie szybkości wypalenia ładunku. Jest to spowodowane wydłużeniem czasu potrzebnego do odparowania kropeł oleju napędowego o większej średnicy, a zarazem późnym wtryskiem dawki głównej. Stąd też najniższe temperatury uzyskiwane w procesie spalania występują dla najniższego ciśnienia wtrysku (rys. 2 d).



Rys. 2. Przebiegi: a) ciśnienie w cylindrze, b) wydzielania ciepła, c) stopnia wypalenia dawki, d) temperatur dla różnych wartości ciśnienia wtrysku oleju napędowego oraz czterech udziałów energetycznych propanu

2.2. Analiza spalin

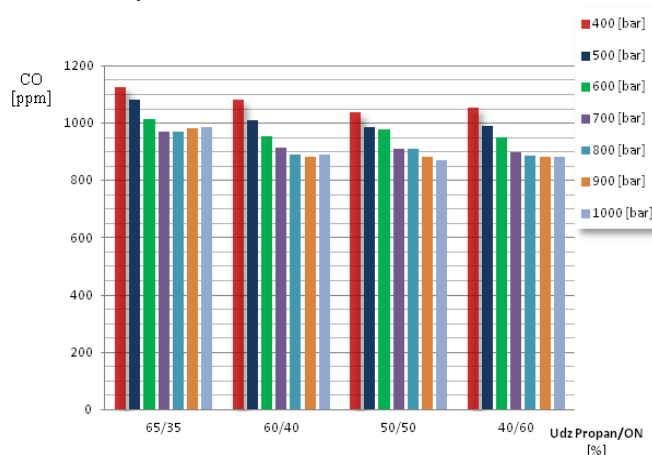
Podczas badań rejestrowano emisje stężeń kilku składników spalin tj. węglowodorów HC, tlenków azotu NO_x , tlenków węgla CO, propanu C_3H_8 , oraz cząstek stałych PM. Zgodnie z wcześniejszą analizą procesu spalania należy uznać, że zmiana ciśnienia wtrysku a zarazem zmiana średnicy kropelek oleju napędowego będą miały wpływ na przebieg procesu spalania a tym samym na emisję wyżej wymienionych składników spalin. Zaprezentowane wyniki dotyczą wpływu zmian ciśnienia wtrysku oraz zmian proporcji obu paliw na emisję rejestrowanych składników. Wpływ wielkości ciśnienia wtrysku na emisję węglowodorów przedstawia rys. 3. Niezależnie od proporcji obu paliw najniższemu ciśnieniu wtrysku towarzyszy najwyższa emisja węglowodorów. Największe różnice dotyczą skrajnych ciśnień wtrysku. Można uznać zatem, że mechanizm tworzenia węglowodorów zależy wyraźnie od wielkości ciśnienia wtrysku. Zaprezentowane wyniki wskazują jednak na stopniowe zanikanie wpływu wielkości ciśnienia wtryska na emisję węglowodorów. Wyraźny spadek emisji następuje z chwilą wzrostu ciśnienia wtrysku z 600 do 700 [bar] szczególnie dla dwóch pierwszych przypadków z najwyższymi udziałami energetycznymi propanu. Kolejne przeprowadzone próby z wyższym ciśnieniem wtrysku nie powodują już tak wyraźnych zmian. Oznacza to, że czas potrzebny do odparowania kropelek paliwa uformowanych przy ciśnieniu 700 [bar] jest wystarczający, a dalszy wzrost ciśnienia wtrysku mimo poprawy rozpylenia nie przełoży się na wyraźny spadek emisji węglowodorów. Należy jednak uwzględnić potrzebę stosowania wyższych ciśnień wtrysku dla wyższych prędkości obrotowych silnika, kiedy to czas potrzebny do przygotowania ładunku i przeprowadzenia procesu spalania ulega skróceniu.



Rys. 1. Emisja węglowodorów HC dla różnych wartości ciśnień wtrysku oraz czterech udziałów energetycznych propanu

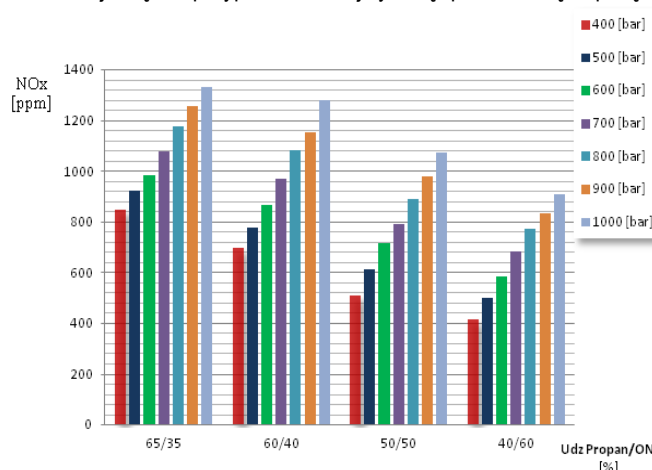
Wpływ wielkości ciśnienia wtrysku na emisję tlenku węgla i węglowodorów jest bardzo podobny. Zasadniczo główną przyczyną powstawania tlenku węgla jest niedobór tlenu. Ponieważ we wszystkich przeprowadzonych próbach występował nadmiar tlenu należy wnioskować, że podwyższone stężenie CO obserwowane dla przypadków z najniższym ciśnieniem wtrysku spowodowane jest pogorszeniem się warunków utleniania standardowego paliwa. Za przyczynę słabszego utleniania ponownie odpowiada większa średnica kropelek oleju napędowego a ponadto zredukowana ilość dostarczonego w suwie ssania powietrza wypieranego przez porcję wtryskiwanego do kolektora dolotowego propanu. Obszar w bezpośrednim sąsiedztwie kropli oleju napędowego pozbawiony jest tlenocznego następstwem jest tworzenie się niejednorodnej mieszaniny i obszarów pozbawionych wystarczającej ilości tlenu co prowadzi do pogorszenia procesu spalania a w konsekwencji wzrostu stężeń CO. Warunki tworzenia jednorodnej mieszaniny

ulegają wyraźniej poprawie z chwilą wzrostu ciśnienia wtrysku z 600 do 700 [bar] dalszy wzrost ciśnienia nie prowadzi do tak wyraźnych zmian w emisji CO.



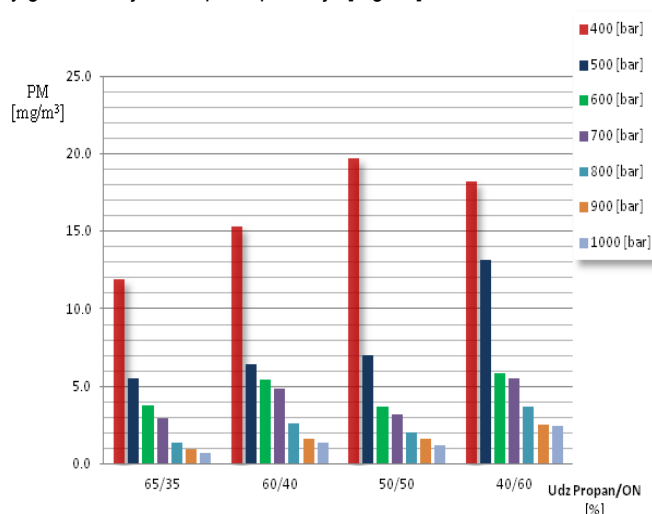
Rys. 2. Emisja tlenku węgla CO dla różnych wartości ciśnień wtrysku oleju napędowego oraz czterech udziałów energetycznych propanu

Wpływ wielkości ciśnienia wtrysku na emisję tlenków azotu jest bardzo wyraźny, bez względu na udział energetyczny propanu w spalanej mieszaninie rys. 5. Proporcjonalnie do wzrostu ciśnienia wtrysku oleju napędowego obserwuje się wzrost stężeń tego składnika. Największą ponad dwukrotnie wyższą emisję NO_x odnotowano dla 50% i 40% udziału propanu. Wyższy udział procentowy propanu w spalanej mieszaninie skutkuje wzrostem stężeń tego składnika. Na podstawie emisji tlenków azotu można wnioskować o jakości przygotowanej mieszaniny oraz przebiegu procesu spalania. Przy wyższych udziałach paliwa gazowego uzyskuje się bardziej jednorodną strukturę mieszaniny, która rozpoczyna a zarazem przygotowuje proces spalania po wtrysku niewielkiej dawki pilotującej oleju napędowego. Dalszy etap tego procesu rozpoczyna wtrysk głównej dawki oleju napędowego wtryskiwanej w okolicach GMP po której proces spalania jest gwałtowny i charakterystyczny dla spalania kinetycznego. Gwałtowność tego procesu sprzyja tworzeniu się tlenków azotu stąd też najwyższy ich udział dla przypadku z największym udziałem propanu. Ponadto wzrost ciśnienia wtrysku poprawia jednorodność mieszaniny, skracając tym samym czas potrzebny do odparowania oleju napędowego, co przekłada się na intensywność tworzenia NO_x . Warunki które sprzyjają tworzeniu się tego składnika niestety są kluczowe dla uzyskania najwyższej sprawności cieplnej, dlatego też najwyższe stężenia tlenków azotu odnotowuje się dla przypadków z najwyższą sprawnością cieplną.



Rys. 3. Emisja tlenków azotu NO_x dla różnych wartości ciśnień wtrysku oraz czterech udziałów energetycznych propanu

Równie istotne znaczenie ma wpływ ciśnienia wtrysku na formowanie cząstek stałych PM. Kolejne generacje układów zasilania silników o zapłonie samoczynnym sprawiły że bardzo wysokie ciśnienia wtrysku obecnie ponad 200[MPa] wyraźnie ograniczyły emisję PM. Zatem obniżanie ciśnienia wtrysku odwraca tę zależność. Warto podkreślić, że zastosowanie paliw gazowych może wyraźnie ograniczyć emisję cząstek stałych. Na rys. 6 przedstawiono wpływ wielkości ciśnienia wtrysku na emisję PM dla różnych udziałów propanu. Najniższe zastosowane ciśnienie wtrysku skutkuje najbardziej intensywnym procesem tworzenia PM. Wzrost ciśnienia zaledwie o 10[MPa] gwałtownie obniża emisję tego składnika. Masa cząstek stałych dla przypadku z 50% udziałem propanu spada blisko trzykrotnie przy ciśnieniu wtrysku 500bar, i jest to zarazem najbardziej wyraźna zmiana. Dalszy wzrost ciśnienia wtrysku przekłada się na ograniczenie PM. Połączenie wysokiego ciśnienia wtrysku z dużym udziałem paliwa gazowego daje najlepsze rezultaty gdzie emisja PM spada poniżej 1[mg/m³].



Rys. 4. Emisja cząstek stałych dla różnych wartości ciśnień wtrysku oraz czterech udziałów energetycznych propanu

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania nad wpływem wielkości ciśnienia wtrysku na proces spalania w silniku dwupaliwowym zasilanym propanem i olejem napędowym o różnych udziałach energetycznych wykazały, że, istnieje wyraźna zależność pomiędzy ciśnieniem wtrysku a przebiegiem procesu spalania. Wzrost ciśnienia wtrysku przekłada się na wzrost sprawności cieplnej ponadto sprzyja ograniczeniu emisji CO, HC oraz PM. Wyraźnie zwiększa emisję NO_x i podnosi temperaturę w procesie spalania. Zmianę parametru jakim jest ciśnienie wtrysku można uznać za jedną z metod wpływających na początek procesu spalania obok zmiany wielkości i położenia wtrysku dawki inicjującej. Warto zauważyć że istnieją wyraźne różnice zarówno w przebiegu procesu spalania jak i emisji związków toksycznych dla konkretnych przedziałów ciśnień. Oznacza to że niewielka zamiana tego parametru na przykład na skutek uszkodzenia czy też zużycia aparatury paliwowej może skutkować gwałtownym pogorszeniem warunków pracy silnika. W badaniach zdecydowano na utrzymanie stałego początku wtrysku obu dawek oraz ich wielkości. Należy podkreślić, że zmiana proporcji paliw w trakcie dwupaliwowego zasilania powinna wiązać się ze zmianą parametrów wtrysku szczególnie początku wtrysku zarówno dawki pilotującej jak i dawki głównej. Również wielkość dawki pilotującej jak i ciśnienie wtrysku w istotny sposób wpływają na przebieg procesu spalania. Zatem stosowanie wyraźnych udziałów paliwa dodatkowego bez wprowadzenia zmian parametrów wtrysku paliwa stan-

ardowego podczas zasilania dwupaliwowego będzie mocno ograniczone.

BIBLIOGRAFIA

1. Stelmasiak Z.: Dwupaliwowe silniki o zapłonie samoczynnym. Bielsko-Biała — Radom: ITE 2013
2. Bocheński C., Jankowski A., Siemińska-Jankowska B., Badania widma rozpylenia paliwa w systemie common – rail do silników z zapłonem samoczynnym – Journal of KONES Combustion Engines 2002 No. 1-2 ISSN 1231-4005
3. Skrzek T.: Wpływ podziału dawki oraz kąta początku wtrysku dawki inicjującej na parametry pracy dwupaliwowego silnika o zapłonie samoczynnym. - Combustion Engines. 2015, 162(3), 886-892. ISSN 2300-9896

EFFECT OF DIESEL OIL INJECTION PRESSURE ON OPERATING PARAMETERS AND COMBUSTION IN A DUAL-FUEL ENGINE OPERATING ON PROPANE

Abstract

The paper presents and discusses results of investigation on the effect of diesel oil injection pressure on engine performances, toxic exhaust emissions and combustion in a dual-fuel engine operating on evaporated propane. The investigation was carried out on a test stand with a single-cylinder AVL compression ignition engine. The applied high-pressure storage diesel oil injection system enabled to adjust injection parameters for dual-fuel operation mode and engine operation with 65% energy share of the gaseous fuel and with supercharging. Although the injection pressure varied, the diesel oil charge was constant. Also the air excess coefficient was constant during the whole investigation and equal to 1.25 what corresponds to the full engine load. The investigation revealed clear effect of diesel oil injection pressure on many engine parameters as well as the necessity to adjust injection parameters in case of various proportions of both investigated fuels.

Autor:

dr inż. **Tomasz Skrzek** –Instytutu Eksploatacji Pojazdów i Maszyn na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu.