

Zygmunt SZLACHTA
Hubert KUSZEWSKI

PARAMETRY STRUG PALIWA TWORZONYCH PRZEZ WTRYSKIWACZ KLASYCZNY I Z OBROTOWO-ZWROTNYM RUCHEM IGLICY

Parameters of fuel sprays formed by two injectors: classic one and with rotary-swinging needle movement

Wstęp

Liczne publikacje wskazują, że dotychczasowe klasyczne systemy wtrysku paliwa do komory spalania, najbardziej ekonomicznych silników wysokoprężnych o bezpośrednim wtrysku, osiągnęły kres możliwości z ekologicznego punktu widzenia. Dla utrzymania emisji toksycznych składników spalin w zakresie określonym zarówno normą EURO III, jak i przyszłościową normą EURO IV, konieczne jest podejmowanie szeregu różnorodnych ingerencji w system spalania. Winno się to odbywać już na etapie wtrysku paliwa i jego rozprzeczania w komorze spalania [1, 3, 5, 6]. Stosowane w tym celu kojarzenie strug paliwa, tworzonych przez klasyczny wielootwórkowy wtryskiwacz, z ruchem wirowym powietrza nie zapewnia – jak wiadomo – równoczesnego ograniczenia wytwarzania dwu najtrudniejszych do usunięcia toksycznych składników spalin: cząstek stałych i tlenków azotu. Wyrażany jest pogląd, że wyraźniejszy postęp w tym zakresie może być uzyskany dopiero w wyniku zmiany mechanizmu tworzenia mieszaniny palnej. Chodzi o zmianę wzajemnych relacji pomiędzy zachodzącymi równocześnie procesami wtrysku i rozpylania paliwa, odparowaniem kropli, mieszaniem z powietrzem, wstępnymi reakcjami przedpłomiennymi i właściwym spalaniem.

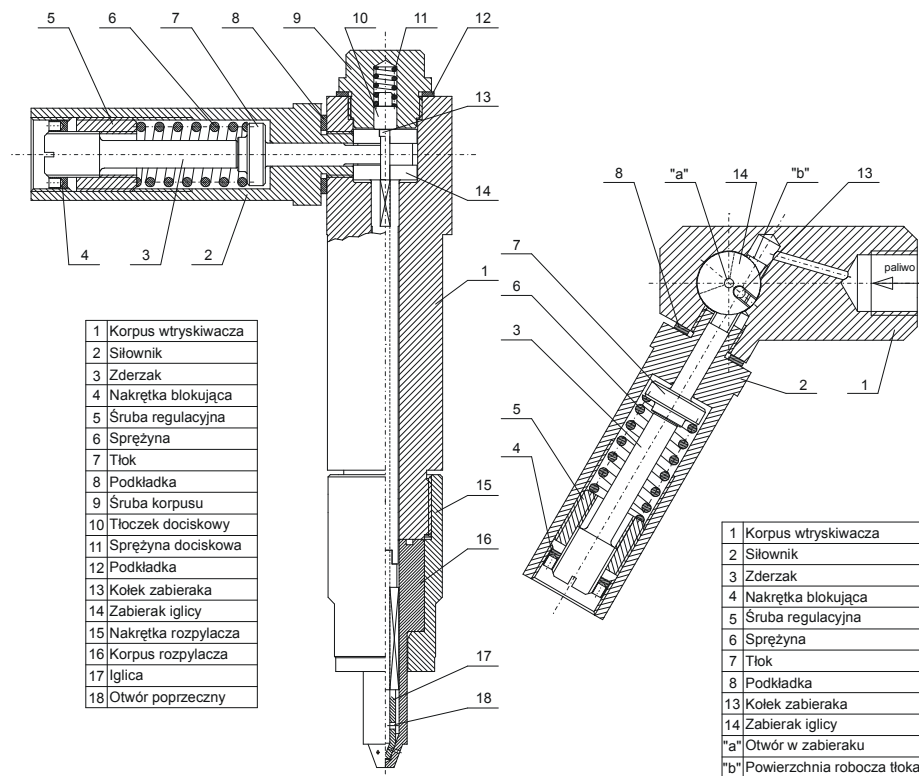
Istotną rolę w tych procesach winna odgrywać odpowiednio ukształtowana struga wtryskiwanego paliwa, cechująca się odmienną makro- i mikrostrukturą. Osiągnięcie tego celu wymaga zastosowania wtryskiwacza o zupełnie odmiennej konstrukcji i zasadzie działania [9]. Jedno z takich rozwiązań było obiektem badań w ramach niniejszego opracowania [4, 7, 8]. Rozpylacz takiego wtryski-

Dr hab. inż. **Zygmunt Szlachta**, prof. PK, mgr inż. **Hubert Kuszewski**, Instytut Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych Politechniki Krakowskiej.

wacza charakteryzuje się zmiennym przekrojem otworków rozpylających paliwo w czasie trwania wtrysku. Zmienność przekrojów jest realizowana poprzez obrotowo-zwrotny ruch iglicy. Zaprezentowane przykładowe wyniki badań dowodzą, że struga generowana przez taki wtryskiwacz charakteryzuje się odmiennymi wartościami parametrów makrostruktury w stosunku do strugi generowanej przez rozpylacz klasyczny.

Budowa i zasada działania wtryskiwacza z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy

Konstrukcję wtryskiwacza z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy pokazano na rys. 1. Paliwo dopływa przewodem wysokiego ciśnienia do górnej części korpusu wtryskiwacza. Ciśnienie paliwa oddziałuje na powierzchnię roboczą „b” tłoka (7) połączonego za pomocą kołka (13) z zabierakiem iglicy wtryskiwacza (14). Powoduje to obrót zabieraka i równoczesny obrót iglicy (17) połączonej z zabierakiem.



Rys. 1. Konstrukcja wtryskiwacza z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy

Do iglicy paliwo dopływa otworem „a” w zabieraku iglicy oraz szczeliną pomiędzy zabierakiem i korpusem wtryskiwacza. Stąd współosiowym otworem w iglicy (17) paliwo przepływa do otworków w iglicy (otworków rozpylających), jak i w korpusie rozpylacza (otworków wylotowych), na tworzącej stożka uszczelniającego iglicę.

Wpływ paliwa z rozpylacza zaczyna się w chwili gdy iglica wykonująca ruch obrotowo-zwrotny spowoduje takie przemieszczenie w iglicy w kierunku otworków w korpusie, że powstanie chwilowe ich przykrycie, czyli niekołowy przekrój przepływowy. Przekrój ten wzrasta wraz z powiększaniem kąta obrotu iglicy. Należy zaznaczyć, że początkowo (w zakresie niewielkich wartości kąta obrotu) iglica wykonuje ruch jałowy, wskutek czego nie następuje przyrost przekroju przepływowego.

Obrót iglicy w jedną stronę trwa aż do pokrycia się osi otworków iglicy i rozpylacza. W tym położeniu tłok zabieraka opiera się o zderzak (3), który stanowi element regulacyjny ograniczający obrót iglicy. Wywołany wpływem paliwa spadek ciśnienia paliwa we wtryskiwaczu powoduje, że sprężyna (6) przesuwa tłok (7) poruszający się w siłowniku (2), wkręconym w korpus wtryskiwacza, do położenia odpowiadającego stanowi zamknięcia rozpylacza. W czasie tego przesuwu przekrój przepływowy rozpylacza maleje do zera.

Charakterystyczną cechą odróżniającą nową konstrukcję wtryskiwacza od klasycznego jest to, iż paliwo w początkowej i końcowej fazie jego wtrysku wypływa przez przekrój niekołowy, zbliżony kształtem do soczewki. Można zatem mówić o „soczewkowym” przekroju przepływowym. Istotne jest, że w czasie wtrysku paliwo jest dławione tylko w tym przekroju.

Wyniki badań i ich analiza

Parametry makrostruktury strugi rozpylanego paliwa wyznaczano na podstawie pomiarów wykonanych na specjalnie do tego celu zbudowanym stanowisku, które umożliwiała wizualizację rozwoju strugi w czasie wtrysku paliwa do komory o stałej objętości [4, 7, 8]. Rejestracja rozwoju strugi była dokonywana za pomocą szybkoobrotowej kamery filmowej (6000 klatek/s).

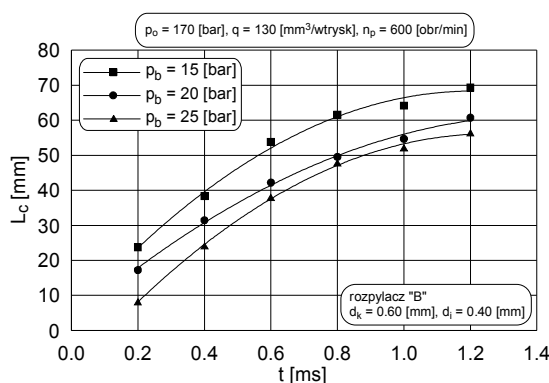
Analizie poddano: zasięg czoła strugi – L_c , kąt wierzchołkowy strugi – Θ_s i powierzchnię rzutu strugi na płaszczyznę prostopadłą do osi rozpylacza – A_s . Ostatnie kryterium oceny makrostruktury strugi zostało wprowadzone ze względu na nieregularny kształt strugi generowanej przez wtryskiwacz z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy.

Badaniom poddano wtryskiwacz klasyczny z rozpylaczem D1LMK 140/M2 oraz wtryskiwacz nowego typu, w którym iglica wykonuje ruch obrotowo-zwrotny, oznaczony jako „B”. Oba rozpylacze były trzyotworkowe, przy czym średnica otworka w korpusie rozpylacza klasycznego była równa średnicy otworka w iglicy rozpylacza z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy.

Zasięg czoła strugi

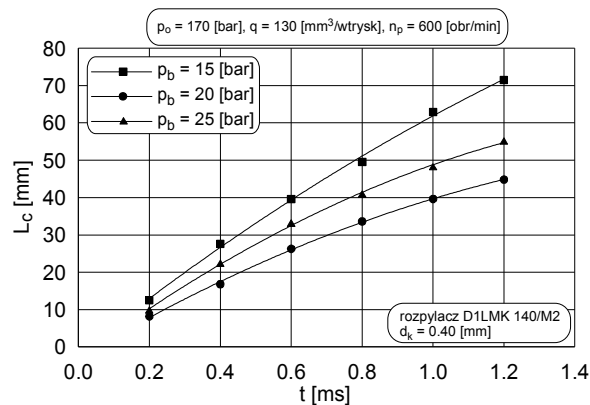
Podczas badań dla obu wtryskiwaczy wyregulowano jednakowe: statyczne ciśnienie otwarcia wtryskiwacza $p_o = 170$ [bar], dawkę paliwa $q = 130$ [mm³/wtrysk] i prędkość obrotową wałka krzywkowego pompy wtryskowej $n_p = 600$ [obr./min]. Paliwa różniące się lepkością (olej napędowy ON, olej rzepakowy OR, mieszanina 70% OR + 30% ON) wtryskiwano do komory wizualizacyjnej wypełnionej azotem, którego ciśnienie p_b przybierało wartości 15, 20 i 25 bar.

Na rys. 2 przedstawiono zasięg czoła strugi oleju napędowego wytwarzanej przez rozpylacz z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy w warunkach różnych wartości przeciwcisnienia w komorze wizualizacyjnej. Jak widać, wzrost ciśnienia azotu w komorze wizualizacyjnej powodował – zgodnie z oczekiwaniami – zmniejszenie zasięgu czoła strugi. Jest to prawidłowość często obserwowana w rozpylaczach klasycznych, którą należy wiązać z wpływem oporu aerodynamicznego na krople o różnej wielkości. Wzrost przeciwcisnienia (gęstości gazu) powoduje wzrost oporów aerodynamicznych, a zmniejszone ciśnienie dynamiczne gazu, stanowiącego środowisko wtrysku, pogarsza warunki do wtórnego rozpadu kropeł, w wyniku czego powstaje więcej dużych kropeł, które mają większe zdolności penetracyjne.

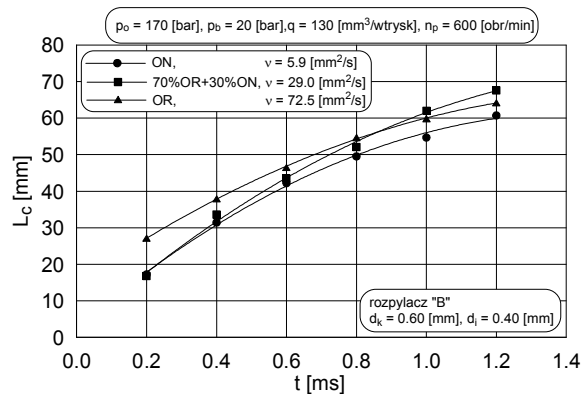


Rys. 2. Zasięg czoła strugi oleju napędowego wytwarzanej przez wtryskiwacz z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy przy różnych wartościach przeciwcisnienia w komorze wizualizacyjnej

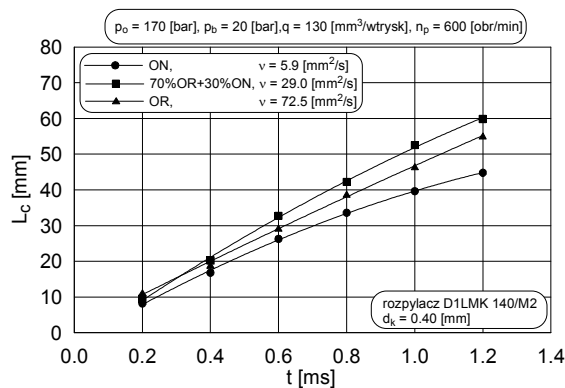
Dla rozpylacza klasycznego (rys. 3) największy zasięg czoła strugi oleju napędowego uzyskano, podobnie jak dla rozpylacza z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy, dla $p_b = 15$ bar. Jednak dla $p_b = 20$ bar stwierdzono mniejszy zasięg czoła niż dla $p_b = 25$ bar. Było to prawdopodobnie spowodowane tym, że dla analizowanego (pojedynczego) wtrysku, przy $p_b = 25$ bar, prędkość początkowa paliwa na wylocie z rozpylacza była wyższa niż przy wtrysku realizowanym przy $p_b = 20$ bar. Było to spowodowane większą różnicą między ciśnieniem panującym przed wtryskiwaczem i w wizualizacyjnej komorze ciśnieniowej. Wskutek tego większa energia kinetyczna nadana strudze przy $p_b = 25$ bar wywarła tu silniejszy wpływ na ruch czoła strugi niż zwiększony opór aerodynamiczny ośrodka. Porównując rys. 2 i 3 widać, że ogólnie zasięg czoła strugi generowanej przez rozpylacz z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy jest większy.



Rys. 3. Zasięg czola strugi oleju napędowego wytwarzanej przez wtryskiwacz klasyczny przy różnych wartościach przeciwności w komorze wizualizacyjnej



Rys. 4. Zasięg czola strugi wytwarzanej przez rozpylacz z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy przy zastosowaniu paliw różniących się własnościami fizycznymi



Rys. 5. Zasięg czola strugi wytwarzanej przez rozpylacz klasyczny przy zastosowaniu paliw różniących się własnościami fizycznymi

Jak można było przypuszczać, zastosowanie paliw o znacznie większej lepkości wpłynęło w przypadku obu typów wtryskiwaczy na znaczne zwiększenie osiąganych ciśnień wtrysku paliwa. Było to spowodowane zmniejszeniem wartości współczynnika wypływu paliwa z otworków rozpylacza. Zmiany te były główną przyczyną wzrostu zasięgu czoła strugi dla paliw o zwiększonej lepkości (OR – $\nu = 72,5 \text{ mm}^2/\text{s}$, 70% OR + 30% ON – $\nu = 29,0 \text{ mm}^2/\text{s}$) w stosunku do oleju napędowego (ON – $\nu = 5,9 \text{ mm}^2/\text{s}$) – rys. 4 i 5. Dodatkową przyczyną wzrostu zasięgu czoła strugi wskutek zwiększenia lepkości paliwa dla obu typów wtryskiwaczy było prawdopodobnie zwiększenie rozmiarów kropeł wskutek pogorszonych warunków do ich rozpadu.

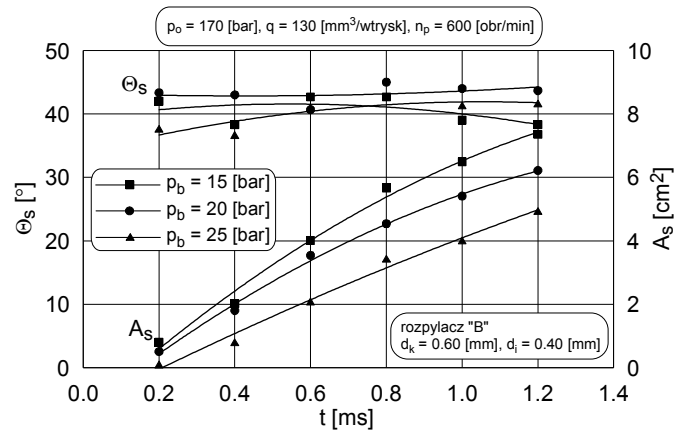
Z porównania rys. 4 i 5 wynika, że podobnie jak w przypadku oleju napędowego, zasięg czoła strugi innych badanych paliw był większy dla wtryskiwacza z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy w całym rozpatrywanym czasie rozwoju strugi.

Kąt wierzchołkowy i powierzchnia strugi

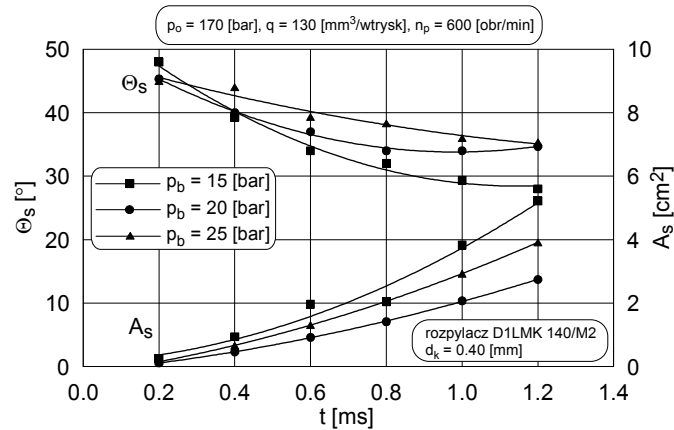
Na rys. 6 widać, że w przypadku rozpylacza z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy zmiana przeciwcisnienia w komorze wizualizacyjnej praktycznie nie wpłynęła na wartości kątów wierzchołkowych strugi w całym badanym okresie jej rozwoju. Inaczej jest natomiast w przypadku powierzchni strugi, gdyż największą powierzchnię odnotowano dla $p_b = 15 \text{ bar}$, a więc przy przeciwcisnieniu, przy którym zasięg czoła strugi był największy.

Natomiast w przypadku wtryskiwacza klasycznego wpływ wartości p_b na kąt θ_s był już wyraźniejszy – rys. 7. Jak można było przypuszczać, największymi kątami wierzchołkowymi cechowała się struga generowana przez rozpylacz klasyczny przy największej wartości przeciwcisnienia w komorze p_b . Wartości kątów wierzchołkowych strugi malały w miarę jej rozwoju, co wskazuje, że zmniejszała się penetracja strugi w kierunkach prostopadłych do jej osi. Ze względu na procesy mieszania jest to efekt niekorzystny. Może on być tylko częściowo rekompensowany przez to, że ogólna powierzchnia strugi rośnie wraz z jej rozwojem. Najmniejszą powierzchnię strugi stwierdzono dla pośredniej wartości przeciwcisnienia gazu w komorze wizualizacyjnej $p_b = 20 \text{ bar}$, a więc dla tej wartości, dla której odnotowano najmniejszy zasięg czoła strugi.

Z porównania rys. 6 i 7 wynika, że osiągane wartości A_s dla wtryskiwacza z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy były większe niż dla wtryskiwacza klasycznego. Może to dodatkowo wskazywać na lepsze własności strugi wtryskiwacza z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy, ze względu na procesy mieszania paliwa z powietrzem.



Rys. 6. Kąt wierzchołkowy i powierzchnia strugi wytwarzanej przez rozpylacz z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy w warunkach różnych wartości przeciwnieśnienia w komorze wizualizacyjnej

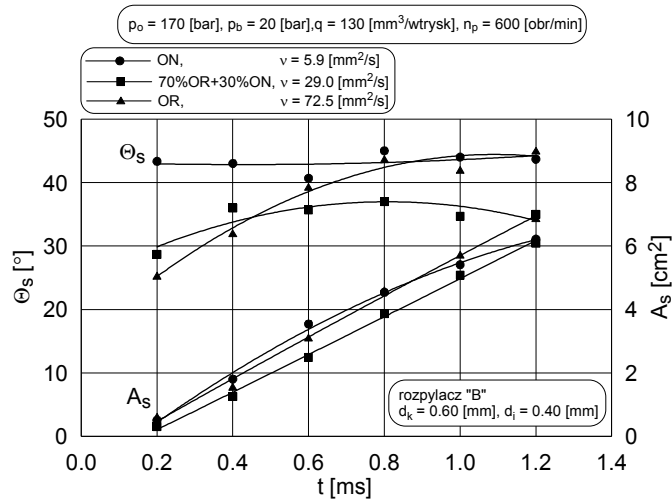


Rys. 7. Kąt wierzchołkowy i powierzchnia strugi wytwarzanej przez rozpylacz klasyczny w warunkach różnych wartości przeciwnieśnienia w komorze wizualizacyjnej

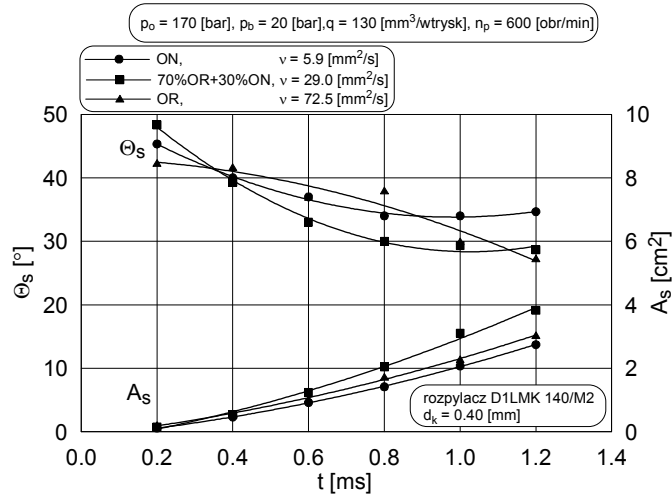
Zastosowanie paliw o zwiększonej lepkości kinematycznej miało niewielki wpływ na powierzchnię strugi A_s (rys. 8 i 9). Jednocześnie można zauważyć, że wartości tej powierzchni są znacznie większe dla rozpylacza z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy.

Kąty strugi generowanej przez rozpylacz klasyczny malały z upływem czasu rozwoju strugi, a na jego wartość praktycznie nie miał wpływu rodzaj paliwa. Natomiast w przypadku rozpylacza z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy kąt wierzchołkowy strugi zależał nie tylko od czasu rozwoju strugi, ale również od rodzaju paliwa. Charakterystyczne jest to, że największe wartości tych kątów stwierdzono dla paliwa o najmniejszej lepkości i najmniejszym napięciu powierzchniowym (ON). Nie ulegały one zmianie z upływem czasu rozwoju strugi. Prawdopodobnie mniejsze krople były wówczas silniej odchylane na zewnątrz strugi. Inaczej było natomiast w przypadku zastosowania oleju rzepakowego.

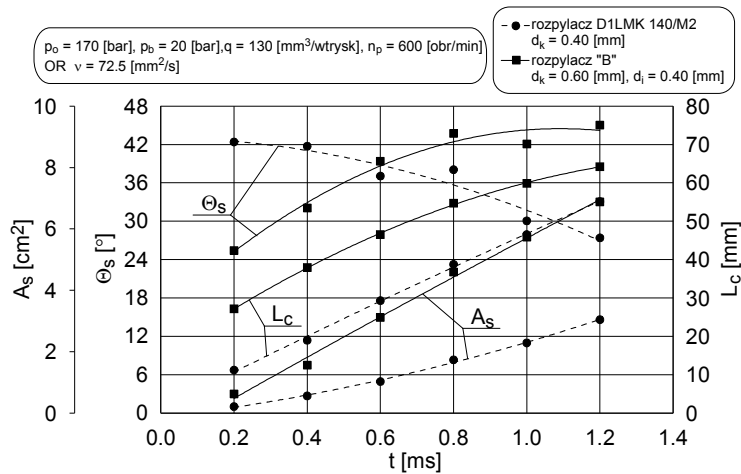
wego, który charakteryzował się największą lepkością. Wówczas kąt wierchołkowy strugi ulegał ciągłemu wzrostowi i dla czasu $t = 1,2$ ms (co odpowiadało końcowi analizowanego czasu wtrysku paliwa) był już większy niż w przypadku zastosowania oleju napędowego. Niewątpliwie w tym przypadku kąt wierchołkowy strugi był wynikiem dodatkowego czynnika zwiększającego burzliwość wypływu z rozpylacza, mianowicie zmienności przekrojów otworków rozpylających i związanej z tym ciągłej zmiany stosunku długości do przekroju otworka wylotowego.



Rys. 8. Kąt wierchołkowy i powierzchnia strugi wytwarzanej przez rozpylacz z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy przy rozpylaniu paliw różniących się własnościami fizycznymi



Rys. 9. Kąt wierchołkowy i powierzchnia strugi wytwarzanej przez rozpylacz klasyczny przy rozpylaniu paliw różniących się własnościami fizycznymi



Rys. 10. Porównanie kąta wierchołkowego, powierzchni i zasięgu czoła strugi wytwarzanej przez rozpylacz klasyczny i z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy przy rozpylaniu oleju rzepakowego

Na rys. 10 przedstawiono dodatkowo porównanie powierzchni, kąta wierchołkowego i zasięgu czoła strugi generowanej przez trzyotworkowy rozpylacz klasyczny i z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy przy rozpylaniu oleju rzepakowego. Badania przeprowadzono przy przeciwności w komorze wizualizacyjnej $p_b = 20$ bar, statycznym ciśnieniu otwarcia wtryskiwaczy $p_o = 170$ bar. Dawka paliwa została wyregulowana na wartość $q = 130$ mm³/wtrysk, a prędkość obrotowa wałka krzywkowej pompy wtryskowej ustawiona na $n_p = 600$ obr./min. Pomimo, że dla wtryskiwacza z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy odnotowano mniejsze wartości ciśnienia wtrysku ($p_{w_max} = 300$ bar, $p_{w_sr} = 189$ bar, dla wtryskiwacza klasycznego było odpowiednio: 376 bar i 236 bar), to powierzchnia i zasięg czoła strugi były w tym przypadku znacznie większe. Jedynie kąt wierchołkowy strugi w początkowej fazie wtrysku miał mniejszą wartość dla strugi generowanej przez ten wtryskiwacz, ale potem gwałtownie zaczął narastać i pod koniec analizowanego okresu czasu rozwoju strugi był już większy o ok. 18°. Większe wartości parametrów A_s , Θ_s i L_c dla wtryskiwacza z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy wynikały prawdopodobnie nie tylko z braku dławienia przepływu paliwa w gnieździe iglicy, ale także z mechanicznego oddziaływania powierzchni otworków wylotowych w korpusie rozpylacza na strugę.

Wnioski

Zaprezentowane wyniki badań wskazują, że struga paliwa wytwarzana wtryskiwaczem z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy rozwija się odmiennie niż struga generowana przez wtryskiwacz klasyczny. W szczególności analizowane parametry – zasięg czoła, kąt wierchołkowy i powierzchnia strugi – osiągają

w przypadku strugi tworzonej przez nowy typ rozpylacza większe wartości. Może to korzystnie wpływać na ekologiczne i energetyczne własności silnika wyposażonego w taki wtryskiwacz.

Zmiana warunków wtrysku (zmiana ciśnienia ośrodka gazowego, do którego odbywa się wtrysk paliwa, zmiana lepkości paliwa) odmiennie oddziałuje na makrostrukturę strugi generowanej przez oba typy wtryskiwaczy. Przykładem może być kąt wierzchołkowy strugi przy rozpylaniu oleju rzepakowego.

W przypadku rozpylacza klasycznego stwierdzono, że kąt ten wraz z upływem czasu rozwoju strugi maleje, podczas gdy dla rozpylacza z obrotowo-zwrotnym ruchem iglicy stwierdzono tendencję przeciwną.

Piśmiennictwo

1. Dürholz M., Krüger M.: Hat der Dieselmotor als Fahrzeugantrieb eine Zukunft? 6. Aachener Kolloquium „Fahrzeug – und Motorentechnik“, Akwizgran 1997.
2. Fränkle G.: Zur Abgasgesetzgebung für Nutzfahrzeug – Dieselmotoren. Symposium „Dieselmotorentechnik 98“. Esslingen – Ostfildern 1997, Technische Akademie Esslingen.
3. Kollmann K., Bargende M.: DI – Dieselmotor und DI – Ottomotor – Wohin geht die Pkw – Motorenentwicklung? Symposium „Dieselmotorentechnik 98“. Esslingen – Ostfildern 1997, Technische Akademie Esslingen.
4. Kuszewski H.: Wpływ zmiennych przekrojów wylotowych wtryskiwacza z obrotową iglicą na rozpylanie oleju napędowego. Praca doktorska. Politechnika Krakowska. Kraków 2002.
5. Metz N., Seika M.: Die Luftqualität in Europa bis zum Jahre 2010 mit und ohne EURO IV Grenzwerte. 19. Internationales Wiener Motorensymposium. Wiedeń 1998. Fortschrittberichte VDI. Reihe 12, Nr 348.
6. Peake S.: Vehicle and fuel – Challenges beyond 2000. Wyd. FT Automotive Publishing, Londyn, 1997.
7. Sowa K., Szlachta Z., Zabłocki M., Kuszewski H.: Badania nowego proekologicznego systemu spalania dla szybkoobrotowego silnika wysokoprężnego z rozpylaczem o zmiennym przekroju otworków rozpylających paliwo. Sprawozdanie z realizacji Projektu Badawczego nr 9 T12 D 016 16. Kraków 2001.
8. Szlachta Z., Kuszewski H.: Wpływ zmiennych przekrojów wylotowych wtryskiwacza z obrotową iglicą na rozpylanie oleju napędowego. Grant promotorski nr 5 T12D 026 22.
9. Szymański J., Zabłocki M.: Wtryskiwacz do silnika spalinowego. Zgłoszenie patentowe w Urzędzie Patentowym R.P. nr P-294889 z dnia 11. 06. 1992.

Streszczenie

Zaprezentowano nową konstrukcję wtryskiwacza do silnika wysokoprężnego, charakteryzującego się tym, że iglica wykonuje ruch obrotowo-zwrotny. W czasie wtrysku paliwa następuje zmiana przekrojów otworków wylotowych. Nowe rozwiązanie zmienia kształt strug wtryskiwanego paliwa i wpływa na ich własności.

Summary

A new construction of a multi-hole injector for diesel engine was presented. The needle of this injector is performing a rotary-swinging movement. During the fuel injection the needle changes the area of atomizing orifices. This design changes the shape of atomized fuel sprays and has impact on their properties.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Wiesław Piekarski