

Marek IDZIOR  
Paweł STOBNICKI  
Ireneusz PIELECHA  
Jakub CZAJKA

PTNSS–2013–SC–149

## Research and analysis of the influence of the injection pressure on spraying fuel in the chamber about the fixed volume

*Abstract: In the article findings of the influence of the injection pressure on spraying fuel were presented on pose engine research position in the chamber about the fixed volume. In first his part they entered into information concerning the object of examinations, as well as a description of the position used for examinations was introduced to interaction of the stream of fuel and the wall of the piston. In second the part of the article was described methodology of performed examinations and a preparatory analysis of quality changes of spraying fuel with using the method of fast filming, for the isolated fuel injection was described.*

Keywords: injection pressure, optical methods, injector, CI engines

### Badania i analiza wpływu ciśnienia wtrysku na rozpylenie paliwa w komorze o stałej objętości

*Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu ciśnienia wtrysku na rozpylenie paliwa na pozasilnikowym stanowisku badawczym w komorze o stałej objętości. W pierwszej jego części zawarto informacje dotyczące obiektu badań oraz zaprezentowano opis stanowiska wykorzystanego do badań interakcji strugi paliwa i ścianki tłoka. W drugiej część artykułu opisano metodologię wykonanych badań oraz przedstawiono wstępną analizę zmian jakości rozpylenia paliwa z wykorzystaniem metody szybkiego filmowania dla pojedynczego wtrysku paliwa.*

Słowa kluczowe: ciśnienie wtrysku, metody optyczne, wtryskiwacz, silniki o ZS

## 1. Wprowadzenie

Z prognoz rynkowych wynika, że udział samochodowych silników o zapłonie samoczynnym, w całkowitej produkcji silników spalinowych w Europie Zachodniej ciągle rośnie [2]. Silniki z wtryskiem bezpośrednim muszą spełniać coraz bardziej rygorystyczne wymagania w zakresie dopuszczalnej emisji szkodliwych składników spalin, a także hałasu, będącego konsekwencją dużej szybkości narastania ciśnienia w cylindrze podczas spalania mieszanki paliwowo-powietrznej [3]. Problem ten w połączeniu z potrzebą konstruowania coraz to nowocześniejszych silników stanowi duże wyzwanie dla ich konstruktorów. Z tego względu niezwykle istotny jest proces rozpylenia paliwa w komorze spalania. Jego prawidłowy przebieg jest podstawą do osiągnięcia przez silnik odpowiednich wskaźników pracy, co ma istotny wpływ na ilość toksycznych substancji emitowanych przez silnik. Znaczącą rolę w tworzeniu mieszanki paliwowo-powietrznej spełnia aparatura wtryskowa, która przez wpływ na ciśnienie wtrysku paliwa kształtuje natężenie wypływu paliwa z otworków rozpylacza, zasięg czoła strumienia paliwa i rozprzelenie ukształtowanych kropeł paliwa w komorze spalania [1]. Tłokowe silniki spalinowe wciąż należą do głównych emiterów zanieczyszczeń środowiska naturalnego. Potrzeba ograniczenia emisji substan-

cji szkodliwych powoduje wzrost wymagań stawianych współcześnie produkowanym silnikom spalinowym. Duży nacisk kładzie się na zwiększanie efektywności procesu spalania, uwarunkowanego przygotowaniem i stanem mieszanki palnej. W ostatnich latach obserwuje się zwiększone zainteresowanie nowoczesnymi napędami, które charakteryzują się niższym zużyciem paliwa, emitując przy tym mniejsze ilości szkodliwych składników spalin. Przykładem takiego rozwiązania są silniki o zapłonie samoczynnym z wtryskiem bezpośrednim. Nadzedł zatem kres klasycznej pompy wtryskowej oraz wtryskiwacza. Elementem układu wtryskowego, który jednak pozostał jest rozpylacz wtryskiwacza. Mimo, że podstawowa zasada działania tego elementu pozostaje od lat niezmienną, to konstrukcja i rozwiązania techniczne w ich współczesnych wersjach ciągle są udoskonalane. Istotną kwestią będącą zasadniczym przedmiotem podejmowanych w artykule badań będzie zastosowanie technik optycznych w badaniach analizy wpływu ciśnienia wtrysku na rozpylenie paliwa w komorze o stałej objętości. Obecnie jedną z metod rejestracji procesów zachodzących w komorze spalania silnika jest technika wideo [6], która pozwala na analizę rzeczywistej jednostki silnikowej podczas jej pracy, co jest główną zaletą technik optycznych. Technologia rejestracji procesów przy użyciu kamery wraz z jednoczesnym pomiarem ciśnień jest coraz częst-

szą metodą analizy rozprzestrzeniania mieszanki paliwowo-powietrznej w cylindrze. Niestety istnieją również problemy związane z rejestracją obrazów wewnątrz cylindra silnika spalinowego. Do najważniejszych należą: wysoka temperatura i ciśnienie, ograniczony dostęp do cylindra nowoczesnych silników oraz bardzo duża szybkozmienność rejestrowanych zjawisk. Poprzez wnikliwą analizę zarówno procesu rozpylenia, jak i spalania, zastosowanie nowatorskich metod badania rozpylaczy, a także najnowszej generacji układu wtryskowego, powoduje znaczną poprawę parametrów eksploatacyjnych silnika oraz spadek emisji związków szkodliwych. Opracowane wyniki proponowanych badań stanowią wytyczne pozwalające na odpowiedni dobór i prawidłową współpracę elementów układu wtryskowego typu CR.

Celem badań jest określenie różnic rozkładu paliwa przy zmiennych parametrach jego wtrysku. Zmiany takie występują ze względu na podział dawki paliwa. Badania mają pozwolić na ocenę rozkładu paliwa wewnątrz komory spalania tłoka przy zmiennych warunkach wtrysku.

## 2. Stanowisko badawcze

W przeprowadzonych badaniach wykorzystana została komora o stałej objętości. Wewnątrz komory zamontowano zmodyfikowany tłok, w którym dokonano wycięcia części jego korony (rys. 1), dzięki czemu możliwe było uzyskanie dostępu optycznego do krawędzi komory spalania umieszczonej w tłoku.

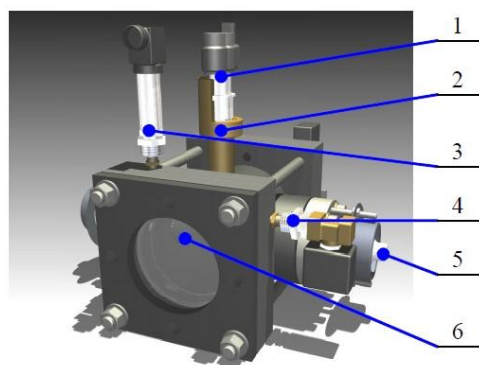


Rys. 1. Widok zmodyfikowanego tłoka z wycięciem części jego korony [2]

Dzięki prostopadłemu umieszczeniu kamery do zdjęć względem oświetlenia, możliwe było filmowanie obszaru, w którym struga paliwa rozbija się o krawędź komory spalania w tłoku. Komora wykonana została ze stali. Zastosowanie szkła kwarcowego o grubości 30 mm pozwoliło na zadawanie ciśnienia sprężania z przedziału od 0 do 4,5 MPa.

W górnej części komory znajdował się otwór umożliwiający zamocowanie wtryskiwacza przy pomocy specjalnego jarzma, natomiast zmodyfikowany tłok badawczy przymocowany został od dołu przy pomocy śruby (rys. 2). Wnętrze komory ba-

dawczej oświetlane było lampami halogenowymi, ze względu na charakter wykonywanych badań. Ścianki komory wraz z tłokiem pokryte zostały czarną farbą w celu pochłaniania promieni, gdyż czysty metal odbijałby światło tworząc na zarejestrowanym obrazie refleksy i zakłócenia. Dodatkowo do komory przymocowane zostały dwa zawory elektromagnetyczne dopływu i wylotu powietrza, a także czujnik ciśnienia [2].



Rys. 2. Widok komory o stałej objętości wykorzystanej do badania wtrysku paliwa: 1 – wtryskiwacz, 2 – obsada wtryskiwacza, 3 – czujnik ciśnienia powietrza, 4 – zawór elektromagnetyczny upustu powietrza, 5 – oświetlenie, 6 – szkło kwarcowe [2, 4]

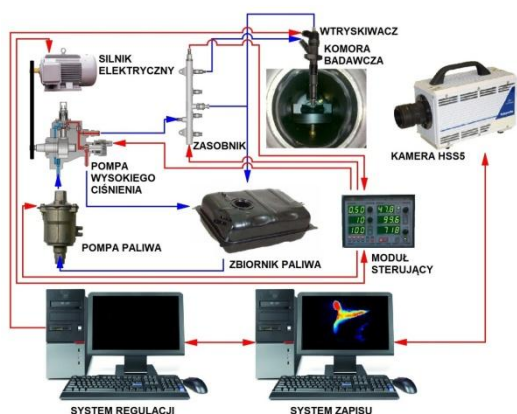
W badaniach wykorzystano wtryskiwacz elektromagnetyczny o średnicy otworka wylotowego  $d = 0,17$  mm (rys. 3). Do celów badawczych końcówka rozpylacza została poddana obróbce powierzchniowej, która umożliwiła zaślepienie 5-ciu otworków rozpylacza. Pozwoliło to na wyeliminowanie nadmiaru strug paliwa rozchodzących się z wtryskiwacza na tłok pomiarowy, uniemożliwiając pomiar wizualizacyjny przez zbyt dużą ilość paliwa oraz strugi skierowane wprost na obiektyw kamery, które zasłaniały strugę pomiarową.



Rys. 3. Widok wtryskiwacza elektromagnetycznego wykorzystanego w badaniach [2]

Do filmowania przebiegu procesu wtrysku, a także rozprzestrzeniania się strugi paliwa wykorzystano kamerę do zdjęć szybkich. Szybkość filmowania podczas badań wynosiła 25 kHz, pozwoliło to na rejestrację obrazu o wymiarach 256 x 256 pikseli z odstępem czasowym  $\Delta t = 0,04$  ms. Filmo-

wano obszar o wielkości około 35 x 35 mm, co odpowiada wymiarowi liniowemu 1 piksela obrazu 136,7  $\mu\text{m}$ . Wartości te uznano za wystarczające do obserwacji rozprzestrzeniania się wtryskiwanej strugi paliwa od wtryskiwacza do muldy w tłoku. Stanowisko badawcze wykorzystane w badaniach zaprezentowano na rys. 4.



Rys. 4. Stanowisko do badań interakcji strugi paliwa i ścianki tłoka

Badania wpływu interakcji pojedynczej strugi paliwa na ściankę tłoka przeprowadzono przy ciśnieniach wtrysku paliwa  $P_{\text{wtr}} = 75$  i  $100$  MPa oraz kilku przeciwcisnieniach powietrza (2,5, 3,0 oraz 3,4 MPa) – tabela 1. Wartości ciśnienia wtrysku i przeciwcisnienia powietrza uznano za charakterystyczne dla warunków panujących w komorze spalania silnika o zapłonie samoczynnym podczas wtrysku paliwa (dowolnej jego dawki).

Tabela 1

Warianty badań eksperymentalnych dotyczących wybranych warunków wtrysku paliwa oraz parametry wtryskiwacza [5]

Wielkość	Wartości
Liczba położań tłoka	2 (odległość muldy od wtryskiwacza 15 mm, 10 mm)
Ciśnienie wtrysku paliwa $P_{\text{wtr}}$ [MPa]	75; 100
Przeciwcisnienie powietrza $P_{\text{pow}}$ [MPa]	2,5 ; 3,0 ; 3,4
Czas wtrysku $t_{\text{wtr}}$	0,6 ms
Rodzaj wtryskiwacza	elektromagnetyczny, 6-otworowy (5 zaślepionych otworków; 1 aktywny)
Średnica otworka wtryskiwacza	0,17 mm
Kąt strug paliwa (rozpylacz standardowy)	166°

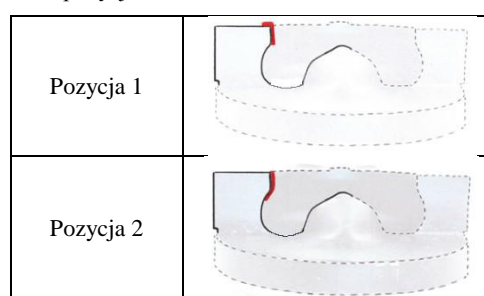
Obserwacje procesów przeprowadzono dla wtrysku pojedynczej dawki paliwa trwającej  $t_{\text{wtr}} = 0,6$  ms, co pozwoliło na porównywanie uzyskanego materiału badawczego między sobą. Zastosowanie

wtrysku wieloczęściowego powodowałyby nakładanie się kolejnych strug paliwa, a w konsekwencji pogorszenie jakości uzyskanego materiału filmowego. Dodatkowo utrudniona byłaby analiza uzyskanego materiału filmowego, ze względu na interakcje strug paliwa między sobą [2].

Badania obejmowały dwie pozycje tłoka względem wtryskiwacza, co pozwoliło na uzyskanie różnego rozpylenia strugi paliwa w odmiennych miejscach kontaktu ze ścianką tłoka: na krawędzi tłoka oraz pionowym fragmencie komory w tłoku. Warianty badań przedstawiono w tabelcy 1, natomiast plan badań uwzględniający różne nastawy poszczególnych punktów badawczych przedstawiono w tabelcy 2.

Tabela 2

Schemat pozycjonowania tłoka w komorze badawczej [2]



### 3. Metodyka badań

Badania na stanowisku pozasilnikowym w komorze o stałej objętości przeprowadzono w dwóch zasadniczych etapach:

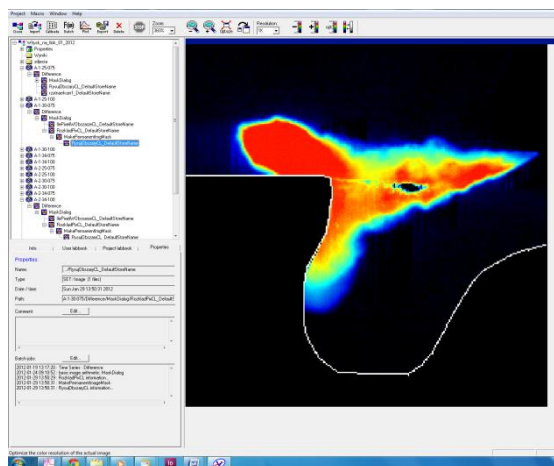
- I – wyznaczenie charakterystyk przepływowych rozpylaczy o różnej liczbie otworków
- II – badania wizualizacyjne rozpylenia paliwa

Pierwszy etap obejmował badanie rozpatrywanych końcówek wtryskiwacza, a także przygotowanie prototypowej końcówki badawczej z 1-otworkiem wylotowym. W badaniach wykorzystano prototypowy rozpylacz o 1-otworu wylotowym. Drugi etap obejmował badania wizualizacyjne rozpylenia paliwa z wykorzystaniem rozpylacza 1-otworowego. Każdy z trzech wykonywanych etapów poprzedzały wcześniejsze przygotowania stanowiska, a otrzymane wyniki poddawane były analizie. Wszystkie badania zostały wykonane w Laboratorium Silników Spalinowych, Instytutu Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Poznańskiej [2].

Możliwość regulacji tłoka względem wtryskiwacza pozwoliła na zmianę jego wysokości, umożliwiając tym samym badanie strugi wtryskiwanego paliwa w dwóch różnych pozycjach pomiarowych. Dzięki możliwości regulacji położenia tłoka względem wtryskiwacza i zastosowaniu śruby mocującej tłok, rejestrowany obraz był niezmienny, a kierunek wypływu strugi paliwa był powtarzalny.

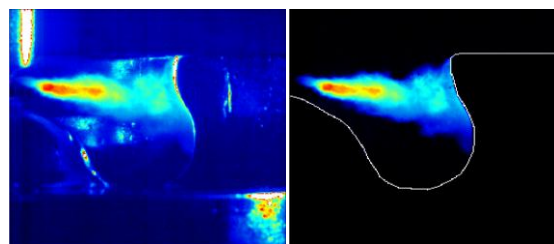
#### 4. Badania wizualizacyjne jakości rozpylenia paliwa

Badania wizualizacyjne jakości rozpylenia paliwa zostały wykonane na pozasilnikowym stanowisku badawczym w komorze o stałej objętości. Dla oceny jakości rozpylenia paliwa zostały wykonane badania, po których uzyskano serię obrazów do analizy cyfrowej w programie DaVis 7.2 firmy LaVision. Uzyskane obrazy były podstawowym materiałem wykorzystanym do późniejszych analiz geometrycznych parametrów strugi (rys. 5). Analizę otrzymanych wyników badań ograniczono jednak do wstępnych wniosków jakościowych rozpylenia i koncentracji paliwa, uwarunkowanych zmiennymi punktami pomiarowymi. Badania zostały przeprowadzone na stanowisku pozasilnikowym, na którym obserwowano proces tworzenia wtryskiwanej strugi paliwa i rozprzestrzeniania się jej w komorze spalania tłoka. Obraz strugi paliwa wtryskiwanego zarejestrowano kamerą do szybkich zdjęć, co pozwoliło na uzyskanie pojedynczego wtrysku, a nie zlepionych obrazów z sekwencji zdjęć kolejno następujących po sobie wtrysków z przesunięciem czasowym.



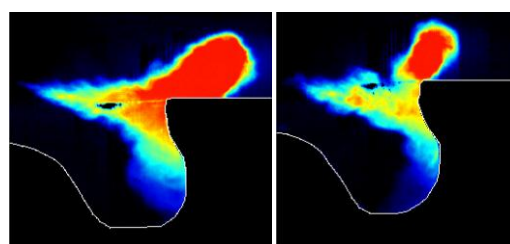
Rys. 5. Obraz wtrysku paliwa na ściankę tłoka po przetworzeniu za pomocą programu DaVis 7.2

Uzyskany materiał zdjęciowy z badań poddano obróbce w celu uzyskania pożądanych danych ilościowych i jakościowych. Na rysunku 6 przedstawiono zdjęcie surowe (bez obróbki) oraz zarys kształtu krawędzi komory spalania po zastosowaniu maski i dodaniu zarysu tłoka, w celu lepszej identyfikacji rozkładu paliwa w przestrzeni. Ocenę interakcji strugi paliwa oraz tłoka prowadzono w aspekcie zróżnicowanego usytuowania tłoka względem wtryskiwacza, co powodowało rozprzestrzenianie się strugi wtryskiwanego paliwa na różne obszary komory spalania.



Rys. 6. Etapy obróbki materiału filmowego – po lewej zdjęcie surowe, po prawej – zarys kształtu krawędzi komory spalania po zastosowanie maski i dodaniu zarysu tłoka

Widok rozprzestrzeniania się i sposobu rozbicia strugi o ściankę komory spalania dla dwóch różnych pozycji tłoka względem wtryskiwacza przedstawiono na rys. 7.

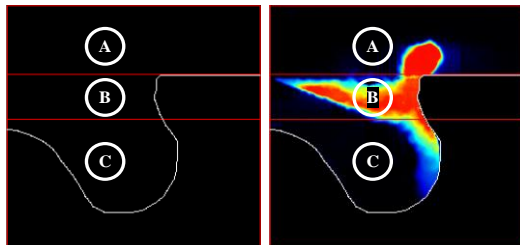


Rys. 7. Rozkład paliwa w strudze dla dwóch rozpatrywanych pozycji tłoka względem wtryskiwacza dla przeciwności ciśnienia powietrza 2,5 MPa oraz ciśnienia wtrysku paliwa 75 MPa

Pierwsze zdjęcie obrazuje wtrysk strugi paliwa, gdy tłok znajduje się w największej odległości od wtryskiwacza, co odpowiada wtryskowi wczesnemu (pozycja 1). W tym przypadku większa część paliwa nie jest kierowana do komory w tłoku, lecz nad jego górną krawędź. W rzeczywistych warunkach skutkuje to niedostatecznym wymieszaniem mieszanki paliwowo-powietrznej. Drugie zdjęcie przedstawia strugę paliwa, której czoło dociera do bocznej krawędzi tłoka między denkiem, a komorą w tłoku (pozycja 2). Powoduje to częściowe rozpylenie strugi paliwa i skutkuje jej odmiennym rozpyleniem. Często uważa się, że zderzenie czoła strugi wtryskiwanego paliwa z krawędzią komory wspomaga szybkość jej rozbicia na krople i skutkuje poprawą widma rozpylenia. Kolor czerwony oznacza obszary o największej koncentracji paliwa ciekłego, natomiast kolor niebieski obszary o koncentracji najmniejszej. Łatwo zauważyć, że w pozycji 1 występują obszary nad koroną tłoka, w których stężenie paliwa jest duże, podczas gdy w pozycji 2, stężenie to jest coraz mniejsze.

W celu uzyskania dokładniejszych ilościowych informacji dotyczących rozpylenia oraz rozkładu stężenia paliwa w komorze spalania, podzielono filmowany obraz na trzy podobszary (rys. 8), tj. komorę nad tłokiem (podobszar A), obszar między powierzchnią denka tłoka, a wyznaczoną arbitralnie powierzchnią wewnątrz komory w tłoku, która nie obejmuje wypukłości w centralnym punkcie tłoka

(podobszar B) oraz pozostały obszar obejmujący komorę spalania w tłoku poniżej wierzchołka wypukłości (podobszar C). Analiza przestrzeni objętych przez ciekłe paliwo prowadzona była niezależnie w trzech podobszarach, a uzyskane wyniki posłużyły do szczegółowej oceny rozkładu paliwa w komorze spalania. Zostanie ona przedstawiona w dalszej części artykułu.

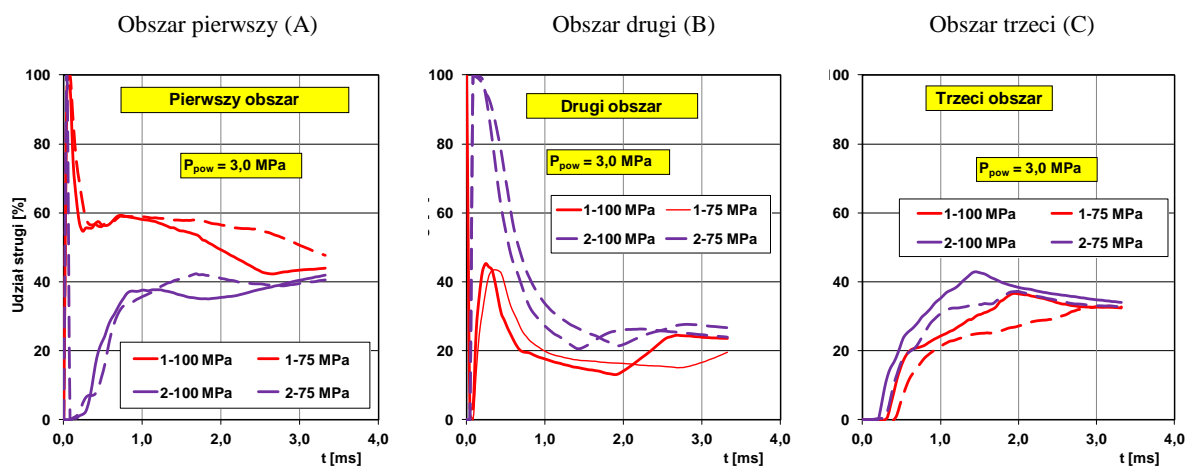


Rys. 8. Analiza obrazu podczas wtrysku paliwa: po lewej - podział filmowanego obrazu na podobszary (A, B, C), po prawej - przykład podziału obrazu wraz z zarejestrowanym wtryskiem paliwa

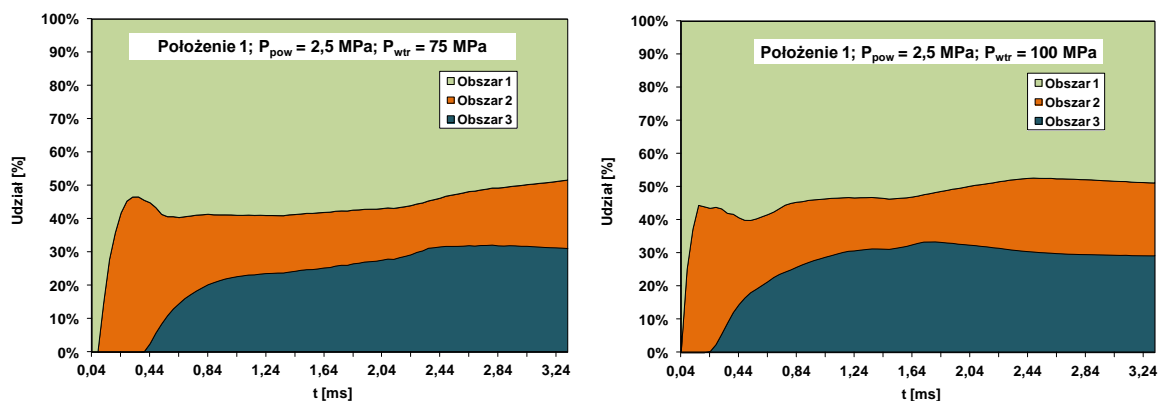
## 5. Analiza rozkładu paliwa w komorze spalania

Analizę rozkładu stężenia paliwa w komorze spalania przeprowadzono w oparciu o sumaryczną liczbę pikseli obrazu, dla których stwierdzono zwiększoną luminancję w stosunku do luminancji tła – rys. 9.

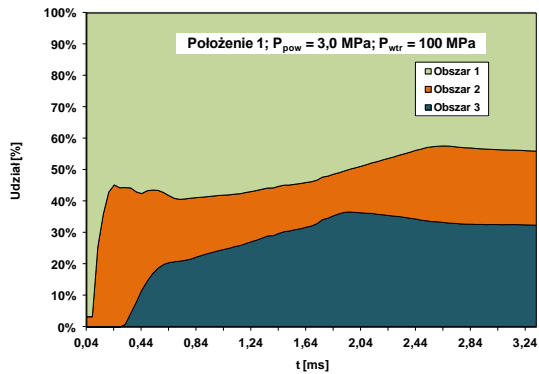
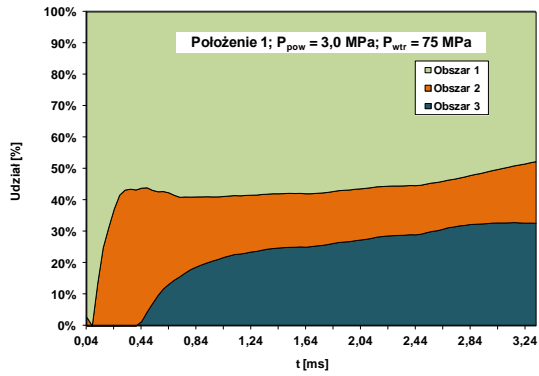
W górnym obszarze komory spalania (podobszar A), w końcowej fazie pomiarów (po ok. 3,5 ms), maksymalne różnice udziału objętości zajętych przez strugę przy zmianie ciśnienia wtrysku wynosiły około 15%. W pozostałych podobszarach (B i C) wpływ ciśnienia paliwa również powodował maksymalne zmiany objętości zajętych przez strugę w zakresie do 15% z tendencją do jego zmniejszania. W środkowym fragmencie komory spalania (podobszar B) różnice położenia tłoka w znacznie mniejszym stopniu wpływały na ilości zatrzymanego tam paliwa. Najmniejsze udziały obszarów objętych paliwem zarejestrowano dla drugiego położenia tłoka: po czasie  $t = 1,0$  ms udział ten wynosił 35-42%.



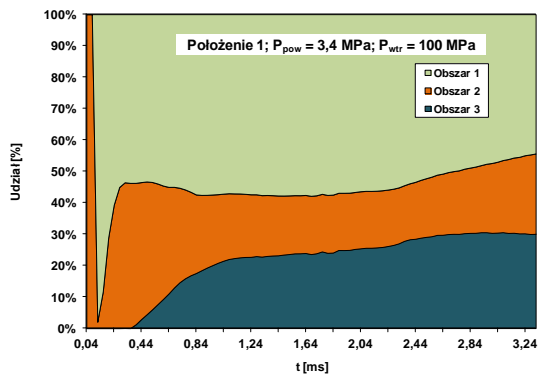
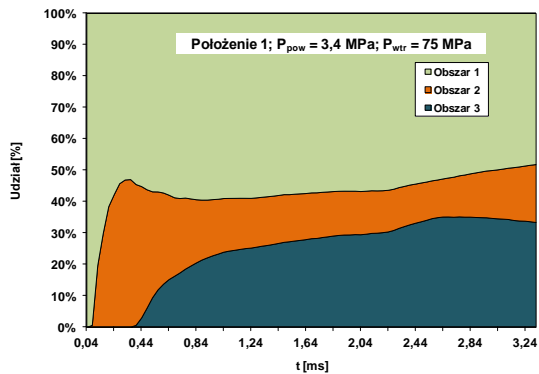
Rys. 9. Analiza obszarów objętych strugą paliwa z podziałem na poszczególne podobszary dla 1 pozycji tłoka



Rys. 10. Względny udział obszarów objętych strugą paliwa w 1 pozycji tłoka dla ciśnienia wtrysku paliwa 75 i 100 MPa i przeciwności powietrza 2,5 MPa

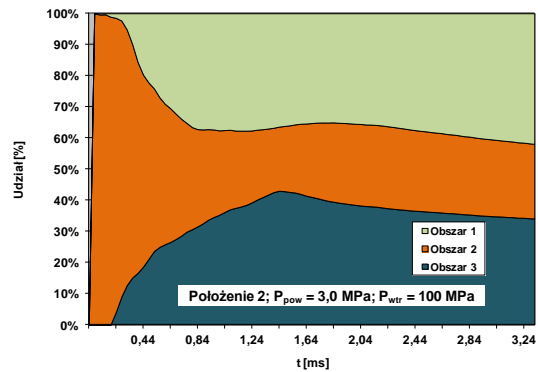
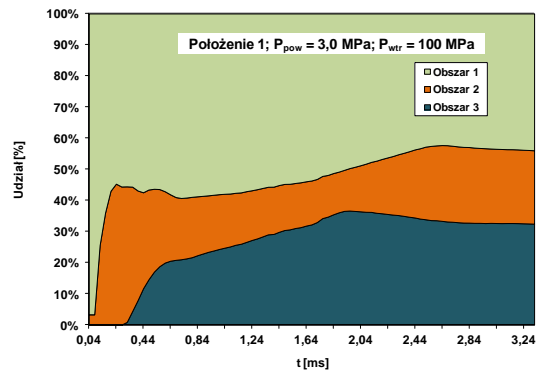


Rys. 11. Względny udział obszarów objętych strugą paliwa w 1 pozycji tłoka dla ciśnienia wtrysku paliwa 75 i 100 MPa i przeciwności powietrza 3,0 MPa



Rys. 12. Względny udział obszarów objętych strugą paliwa w 1 pozycji tłoka dla ciśnienia wtrysku paliwa 75 i 100 MPa i przeciwności powietrza 3,4 MPa

Analiza względnego rozkładu paliwa dla rozpatrywanych podobszarów (A, B i C), pozwoliła stwierdzić, że ciśnienie paliwa w niewielkim stopniu wpływa na zmiany udziałów paliwa w poszczególnych obszarach komory spalania (rys. 10-12). Ze względu na to, że pierwsze usytuowanie tłoka powoduje gwałtowne rozbicie strugi paliwa o krawędź tłoka, położenie to w dalszej części poddano bardziej szczegółowej analizie. Określono rozkład procentowego udziału przestrzeni objętej strugą w poszczególnych podobszarach komory spalania (A, B i C) w zależności od ciśnienia wtrysku paliwa i przeciwności powietrza dla pierwszego usytuowania tłoka rys. 13.



Rys. 13. Obszary strugi paliwa przy  $P_{pow} = 3,0$  MPa oraz  $P_{wtr} = 100$  MPa dla różnych położzeń tłoka

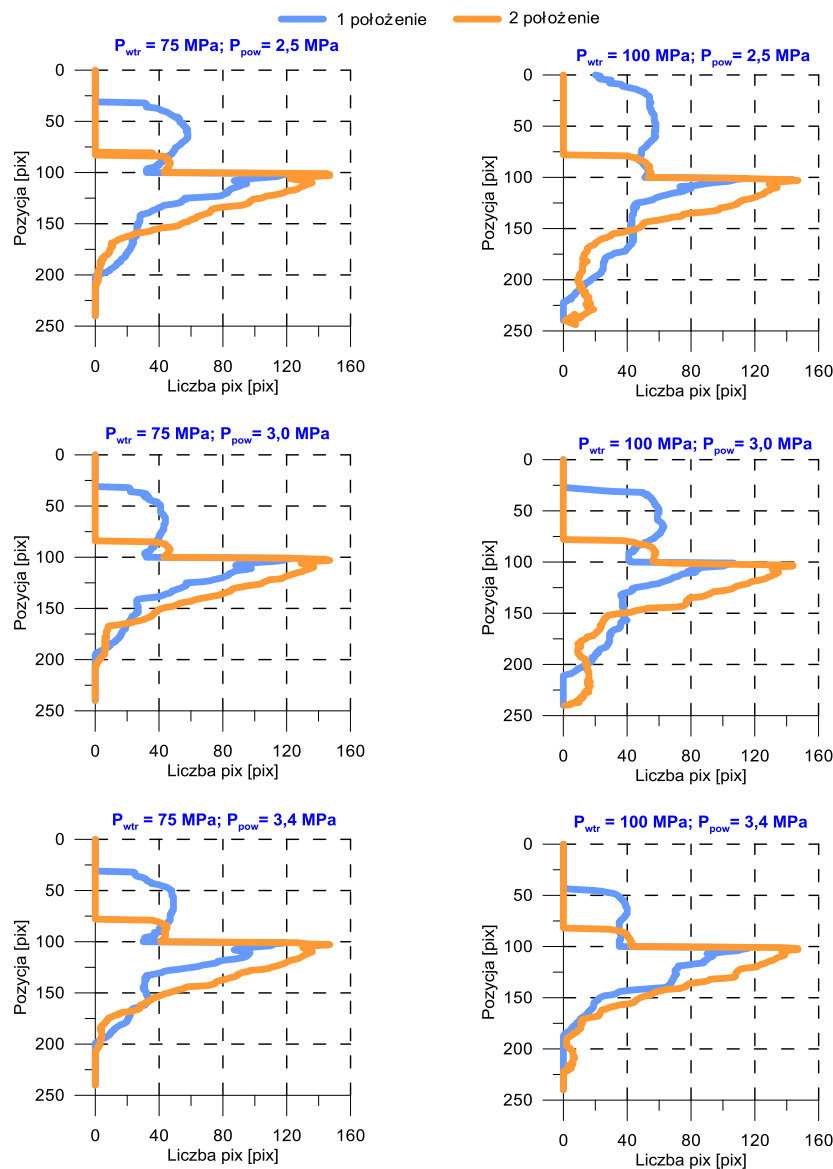
Porównanie otrzymanych wyników wskazuje, że przeciwności powietrza oraz ciśnienie wtryskiwanego paliwa wpływają jedynie na czasowe opóźnienie w odniesieniu do obszarów objętych strugą. Należy również zauważyć, że w każdym przypadku udział pierwszego podobszaru jest znaczny i wynosi około 60% całej strugi, niezależnie od panujących w komorze spalania warunków (dla czasu z przedziału  $t = 0,3 \div 0,4$  ms). Udział podobszaru drugiego jest najmniejszy i wynosi około 15%, nie licząc początkowego czasu, gdy udział ten zwiększał się do 40%, przy jednoczesnym braku strugi w trzecim obszarze. Udział trzeciego podobszaru utrzymuje się na poziomie ok. 30%. Dodatkowo analizie poddano również wtrysk paliwa na zimne ścianki komory spalania. Ich niska

temperatura powoduje, że późny wtrysk paliwa wywołuje intensywniejsze powstawanie filmu paliwowego, a w efekcie zwiększenie grubości filmu zgromadzonego w muldzie tłoka. Zminimalizowanie tej niekorzystnej tendencji można uzyskać przez wymuszone zawirowanie powietrza w silniku.

Kolejnym etapem prowadzonej analizy było oszacowanie grubości naściennej strugi paliwa tworzącej film paliwowy na ściankach komory spalania. Wielkość obszaru objętego paliwem określoną liczbą pikseli, analizowaną w dwóch kierunkach tj. osiowym i promieniowym. Na podstawie tak określonej procedury wyznaczono przebiegi odpowiadające określonym wartościom  $P_{wtr}$  oraz  $P_{pow}$ . Poniższe wykresy (rys. 14) przedstawiają dwie krzywe, które określają liczbę pikseli zarejestrowanych w kierunku promieniowym cylindra (oś po-

zioma) oraz wzdłuż bocznej ścianki komory spalania (oś pionowa). Linia niebieska określa położenie górne wtryskiwacza względem tłoka (pozycja 1), linia żółta odpowiada położeniu środkowemu wtryskiwacza względem tłoka (pozycja 2).

Najniższe położenie tłoka (pozycja 1) powoduje, że znaczna ilość paliwa obejmuje obszar nad tłokiem w stosunku do pozostałych położen wtryskiwacza. Liniowa wartość zasięgu strugi nad denkiem tłoka w tym przypadku wynosi około 40 pix. Cechą charakterystyczną jest to, że przy takim położeniu wtryskiwacza wielkość liniowego zasięgu w środkowej części komory spalania osiąga ponad trzykrotnie większą wartość i wynosi około 120 pix. Warto również zauważyć, że niezależnie od ciśnienia paliwa oraz przeciwcisnienia powietrza wartość ta nie ulega istotnej zmianie.



Rys. 14. Ocena grubości strugi docierającej do komory spalania w tłoku dla rozpatrywanych położen tłoka

Położenie tłoka powodujące, że struga rozbija się o środkową część zarysu komory spalania (pozycja 2) powoduje, że ilość paliwa docierająca nad tłok zmniejsza się, natomiast ilość paliwa pozostająca w części środkowej znacząco się zwiększa. W tym przypadku charakterystyczne jest również to, że niezależnie od panujących warunków w cylindrze ( $P_{wtr}$ ,  $P_{pow}$ ), wartość maksymalnego liniowego zasięgu strugi wynosi ponad 150 pix.

Wysokość położenia tłoka podczas wtrysku ma znaczący wpływ na parametry pracy silnika. Można zatem stwierdzić, że wyższe ciśnienie wtrysku równe 100 MPa, w porównaniu do ciśnienia niższego równego 75 MPa, charakteryzuje się większą prędkością strugi paliwa. W pozycji 2 większość paliwa zostaje rozpylona wewnątrz komory spalania w tłoku, obejmując prawidłowym rozpyleniem ścianki komory spalania oraz muldę. Następuje więc prawidłowe wymieszanie paliwa z powietrzem, zmniejsza się przy tym nagromadzenie dawki paliwa w rdzeniu strugi lub na ściance komory spalania w porównaniu do pozycji 1. Pierwsze położenie tłoka powoduje, że wtryskiwana struga paliwa trafia na ściankę pod takim kątem, że znaczna jego część po odbiciu od powierzchni ścianki wydostaje się poza komorę spalania tłoka badawczego. Następuje koncentracja paliwa w rdzeniu, co w konsekwencji może być przyczyną zwiększenia emisji cząstek stałych. Wykonane badania miały na celu zgromadzenie wstępnych informacji dotyczących ukierunkowania strugi paliwa oraz ocenę jej parametrów geometrycznych podczas wtrysku z uwzględnieniem różnego „rozbicia” strugi paliwa. Otrzymane wyniki badań zostaną zweryfikowane w późniejszych badaniach na jednocylindrowym silniku badawczym z jednoczesnym pomiarem emisji związków toksycznych.

## 6. Podsumowanie

Przedstawione w artykule wyniki badań miały na celu określenie różnic przy zmiennych parametrach wtrysku paliwa, z wykorzystaniem metody szybkiego filmowania rejestrującego pojedynczy wtrysk. Otrzymane wyniki pozwoliły na ocenę

rozkładu paliwa wewnątrz komory spalania tłoka przy zmiennych warunkach wtrysku.

Warunki wtrysku paliwa określone przez ciśnienie paliwa oraz przeciwcisnienie powietrza nie wpływają znacząco na obszary komory spalania objęte strugą paliwa (przy założeniu niezmienności początku wtrysku – w przeprowadzonych badaniach polegało to na stałym położeniu tłoka względem wtryskiwacza).

Należy jednak zauważyć, że istnieje zależność wpływu położenia tłoka, ciśnienia panującego w komorze oraz ciśnienia wtrysku, na jakość rozpylenia paliwa w komorze spalania tłoka. Wstępne wnioski sugerują na istotność zwiększania ciśnienia wtrysku, które odgrywa dużą rolę w jakości rozpylenia paliwa. Ważne jest zatem odpowiednie sterowanie czasem wyprzedzenia wtrysku, co przekłada się na prawidłowe rozpylenia paliwa w komorze spalania.

Zmiana położenia tłoka, a tym samym początku wtrysku paliwa w stosunku do bieżącego położenia tłoka, powoduje znaczne różnice w obszarach komory spalania obejmowanych przez strugę paliwa. Zmiany wynoszą od około 60 do 30% w przypadku obszaru nad tłokiem (wartości te ulegają zmniejszeniu w przypadku obniżenia położenia tłoka). Kolejny obszar obejmuje wartości od około 15% do 30% strugi w zależności od położenia tłoka (wartości te ulegają zmniejszeniu podczas obniżania położenia tłoka). Udział ten jest najmniejszy ze wszystkich analizowanych podczas badań obszarów. Natomiast udział ostatniego obszaru komory w tłoku, do którego dociera struga paliwa zmienia się od około 30 do 60% (przy wyższym usytuowaniu tłoka wartości te zwiększają się).

Przeprowadzone badania skłaniają do szerszej analizy rozpatrywanego zagadnienia. Znalezienie związków pomiędzy badaniami wizualizacyjnymi i badaniami na rzeczywistym silnikowym stanowisku badawczym pozwoli na rozwój konstrukcji nowoczesnych układów wtryskowych oraz zmiany strategii podziału wtrysku paliwa na części. Reasumując można stwierdzić, że zaprezentowane wyniki badań mają istotne znaczenie dla rozwoju układów wtryskowych, jak również badań optycznych rozpylenia paliwa.

---

## Nomenclature/Skróty i oznaczenia

CR – Common Rail /zasobnik ciśnienia paliwa  
 $P_{wtr}$  – Injection pressure/ciśnienie wtrysku

$P_{pow}$  – Air pressure/ciśnienie powietrza  
 $t_{wtr}$  – Injection time/czas wtrysku

---

## Bibliography/Literatura

[1] Andreassi L., Ubertaini S., Allocca L., Experimental and numerical analysis of high pressure diesel spray-wall interaction. International Journal of Multiphase Flow 33 (2007) 742–765.




[2] Idzior M., Pielecha I., Stobnicki P., Maslennikov D., Borowczyk T., Cieślak W., Badania jakości rozpylenia paliwa w silnikach o zapłonie samoczynnym, opracowanie wewnętrzne, Poznań 2012.



- [3] Kimura S., Aoki O., Ogawa H., Muranaka S. et al., New Combustion Concept for Ultra-Clean and High- Efficiency Small DI Diesel Engines, SAE Technical Paper Series 1999-01-3681, 1999.
- [4] Pielecha I., Maslennikov D., Wisłocki K., Optical research of spray development of E85 fuel in high pressure gasoline direct injection system. SAE Technical Paper 2010-02-2285.
- [5] Wisłocki K., Pielecha I., Czajka J., Stobnicki P., Experimental and Numerical Investigations

into High-Pressure Diesel Spray – Wall Interaction under Various Ambient Conditions. SAE Technical Paper 2012-01-1662.

- [6] Senecal, P.K. and Reitz, R.D., Simultaneous Reduction of Engine Emissions and Fuel Consumption Using Genetic Algorithms and Multi-Dimensional Spray and Combustion Modeling, SAE Technical Paper Series 2000-01-1890, 2000.

<p>Marek Idzior, DSc., DEng. – Professor in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology.</p> <p><i>Prof. dr hab. inż. Marek Idzior – profesor na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.</i></p>		<p>Paweł Stobnicki, MSc., Eng. – PhD student in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology.</p> <p><i>Mgr inż. Paweł Stobnicki – doktorant na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.</i></p>	
<p>Ireneusz Pielecha, DSc., DEng. – doctor in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology.</p> <p><i>Dr hab. inż. Ireneusz Pielecha – adiunkt na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.</i></p>		<p>Jakub Czajka, DEng. – doctor in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology.</p> <p><i>Dr inż. Jakub Czajka – adiunkt na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.</i></p>	