

Kazimierz SOWA
Tadeusz SIUTA

PORÓWNAWCZE BADANIA WIZUALIZACYJNE STRUG PALIWA WYPLÝWAJĄCYCH Z WTRYSKIWACZY KLASYCZNEGO I DOŚWIADCZALNEGO*

Comparison test visualization of fuel stream injected from standard
and experimental injector

Wstęp

Obecne wymagania dotyczące obniżenia emisji szkodliwych dla otoczenia składników spalin silnika wysokoprężnego (tj. tlenku węgla CO, tlenków azotu NO_x, węglowodorów HC i cząstek stałych PM) zmusza konstruktorów do szczególnej analizy konstrukcji silnika, a przede wszystkim jego systemu spalania i układu wylotowego.

W pierwszym przypadku podlegają badaniu te elementy systemu spalania, które wpływają na procesy zachodzące w cylindrze silnika (doprowadzenie paliwa do cylindra wg tzw. charakterystyki wtrysku paliwa $dV/d\phi = f(\phi)$, rozpylenie i rozprowadzenie paliwa w komorze spalania, jego podgrzanie i odparowanie, a więc przygotowanie mieszaniny paliwowo-powietrznej) oraz spalanie.

Analizie podlega również: wpływ stopnia sprężania silnika ϵ , stosunku S/D (S – skok tłoka, D – średnica cylindra), objętość szkodliwa V_{sz} (określona nie-dojściem tłoka do wewnętrznej powierzchni głowicy), geometria komory spalania i jej położenie.

Natomiast w drugim przypadku chodzi przede wszystkim o analizę konsekwencji umieszczenia w układzie wylotowym, w zależności od potrzeby, katalizatorów: Oxicat (redukującego NO_x, CO, aldehydy i organiczną frakcję cząstek stałych rozpuszczalną SOF), DeNO_x (redukującego NO_x wraz z utlenieniem CO, HC i SOF), czterofunkcyjnego (jako zespolenie katalizatora utleniającego i DeNO_x, filtrów cząstek stałych PM (zwanych łapaczami PM) [1].

Dr inż. **Kazimierz Sowa**, Instytut Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych Politechniki Krakowskiej, dr inż. **Tadeusz Siuta**

* Pracę wykonano w ramach projektu badawczego. Badania nowego proekologicznego systemu spalania dla szybkoobrotowego silnika wysokoprężnego z rozpylaczem o zmiennym przekroju otworów rozpylającego paliwo” nr 9T12 D 01616

Dużą rolę w tworzeniu mieszaniny paliwowo-powietrznej spełnia aparatura wtryskowa, która poprzez wpływ na ciśnienie wtrysku kształtuje natężenie wpływu paliwa z otworów rozpylacza, zasięg czoła strumienia paliwa i rozprządzenie ukształtowanych kropeł paliwa w komorze spalania. W celu uzyskania pożądaných wartości wymienionych wcześniej wskaźników ekologicznych wymaga się stosunkowo dużej wartości ciśnienia wtrysku paliwa, którego uzyskanie zapewniają współczesne układy paliwowe.

Zastosowanie zblokowanej rzędowej pompy wtryskowej (sztywniejszy korpus) pozwala uzyskać ciśnienie tłoczenia paliwa rzędu 80-100 MPa, układy wtryskowe z pompowtryskiwaczem – ok. 120 MPa i układu Common Rail – ok. 200 MPa. Takie duże wartości ciśnienia wtrysku paliwa umożliwiają zwiększenie ilości otworów rozpylających o średnicy nawet $d_0 = 0,17$ mm wykonanych w korpusie rozpylacza [2].

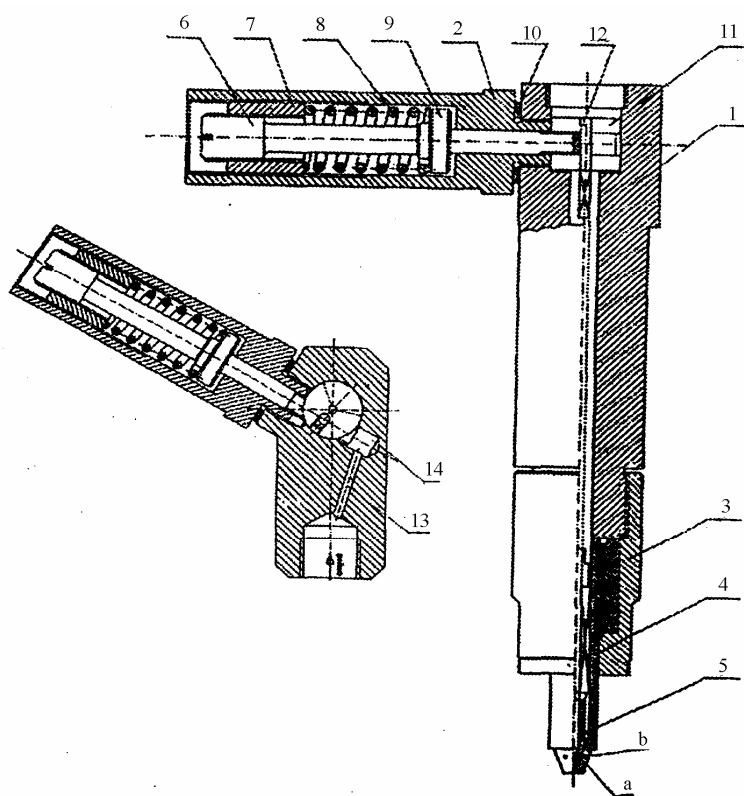
Niezależnie od zastosowanego układu klasycznego wtryskowego w rozpylanym paliwie występują w mniejszym lub większym stopniu krople cechujące się zwiększoną średnicą (do $5 \cdot 10^{-3}$ mm), które wypływają z rozpylacza w początkowej i końcowej fazie wtrysku paliwa.

W celu wyeliminowania lub zmniejszenia tego zjawiska konieczne jest zastosowanie układu wtryskowego, w którym nie występują tak duże wartości ciśnienia paliwa, a zmniejszenie średnicy kropeł można osiągnąć przez zmieniający się przekrój przepływowy w wymienionych fazach wtrysku. Taki wtryskiwacz ma przekrój przepływowy o kształcie soczewkowym, utworzony przez otwory wykonane w iglicy i korpusie rozpylacza. Przekrój ten powiększa się w wyniku obrotu iglicy z zewnętrznego stycznego położenia otworów do stycznego wewnętrznego. Od tego położenia otwór w iglicy przesuwają się do położenia współśrodkowego z otworem współpracującym w korpusie rozpylacza, a tłok (umieszczony w siłowniku wtryskiwacza) opiera się o zderzak. Po zmniejszeniu ciśnienia paliwa zmiany położenia otworów zachodzą w odwrotnym kierunku.

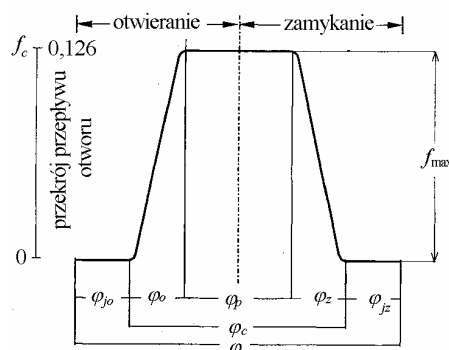
Opis konstrukcji wtryskiwacza doświadczalnego rys. 1

Paliwo przewodem wysokociśnieniowym jest dostarczane do korpusu wtryskiwacza (1) otworem (13), przepływając do komory ciśnieniowej (14) znajdującej się w górnej części korpusu wtryskiwacza. Z komory tej paliwo przepływa do otworu wykonanego we wnętrzu zabieraka i obrotowej iglicy rozpylacza. Iglica jest dociskana do stożkowatego gniazda w dolnej części korpusu rozpylacza przez sprężynę ściskaną nakrętką umieszczoną ponad zabierakiem (na rysunku nie uwidocznione). W komorze ciśnieniowej znajduje się tłok (9), który przemieszcza się pod wpływem ciśnienia paliwa, i kołek (12), który łączy tłok z zabierakiem (11). Obracający się zabierak powoduje obrót iglicy (5). U dołu iglicy znajdują się otwory rozpylające o średnicy mniejszej niż otwory wylotowe w korpusie rozpylacza (4). Po obrocie iglicy

o kąt ϕ_0 rys. 2 otwór rozpylacza „a” w iglicy zaczyna odsłaniać otwór wylotowy „b”, znajdujący się w korpusie rozpylacza i rozpoczyna się odsłanianie przekroju przepływowego otworu, które trwa przez okres obrotu iglicy o kąt ϕ_0 . Dalszy przesuw tłoka (9) kończy się jego oparciem o zderzak (6), którego wartość jest regulowana. Wtedy otwory rozpylające w iglicy i w korpusie rozpylacza są w położeniu współśrodkowym. Długotrwałość takiego przekroju przepływowego zależy od ciśnienia paliwa, a określa ją kąt obrotu iglicy ϕ_0 , którego wartość uzależniona jest dawki paliwa q oraz ciśnienia wtrysku. Gdy ciśnienie paliwa zmniejszy się wartość, sprężyna wtryskiwacza (8) przesuwa tłok w kierunku zmniejszania przekroju przepływowego (kąt obrotu iglicy ϕ_0). Obrót iglicy o kąt ϕ_z jest fazą zamykania rozpylacza, a uszczelnienie jego zapewnia kąt j_z . Całkowity kąt obrotu iglicy, podczas którego następuje wtrysk paliwa jest równy ϕ_c i jest on mniejszy od kąta ϕ określonego czasem trwania całego cyklu ruchu obrotowo-zwrotnego iglicy.



Rys. 1. Badany wtryskiwacz wielootworowy ze zmiennym przekrojem przepływowym: 1 – korpus wtryskiwacza, 2 – siłownik, 3 – nakrętka rozpylacza, 4 – korpus rozpylacza, 5 – iglica, 6 – zderzak, 7 – śruba regulacyjna, 8 – sprężyna, 9 – tłok, 10 – podkładka, 11 – zabierak iglicy, 12 – kołek zabieraka, 13 – otwór, 14 – komora ciśnieniowa



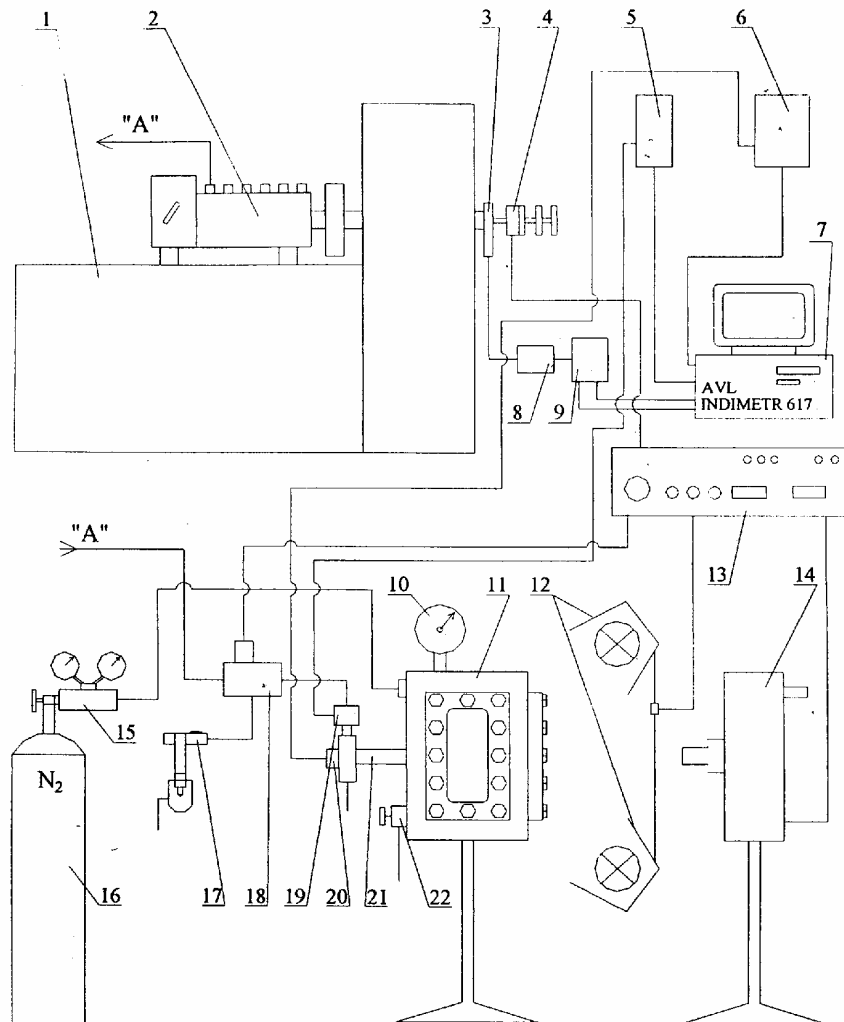
Rys. 2. Charakterystyczne fazy pracy wtryskiwacza

Jak wynika z przedstawionego opisu działania wtryskiwacza w początkowej i końcowej fazie wtrysku zmienia się nie tylko przekrój przepływu, ale również kształt otworu rozpylającego współpracujących ze sobą otworów rozpylających i wylotowych.

Badania zasięgu strug paliwa (opis stanowiska, przebieg pomiarów i ich wstępna analiza)

Pompa wtryskowa P56 01 (2) – rys. 3 – została zamontowana na stanowisku do badania pomp wtryskowych Hansmann EFW 5008 (1), które dodatkowo wyposażono w optyczny przetwornik kąta obrotu wału (3) i tarcze synchronizacyjne (4). Sygnał elektryczny od przetwornika kąta obrotu wału przesyłano do dekodera (8) i przez zasilacz (9) doprowadzano do komputera z kartą pomiarową AVL i Dimetr 617 (7).

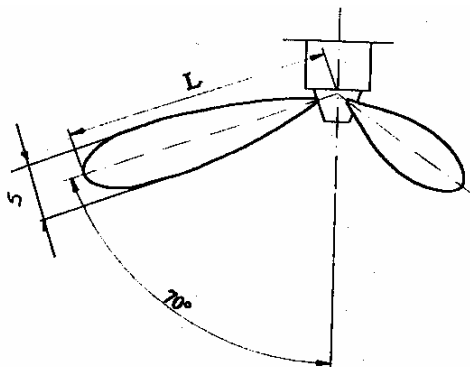
Do komory ciśnieniowo-wizualizacyjnej (11) doprowadzano azot z butli (16) do reduktora ciśnienia (15), a wartość ciśnienia azotu określano manometrem (10). Paliwo z pompy wtryskowej dopływało do zaworu przełączalnego (17), z którego w czasie regulacji prędkości obrotowej pompy wtryskowej przepływało do wtryskiwacza pomocniczego (17). Po ustaleniu warunków pomiaru, na sygnał elektryczny ze sterownika (13) zawór przełączający (18) kierował przepływ oleju napędowego do badanego wtryskiwacza (21). Przed wtryskiwaczem zamontowany był czujnik ciśnienia typu AVL 5Q8 6002 (19) i indukcyjny czujnik przemieszczenia tłoka (20) (we wtryskiwaczu z iglicą wykonującą ruch obrotowo-zwrotny) lub iglicy (w klasycznym wtryskiwaczu). W chwili trwania wtrysku paliwa komorę ciśnieniowo-wizualizacyjną oświetlały lampy włączane (12), jak i kamera do szybkich zdjęć ze sterownika (13). Sygnały elektryczne z piezokwarcowego czujnika ciśnienia (19) były wzmacniane przez wzmacniacz ładunku [typ AVL Charge Amplifier 3051(5)] a indukcyjny czujnik przemieszczenia tłoka (lub iglicy) współpracował z mostkiem tensometrycznym (6).



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego do wizualizacji rozwoju strugi rozpylanego paliwa: 1 – stół probierczy Hansmann EFH 5008, 2 – pompa wtryskowa P56-01, 3 – optyczny przetwornik kąta obrotu wału typ AVL Angle Encoder, 4 – tarcze synchronizacyjne, 5 – wzmacniacz ładunku typ AVL Charge Amplifier 3056, 6 – mostek tensometryczny, 7 – komputer z kartą pomiarową AVL Indimetr 617, 8 – coder sygnału 9 – zasilacz, 10 – manometr, 11 – komora wizualizacyjna o stałej objętości, 12 – lampy oświetleniowe, 13 – sterownik kamery, 14 – kamera do szybkich zdjęć, 15 – reduktor ciśnienia z manometrami, 16 – butla z azotem, 17 – wtryskiwacz pomocniczy, 18 – zawór przełączający, 19 – piezokwarcowy czujnik ciśnienia typ AVL SQP6002, 20 – indukcyjny czujnik przemieszczenia tłoka (lub iglicy) wtryskiwacza, 21 – badany wtryskiwacz, 22 – zawór spustowy

Badania rozwoju strug paliwa doprowadzanego do komory ciśnieniowo-wizualizacyjnej przeprowadzono przy $n = 800$ obr./min, a kamera do szybkich zdjęć w chwili wtrysku paliwa pracowała z prędkością $N = 5000$ klatek/s. Temperatura oleju napędowego mierzona na wlocie do pompy wtryskowej wynosiła $t_p = 25 \pm 2^\circ\text{C}$.

Długość czoła strumienia paliwa L i maksymalną jego szerokość S , które w funkcji czasu przedstawiono na rys. 4. Na podstawie zmian zasięgu czoła strug paliwa L określano chwilowe zmiany jego prędkości v , których wartości razem z wielkościami L i S zostały przedstawione w funkcji czasu τ .



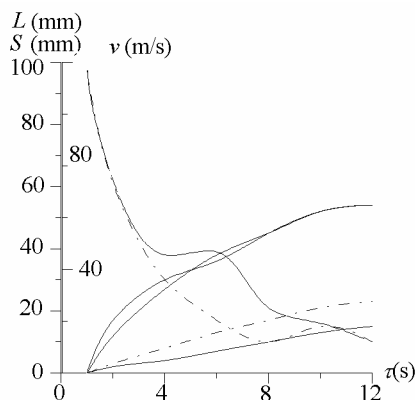
Rys. 4. Sposób określania wartości wskaźników charakteryzujących strugę paliwa

Przy zastosowaniu do badań wtryskiwacza klasycznego (z iglicą wykonującą ruch posuwisto-zwrotny) w początkowej fazie wtrysku przebieg zmian zasięgu czoła strumienia paliwa wypływającego z otworów rozpylających jest większy od zasięgu czoła strumienia wypływającego z otworu rozpylającego wtryskiwacza doświadczalnego (z ruchem obrotowo-zwrotnym iglicy). Wynika to prawdopodobnie z faktu, że w przypadku rozpylacza doświadczalnego przekrój przepływowy jest mniejszy od przekroju rozpylacza klasycznego.

Po upływie czasu $\tau = 5 \cdot 10^{-4}$ s od początku wtrysku paliwa następuje zwiększenie prędkości przemieszczenia się czoła strumienia. To zjawisko spowodowane jest większą prędkością kropeł wypływających przy pełnym wzniosie iglicy, a paliwo nie jest dławione w gnieździe iglicy [1, 3]. Dodatkowo krople wypływające po pewnym czasie z wtryskiwacza mają większą prędkość, ponieważ poruszają się za czołem strumienia i działają na nie zmniejszony opór aerodynamiczny. Po upływie czasu $\tau = 12 \cdot 10^{-4}$ s prędkość czoł strumieni obu wtryskiwaczy są prawie takie same (w badanym zakresie) i wynosi ok. 10 m/s.

Zmiany wartości prędkości czoła strumienia paliwa wypływającego z otworów wtryskiwacza doświadczalnego maleją w funkcji czasu i dla $\tau = 8 \cdot 10^{-4}$ s wynoszą ok. 10 m/s. Po upływie tego czasu prędkość czoła strumienia paliwa nieco wzrasta, a jest to prawdopodobnie wynikiem zmniejszenia oporu przepływającego paliwa przez niecałkowicie otwarty przekrój przepływowy. Dławienie zanika, a otwory rozpylacza są całkowicie otwarte, działa jedynie na nie opór aerodynamiczny ośrodka do którego odbywał się wtrysk paliwa.

Na podstawie wykonanych zdjęć określono z nich przebieg zasięgu.



Rys. 5. Zmiany zasięgu strug paliwa L ich szerokości S i prędkości v badanych wtryskiwaczy doświadczalnego i klasycznego – $q = 130 \text{ mm}^3/\text{cykl}$ $n = 800 \text{ obr./min}$

Szerokość strumienia paliwa S rośnie z upływem czasu τ od początku wtrysku, z tym, że otrzymana wartość S dla wtryskiwacza doświadczalnego jest ok. 1,53 razy większa, co oczywiście wpływa na jakość rozpylenia i rozprowadzenia kropeł paliwa w komorze spalania silnika. Należy zaznaczyć, że gaz w komorze ciśnieniowo-wizualizacyjnej jest nieruchomy, co skłania do wniosku, że otrzymano dla wtryskiwacza doświadczalnego efekt polepszenia rozpylenia, który jest spełnieniem zamierzeń, którego oczekiwali twórcy zgłoszenia patentowego [7].

Wnioski

Przeprowadzone badania dwu konstrukcji wtryskiwaczy (klasycznego i doświadczalnego) pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- doświadczalny wtryskiwacz w początkowej fazie wtrysku paliwa w sposób znaczny wpływa na przebieg prędkości czoła paliwa dzięki znacznemu zwiększeniu przekroju przepływowego,
- wtryskiwacz doświadczalny cechuje znacznie większa objętość wewnętrzna w porównaniu z wtryskiwaczem klasycznym, co ma wpływ na obniżenie prędkości wypływu paliwa,
- konieczne jest zmniejszenie mas ruchomych wtryskiwacza doświadczalnego, które winno obejmować przede wszystkim tłok i sprężynę znajdujące się w siłowniku,
- w celu polepszenia wskaźników pracy układu wtryskowego z wtryskiwaczem doświadczalnym konieczne jest przeprowadzenie badań optymalizacyjnych jego elementów konstrukcyjnych,
- ostateczna ocena wtryskiwacza może być oparta na wynikach badań silnikowych.

Piśmiennictwo

1. Chowach i in.: Silniki samochodowe (ros.) Wyd. Maszynostrojenije, Moskwa 1977.
2. Falkowski H., Hauser G., Janiszewski T., Jaskuła A.: Układy wtryskowe silników wysokoprężnych, Wyd. KiŁ, Warszawa 19843.
3. Lukanin i in.: Silniki spalinowe (ros.). Wyd. Wyższaja Szkoła, Moskwa 1985.
4. Merkiś J.: Ekologiczne problemy silników spalinowych, Wyd. Politechnika Poznańska, Poznań 1998.
5. Sowa K., Szlachta Z., Zabłocki M., Kuszewski H.: Badania nowego proekologicznego systemu spalania dla szybkoobrotowego silnika wysokoprężnego z rozpylaczem o zmiennym przekroju otworów rozpylających paliwo. Sprawozdanie z realizacji Projektu Badawczego nr 9. T12 0 016 16, Kraków, grudzień 2001 (praca niepublikowana).
6. Sviridov B.J.: O teorii tworzenia mieszanki w strudze rozpylonego paliwa w silnikach wysokoprężnych. Sil. Spali. 3-4, 1980.
7. Zabłocki M., Szymański J.: Wtryskiwacz do silnika spalinowego, Zgłoszenie patentowe nr P-294889 z dnia 11.06.1992 r. w Urzędzie Patentowym w Warszawie.

Streszczenie

Zaprezentowano nową konstrukcję wtryskiwacza do silnika wysokoprężnego, charakteryzującą się tym, że iglica wykonuje ruch obrotowo-zwrotny. W czasie wtrysku paliwa następuje zmiana przekroju otworów wylotowych. Nowe rozwiązanie zmienia kształt strug wtryskiwanego paliwa i wpływa na ich własności. Niektóre wyniki badań z tego zakresu są przedstawione w artykule.

Summary

It has been presented a new construction of injector in Diesel engine an innovation that needle makes a rotation – turning movement. During first injection comes the change of outlet cats. The new solution changes the stream shape of spattered fuel and influence its features. there are some research results.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Krasowski