

Effect of calibration method on gas flow through pulse gas injector: Simulation tests

Abstract: The paper presents simulation of gas flows inside two types of gas injectors. The injectors differ in calibration method: one is calibrated by adjusting the diameter of outlet nozzle opening, the other by valve lift. Simulation tests were conducted using three-dimensional computational fluid dynamics models. They covered one full cycle of injector operation that comprises four phases: closed phase, opening phase, fully open phase and closing phase. The object of analysis were pressure and speed distribution in particular cross-sections of the injectors, and average mass flux. The results indicate that the way of calibration affects flux stabilisation time and distribution pressure and speed distribution inside the injector. Injectors calibrated by opening diameter are characterised by greater closing lag time and dead movement of the valve.

Keywords: injector, simulation research, LPG, CNG, CFD

Badania symulacyjne wpływu metody kalibracji na przepływy gazu przez impulsowe wtryskiwacze gazu

Streszczenie: W artykule opisano badania symulacyjne przepływu gazu przez dwa wtryskiwacze wykorzystujące różne metody kalibracji – kalibracja za pomocą średnicy otworu dyszy wylotowej oraz kalibracja za pomocą maksymalnego wzniosu elementu zaworowego. Badania symulacyjne przeprowadzono z zastosowaniem numerycznej mechaniki płynów na trójwymiarowych modelach wtryskiwaczy. Badania przeprowadzono w jednym cyklu pracy wtryskiwacza obejmującym wszystkie cztery fazy jego pracy: zamknięcie, otwieranie, pełne otrawienie, zamykanie. Analizie poddano rozkłady ciśnień i prędkości w wybranych przekrojach wtryskiwacza jak i średnie strumienie masy przepływające przez wtryskiwacz. Wykazano wpływ metody kalibracji na czas stabilizacji przepływu oraz rozkład ciśnień i prędkości przepływu wewnątrz ich konstrukcji. Wykazano, że wtryskiwacze kalibrowane średnicą otworu dyszy posiadają znacznie dłuższy czas zwłoki zanikania przepływu oraz charakteryzują się „martwym ruchem” elementu zaworowego.

Słowa kluczowe: wtryskiwacz, badania symulacyjne, LPG, CNG, CFD

1. Wprowadzenie

Inżynierowie pracujący nad układami napędowymi pojazdów samochodowych koncentrują się obecnie nad poprawą ich ekologiczności, rozumianej obecnie jako obniżenie emisji dwutlenku węgla [1]. Jednym z kierunków rozwoju jest stosowanie paliw o zmniejszonej zawartości węgla [2]. Paliwami tymi są przede wszystkim paliwa gazowe, takie jak: propan-butan (LPG), metan (CNG) czy wodór. Wymagają one jednak specjalnych układów przygotowania i podawania paliwa, różniących się od układów paliw ciekłych przede wszystkim wydajnością objętościową (znacznie większymi polami przepływu paliwa wynikającymi z znaczącej różnicy gęstości obu typów paliw).

Obecnie znacząca większość układów zasilania paliwem gazowym silników spalinowych opiera się na systemach wtrysku sekwencyjnego do kolektora dolotowego. Jednym z głównym elementów tych systemów są wtryskiwacze impulsowe. Wtryskiwacze te są zaworami dwustanowymi (otwarte, zamknięte) normalnie zamkniętymi [3]. Determinują one zarówno wydajność układu (maksymalną ilość paliwa jaką można dostarczyć do silnika) ale także jego precyzję i powtarzalność.

Wydajność wtryskiwacza wynika z wielkości najmniejszego przekroju w układzie przepływu gazu przez wtryskiwacz. Miejsce tego najmniejszego przekroju zależy od przyjętej metody kalibrowania wtryskiwacza na etapie jego produkcji lub montażu. Można wyróżnić dwie metody [3]:

- kalibracja za pomocą średnicy otworu dyszy wylotowej.
- kalibracja za pomocą wzniosu elementu zaworowego.

W pierwszym przypadku wtryskiwacz wyposażony jest w specjalną dyszę umieszczoną za elementem zaworowym, która jest rozwiercana w celu uzyskania odpowiedniego, wymaganego przepływu. Kalibracja ta jest możliwa zarówno na etapie produkcji jak i na etapie montażu. Wymaga ona jednak zapewnienia dużego skoku elementu zaworowego. Skok ten wynosi najczęściej od 0,50 mm do 2,0 mm [3].

W drugim przypadku kalibracja odbywa się jedynie na etapie produkcji i polega na zmianie maksymalnego skoku elementu zaworowego. O przepływie decyduje pole powierzchni bocznej walca o średnicy równej średnicy otworu pod elementem zaworowym i wysokości wynikającej ze skoku

elementu zaworowego. Skok w tym przypadku nie przekracza 0,40 mm [3].

Skok ten determinuje także opóźnienia zachodzące w działaniu wtryskiwacza [3]. Obejmuje to nie tylko opóźnienia ruchu elementu zaworowego ale także opóźnienia przepływu gazu.

2. Opis badań

Celem niniejszej pracy była analiza wpływu metody kalibrowania na przebieg przepływu gazu przez wtryskiwacz zarówno w stanach ustalonych jak i nieustalonych. Pozwoli to na wyjaśnienie przyczyn różnic w działaniu obu typów wtryskiwaczy.

Analiza oparta była na badaniach symulacyjnych wykorzystujących numeryczną mechanikę płynów. Metoda ta pozwala na uzyskanie informacji o przepływie gazu (ciśnieniu, prędkości przepływu, temperaturze, stopniu turbulencji ...) wewnątrz objętości kanałów wtryskiwacza. Stosowana jest ona między innymi do optymalizacji konstrukcji wtryskiwaczy cieczowych [4, 5, 6, 7].

2.1 Obiekty badań

Do badań wybrano dwie typowe dla rynku instalacji gazowych rozwiązania konstrukcyjne impulsowych wtryskiwaczy gazu:

1. Valtek typ 30 firmy Valtek SpA Unipersonale, Włochy (rys. 2.1) – wtryskiwacz kalibrowany średnicą otworu;
2. WGs 14 firmy BD Plus Andrzej Przywicz, Polska (rys. 2.2) – wtryskiwacz kalibrowany skokiem.

Na rysunku 2.1 przedstawiono konstrukcję impulsowego wtryskiwacza gazu Valtek typ 30. Jest to wtryskiwacz tłoczkowy, kalibrowany średnicą otworu zgrupowany w szynę paliwową. Paliwo doprowadzane jest kanałem dolotowym do komory znajdującej się nad gniazdem zaworowym.

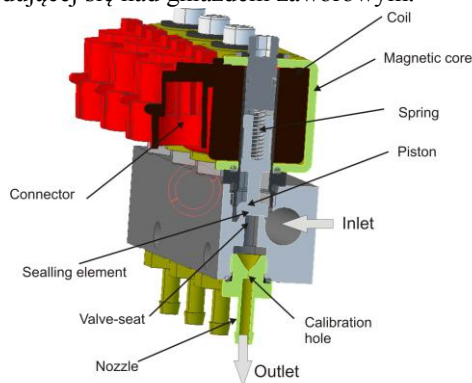


Fig. 2.1 Impulsowy wtryskiwacz gazu Valtek

Elementem zaworowym w tym wtryskiwaczu jest tłoczek poruszający się osiowo wewnątrz cewki elektromagnetycznej, zamykający przepływ za pomocą elementu uszczelniającego znajdującego

się na jego czole. Wydajność wtryskiwacza kalibrowana jest za pomocą wielkości pola przekroju otworu kalibracyjnego.

Wtryskiwacz WGs 14 jest konstrukcją płytkową z regulacją wydatku za pomocą wzniosu elementu zaworowego o działaniu bezpośrednim, bez elementu dociskowego (rys. 2.2). Paliwo wpływa do wtryskiwacza kanałem ustawionym prostopadle do kanału wylotowego. Wpływa ono do komory znajdującej się poniżej elementu zaworowego, będącego elementem gumowym. Element zaworowy jest przymocowany do zwory w postaci płytki. Całość zespołu porusza się pionowo od gniazda zaworowego do cewki. Wydajność wtryskiwacza kalibrowana jest za pomocą soku elementu zaworowego.

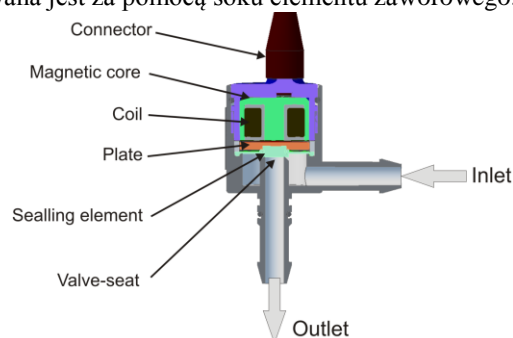


Fig. 2.2 Impulsowy wtryskiwacz gazu WGs

Do badań wykorzystano wtryskiwacze o zbliżonej wydajności. W przypadku wtryskiwacza WGs była to odmiana WGs14 a w przypadku wtryskiwacza Valtek zastosowano otwór kalibracyjny 2,00 mm. Parametry badanych wtryskiwaczy przedstawiono w tabeli 2.1.

Tab. 2.1. Parametry techniczne badanych wtryskiwaczy

	Valtek typ 30	WGs14
Rezystancja	3,0 Ω	3,0 Ω
Napięcie zasilania	12 V	12 V
Ciśnienie pracy	50 ÷ 250 kPa	50 ÷ 350 kPa
Maksymalne ciśnienie	450 kPa	450 kPa
Czas impulsu ciągłego	4,5 ms	1,7 ms
Wypełnienie sygnału modulowanego	> 30%	30%
Częstotliwość sygnału modulowanego	10 kHz	10 kHz
Czas opóźnienia otwierania ¹	3,3 ms	1,0 ms
Czas wyłączenia ¹	2,2 ms	1,2 ms
Kalibrowanie	Otworem dyszy średnice od 1,0 do 4,0 mm	Kalibracja skokiem
Skok elementu zaworowego	1,9 mm	0,27 mm
Zakres temperatury pracy	-20°C ÷ 120°C	-20°C ÷ 120°C

¹ przy ciśnieniu zasilania 100 kPa i czasie impulsu sterującego 12 ms

2.2 Modele do badań symulacyjnych

Na podstawie konstrukcji wtryskiwaczy przedstawionych powyżej opracowano modele geometryczne gazu wypełniającego wszystkie kanały przepływu paliwa przez wtryskiwacz (rysunek 2.3 i 2.4).

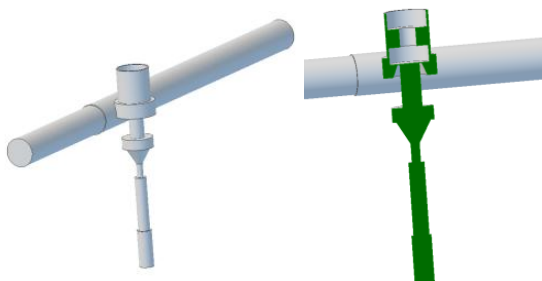


Fig. 2.3 Model geometryczny wtryskiwacza Valtek

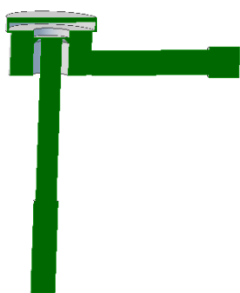


Fig. 2.4 Model geometryczny wtryskiwacza WGs

Tak przygotowane modele geometryczne stanowią podstawę do opracowania modeli obliczeniowych. Całość prac przeprowadzono w oprogramowaniu ANSYS wersja 13. Wykorzystano moduły:

- ANSYS Workbench 2.0 Framework – zarządzanie przepływem informacji w czasie badań;
- ANSYS DesignModeler 13.0 – przygotowanie geometrii;
- ANSYS Meshing 13.0 – opracowanie siatki obliczeniowej;
- ANSYS Fluent 13.0.0 – obliczenia numerycznej mechaniki płynów;
- ANSYS CFD-Post v13.0 – prezentacja i analiza wyników badań.

Aby przeprowadzić badania symulacyjne w warunkach nieustalonych, obejmujących zarówno otwieranie i zamykanie wtryskiwacza zastosowano technikę ruchomej siatki. Metoda ta polega na odkształceniu siatki obliczeniowej w czasie przeprowadzania symulacji zgodnie z zakładaną trajektorią ruchu wybranych elementów (związanych z elementem zaworowym). Szczegóły przygotowania modelu opisano w pozycji [3].

2.3 Zakres badań

Zakres badań obejmował przeprowadzenie obliczeń jednego pełnego cyklu pracy wtryskiwacza obejmującego pełne zamknięcie, otwieranie, pełne otwarcie, zamykanie i stabilizacja po zamknięciu. Przyjęto następujące warunki brzegowe i początkowe:

- Warunek brzegowy wejściowy: nadciśnienie 100 kPa.
- Warunek brzegowy wyjściowy: ciśnienie otoczenia.
- Medium: powietrze jako gaz idealny,
- Model gęstości: gaz idealny z zależnością gęstości od ciśnienia.
- Temperatura gazu: 300 °K.
- Wymania ciepła: brak.
- Model turbulencji: k-epsilon.
- Ciśnienie otoczenia: 100 kPa.
- Krok czasowy: 0,005 ms.
- Liczba iteracji w jednym kroku czasowym: 80.

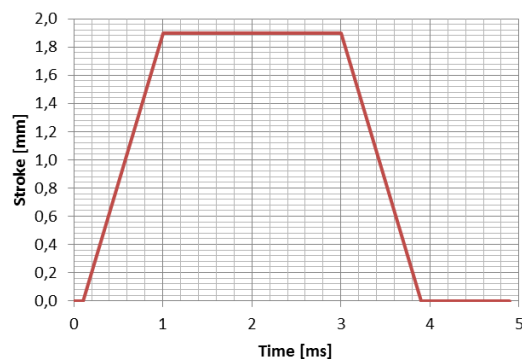


Fig. 2.5 Charakterystyka ruchu elementu zaworowego wtryskiwacza Valtek

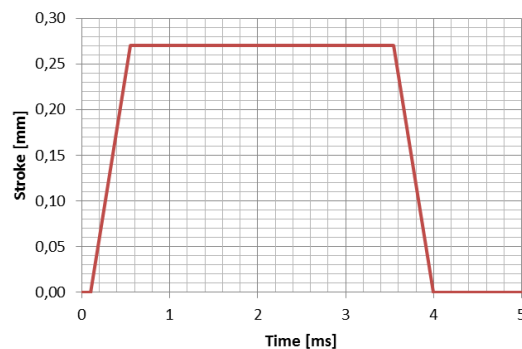


Fig. 2.6 Charakterystyka ruchu elementu zaworowego wtryskiwacza WGs

Przebieg ruchu elementu zaworowego przyjęto w postaci trapezowej [3] – rysunek 2.5 i 2.6. Czasy ruchu przyjęto na podstawie badań stanowiskowych.

3. Wyniki badań

Analizie poddano rozkład prędkości przepływu oraz ciśnienia w przekroju poprzecznym strumienia masy przepływającej przez wtryskiwacz (rys. 3.1 i 3.2).

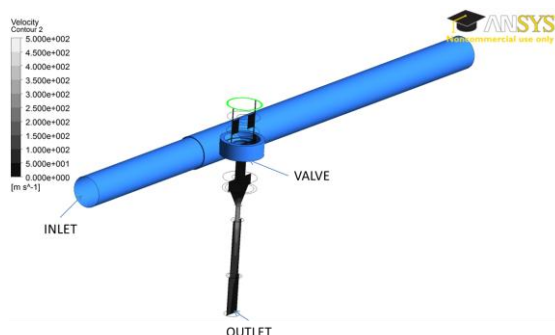


Fig. 3.1 Położenie analizowanych przekrojów wtryskiwacza Valtek

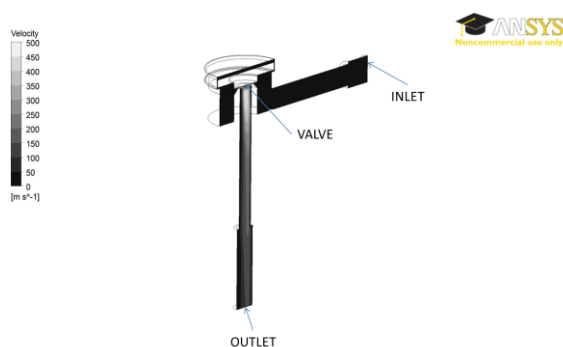


Fig. 3.2 Położenie analizowanych przekrojów wtryskiwacza WGs

W obu konstrukcjach analizowane przekroje wybrano jako najbardziej charakterystyczne dla zobrazowania zjawisk zachodzących w konstrukcji. Przekroje obejmują zarówno sekcję wysokiego jak i niskiego ciśnienia, obszar decydujący o przepływie. Jednocześnie analizie poddano średnie strumienie masy przez trzy charakterystyczne przekroje: wlotowy do modelu, przekroju pod elementem zaworowym, wylotowy z modelu (rys. 3.1 i 3.2).

Rysunek 3.3 przedstawia rozkład ciśnienia (górny rząd rysunków) i prędkości przepływu (dolny rząd rysunków) w wybranej płaszczyźnie wtryskiwacza Valtek w czasie otwierania. Pierwszy rysunek przedstawia wtryskiwacz zamknięty. Widoczne jest wypełnienie komory wokół elementu zaworowego gazem pod wysokim ciśnieniem oraz niskim ciśnieniem w kanale wypływowym poniżej elementu zaworowego. Następny rysunek (odpowiadający chwili czasowej 0,20 ms) przedstawia układ tuż po rozpoczęciu otwierania.

W początkowym okresie (do 0,20 ms) widoczny jest wzrost prędkości gazu jedynie w obszarze pod elementem zaworowym. Oznacza to, że obszarem decydującym o przepływie jest w tym okresie jedynie obszar między elementem zaworowym a gniaz-

dem. Jednak w 0,25 ms widoczny jest także wzrost prędkości przepływu w obszarze dyszy wylotowej, co oznacza, że zaczyna ona tłumić przepływ gazu.

W dalszym okresie (do 0,50 ms) przepływ gazu prowadzi do wypełnienia komory nad dyszą ciśnieniem równym ciśnieniu zasilania. W tym czasie następuje spadek prędkości przepływu w okolicach elementu zaworowego i jej wzrost w kanale dyszy wylotowej, przy czym prędkość przepływu pod elementem zaworowym maleje poniżej prędkości przepływu przez dyszę w 0,40 ms symulacji.

Można zatem przyjąć, że od 0,40 ms przekrojem decydującym o przepływie jest już pole poprzecznego przekroju dyszy wylotowej. Przepływ w rejonie dyszy stabilizuje się jeszcze do około 0,60 ms symulacji, a następnie pozostaje niezmienny. Należy tu zwrócić uwagę, że element zaworowy porusza się nadal i kończy swój ruch dopiero w 1,00 ms. Mimo tego ruchu w okresie od 0,60 do 1,00 nie występują żadne zmiany w rozkładzie prędkości i ciśnienia w analizowanym przekroju.

Wymienione wyżej zjawiska widoczne są także na przebiegu strumienia masy przepływu przez poszczególne przekroje przedstawione na rysunku 3.4. W początkowym okresie po otwarciu zaworu strumień masy przepływającej przez gniazdo zaworowe (zawór) rośnie. Największa intensywność przepływu przez zawór występuje w 0,30 ms symulacji. Następnie widoczny jest spadek strumienia masy do wartości przepływu ustalonego, równej wartości wypływu z wtryskiwacza. Przepływ ustala się w okolicach 0,60 ms symulacji.

Oznacza to, że ruch elementu zaworowego po 0,60 ms symulacji nie ma żadnego wpływu na przebieg przepływu gazu przez wtryskiwacz. Należy zatem uznać ten ruch za „martwy”, zbędny ze względów użytkowych wtryskiwacza.

Analizując rysunek 3.4. można także zauważyć bezwładność przepływu gazu. Przepływ przez powierzchnię wylotową oraz wlotową rozpoczyna się po około 0,20 ms od chwili rozpoczęcia przepływu przez gniazdo zaworowe. Wypływ z wtryskiwacza stabilizuje się bardzo szybko (po około 0,30 ms od chwili rozpoczęcia wypływu) natomiast dopływ nie stabilizuje się w ogóle w czasie symulacji. Wynika to z bardzo dużej objętości kanału dolotowego wtryskiwacza.

Przepływ gazu w czasie pełnego otwarcia wtryskiwacza stabilizuje się na poziomie 1,00 mg/ms. Maksymalna prędkość przepływu występuje na końcu dyszy wylotowej i wynosi 420 m/s. W tym miejscu występuje także najniższe ciśnienie wynoszące 45kPa poniżej ciśnienia otoczenia.

Przepływ przez gniazdo zaworowe jest znacznie wolniejszy i nie przekracza 70 m/s. Wynika to z małej różnicy ciśnień nad i pod gniazdem zaworowym, gdyż tłumienie przepływu przez dyszę powoduje, że objętość między dyszą a gniazdem zaworowym jest wypełniona gazem o ciśnieniu zaledwie o 5 kPa niższym niż ciśnienie zasilania.

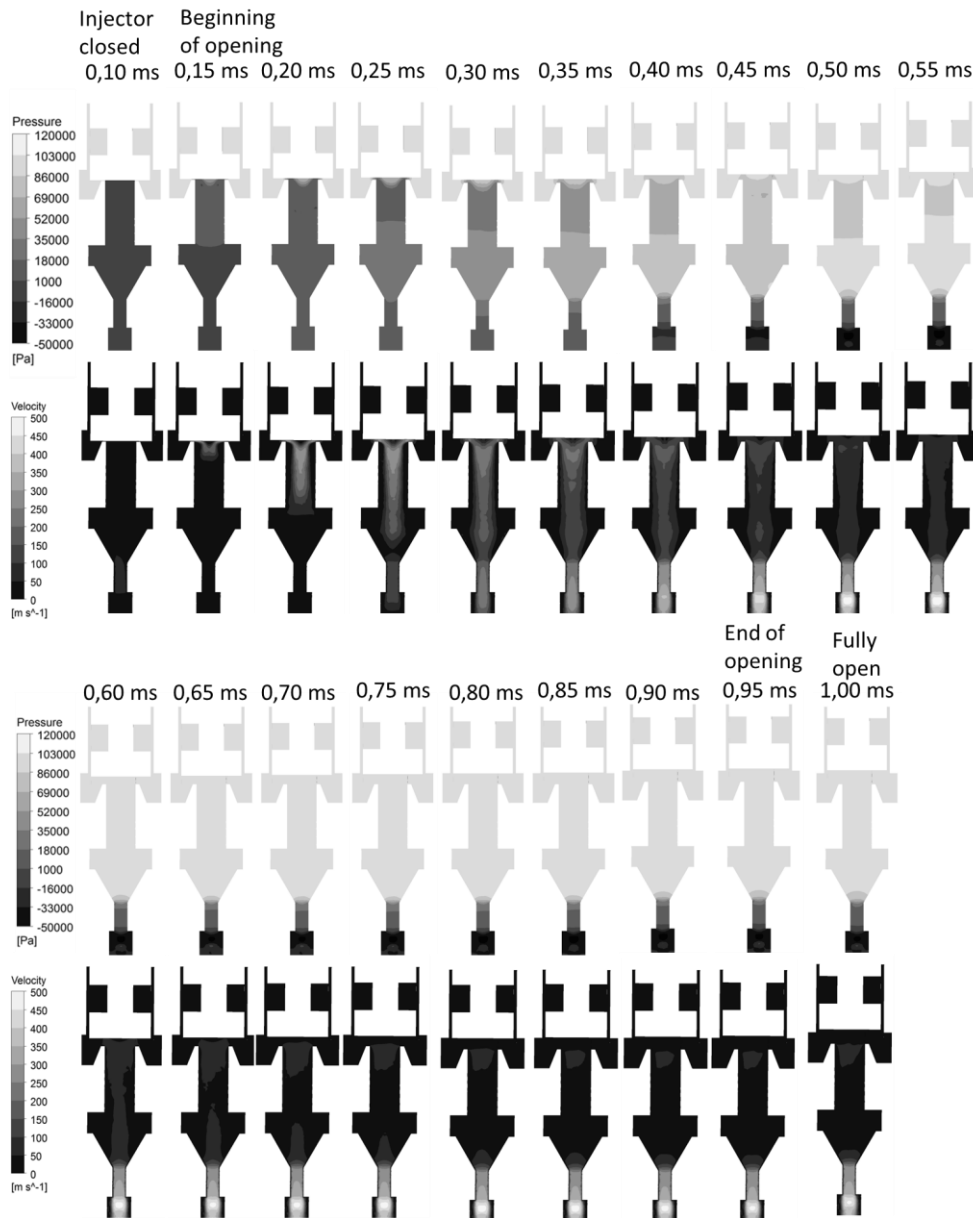


Fig. 3.3 Rozkład ciśnienia i prędkości przepływu w wybranej płaszczyźnie wtryskiwacza Valtek w czasie otwierania

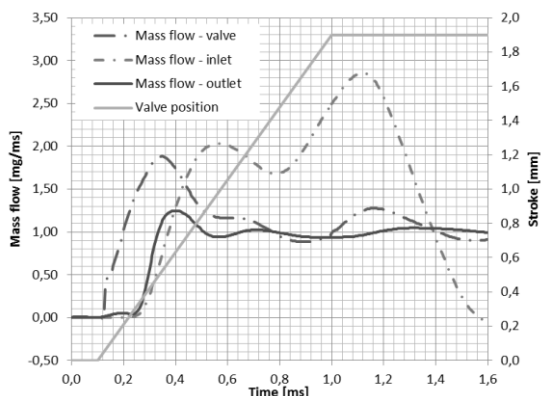


Fig. 3.4 Przebieg czasowy strumienia masy oraz wzniosu elementu zaworowego w czasie otwierania wtryskiwacza Valtek

Pulsacje ciśnienia i przepływu w objętości kanału dolotowego wynikają z konstrukcji wtryskiwacza. Praktycznie nie wpływają one na stabilność przepływu gazu.

Na rysunku 3.5 przedstawiono rozkład ciśnienia (górny rząd rysunków) i prędkości przepływu (dolny rząd rysunków) w wybranej płaszczyźnie wtryskiwacza WG w czasie otwierania. Podobnie jak w przypadku wtryskiwacza Valtek, bezpośrednio po otwarciu zaworu widoczne jest niewielki wzrost ciśnienia w strefie poniżej elementu zaworowego oraz pojawienie się prędkości przepływu w tym rejonie.

W kolejnych analizowanych krokach od 0,25 ms do zakończenia otwierania w 0,55 ms widoczny jest ciągły spadek ciśnienia poniżej elementu zaworowego i wzrost prędkości przepływu w rejonie początkowym kanału wylotowego.

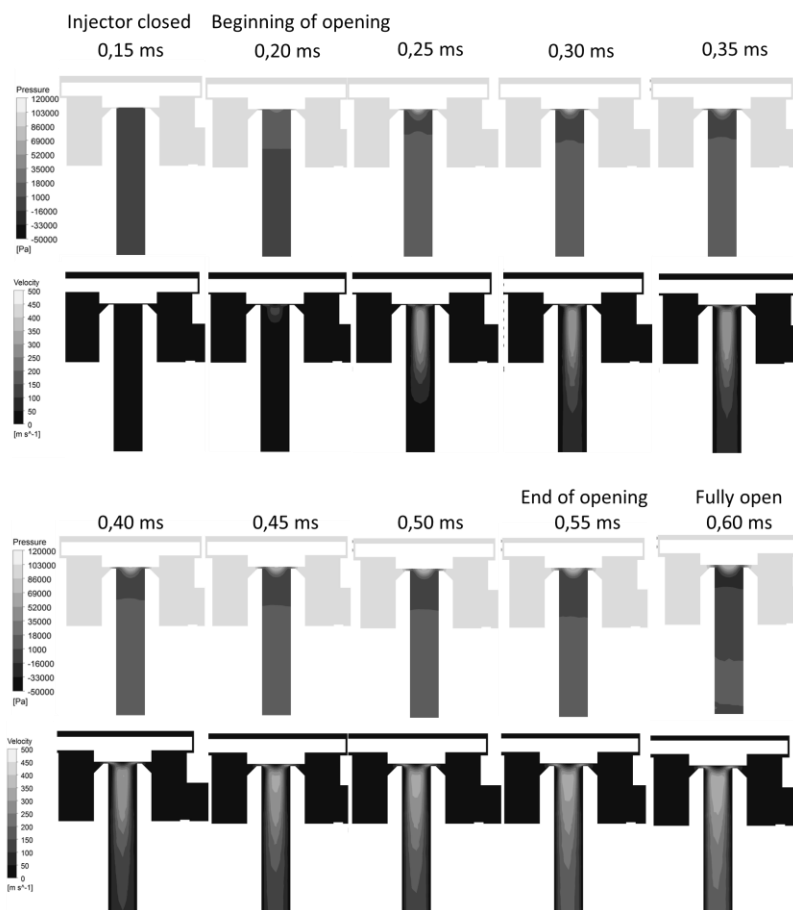


Fig. 3.5 Rozkład ciśnienia i prędkości przepływu w wybranej płaszczyźnie wtryskiwacza WG w czasie otwierania

Ciśnienie w tym rejonie spada o 40 kPa poniżej ciśnienia otoczenia a prędkość rośnie do 320 m/s, przy czym wartości te osiągnięte są dopiero w chwili pełnego otwarcia elementu zaworowego (0,60 ms).

Rozkład ciśnienia i prędkości wyraźnie wskazuje, że miejscem odpowiedzialnym za intensywność przepływu (miejscem rozprężania gazu) jest obszar między gniazdem zaworowym a elementem zaworowym, co jest zgodne ze sposobem kalibrowania wtryskiwacza.

Potwierdza to także przebieg czasowy strumienia masy gazu przez poszczególne przekroje wtryskiwacza (rys. 3.6). Strumień masy przepływający przez gniazdo zaworowe ma praktycznie identyczny kształt jak ruch elementu zaworowego. Przepływ stabilizuje się w momencie zakończenia ruchu tego elementu. Oznacza to, że w tym rozwiązaniu konstrukcyjnym nie występuje „martwy” ruch elementu zaworowego.

Wypływ i dopływ gazu do wtryskiwacza są opóźnione podobnie jak w przypadku wtryskiwacza Valtek, jednak ich wahania są mniejsze ze względu na znacznie mniejsze objętości poszczególnych komór. Wypływ stabilizuje się po około 0,40 ms od rozpoczęcia ruchu elementu zaworowego.

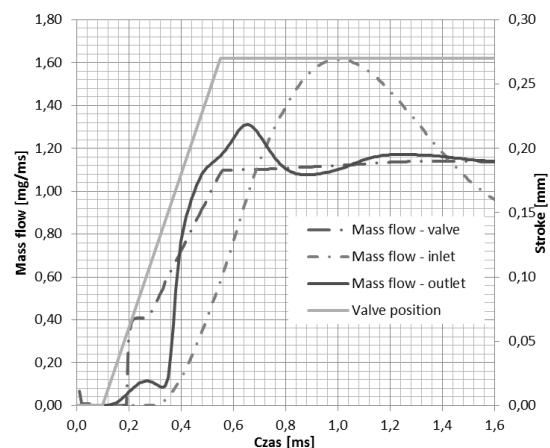


Fig. 3.6 Przebieg czasowy strumienia masy oraz wzniosu elementu zaworowego w czasie otwierania wtryskiwacza WG

Przepływ gazu w czasie pełnego otwarcia wtryskiwacza stabilizuje się na poziomie 1,15 mg/ms. Maksymalna prędkość przepływu wynosząca 320 m/s występuje na 5 mm poniżej gniazda zaworowego. Ciśnienie w tym rejonie spada do 42 kPa poniżej ciśnienia otoczenia.

Podobnie jak w przypadku wtryskiwacza Valtek, tak i w tej konstrukcji pulsacje ciśnienia i prze-

plywu na wlocie do wtryskiwacza praktycznie nie wpływają na przepływ na jego wylocie.

Rysunek 3.7 przedstawia rozkład ciśnienia i prędkości przepływu w czasie zamykania wtryskiwacza Valtek. Ruch powrotny elementu zaworowego rozpoczyna się w 3,05 ms symulacji.

Widoczne jest jednak, że praktycznie do chwili 3,75 ms symulacji przepływ przez układ nie ulega zmianie. Mimo zmniejszania odległości między elementem zaworowym a gniazdem zaworu rozkład

prędkości i ciśnienia pozostaje bez zmian. Potwierdza to występowanie w tej konstrukcji „martwego” ruchu elementu zaworowego. Dopiero w chwili 3,80 ms szczelina między elementem zaworowym a gniazdem jest na tyle mała aby stłumić przepływ gazu. Ze względu jednak na małą różnicę ciśnień nad i pod gniazdem prędkość przepływu w tym rejonie nie przekracza w czasie całego cyklu zamykania 120 m/s.

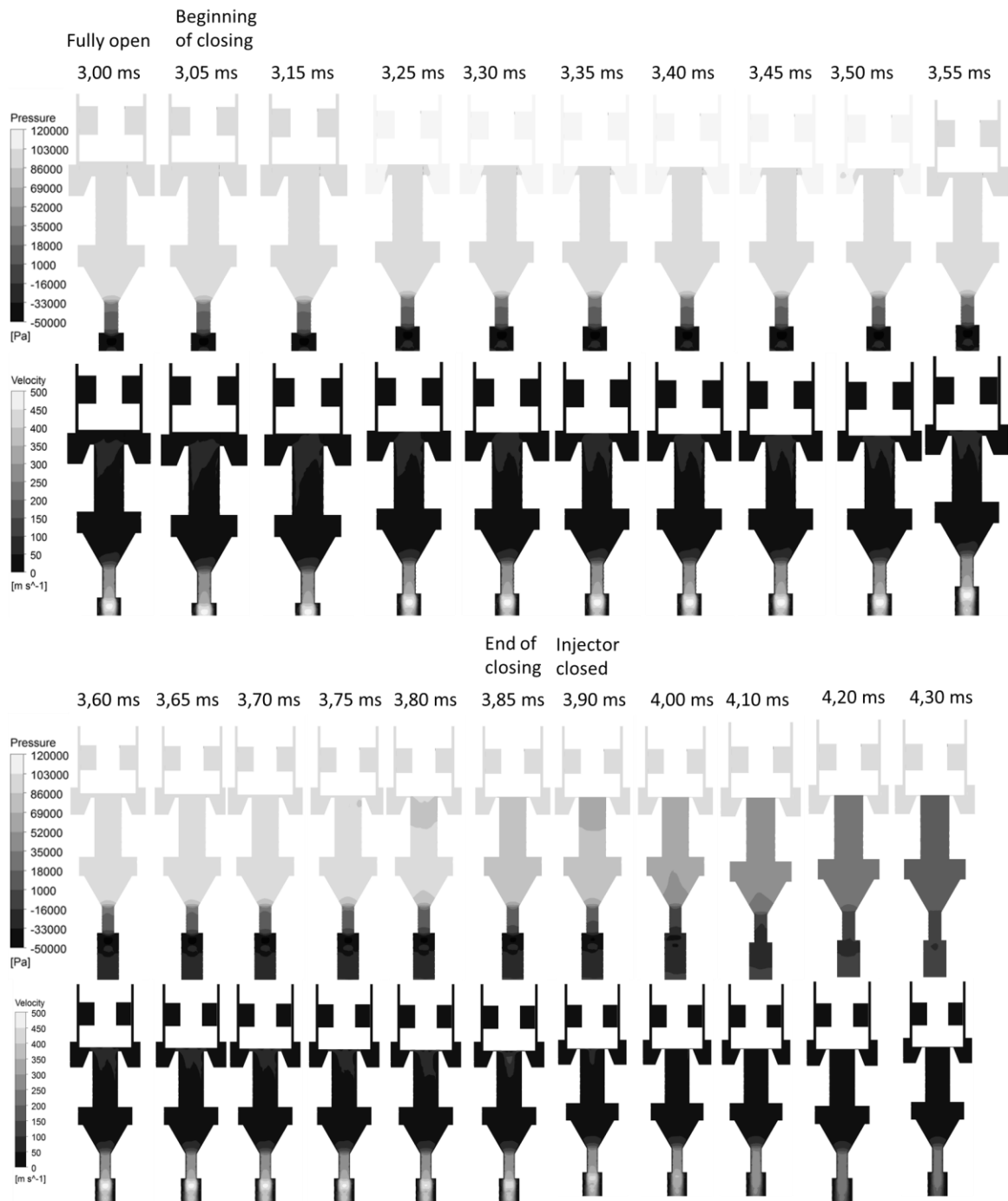


Fig. 3.7 Rozkład ciśnienia i prędkości przepływu w wybranej płaszczyźnie wtryskiwacza Valtek w czasie zamykania

W okresie od początku do zakończenia ruchu elementu zaworowego przepływ przez dyszę wylotową praktycznie się nie zmienia (rys. 3.8). Wynika to z dużej masy gazu zgromadzonej w objętości między gniazdem zaworowym a dyszą. Po zamknięciu przepływu przez gniazdo zaworowe następuje opróżnianie tej komory, trwające ponad 0,7 ms (stanowiące zwłokę zanikania przepływu). Przez pierwsze 0,25 ms prędkość przepływu gazu jest równa prędkości przepływu w czasie pełnego otwarcia wtryskiwacza.

Rysunek 3.9 przedstawia rozkład ciśnienia i prędkości przepływu podczas zamykania wtryskiwacza WG. Widoczne jest, że podczas całego procesu zamykania wtryskiwacza rozkład ciśnienia i prędkości przepływu praktycznie nie zmienia się. Wynika to z faktu, że przez cały czas w występuje przepływ krytyczny, którego prędkość wynika jedynie z rodzaju gazu.

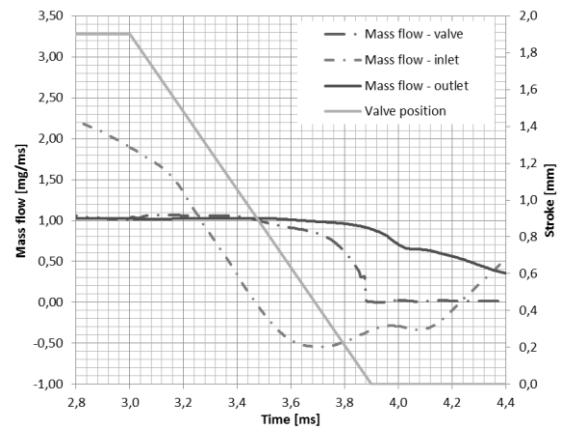


Fig. 3.8 Przebieg czasowy strumienia masy oraz wzniosu elementu zaworowego w czasie zamykania wtryskiwacza Valtek

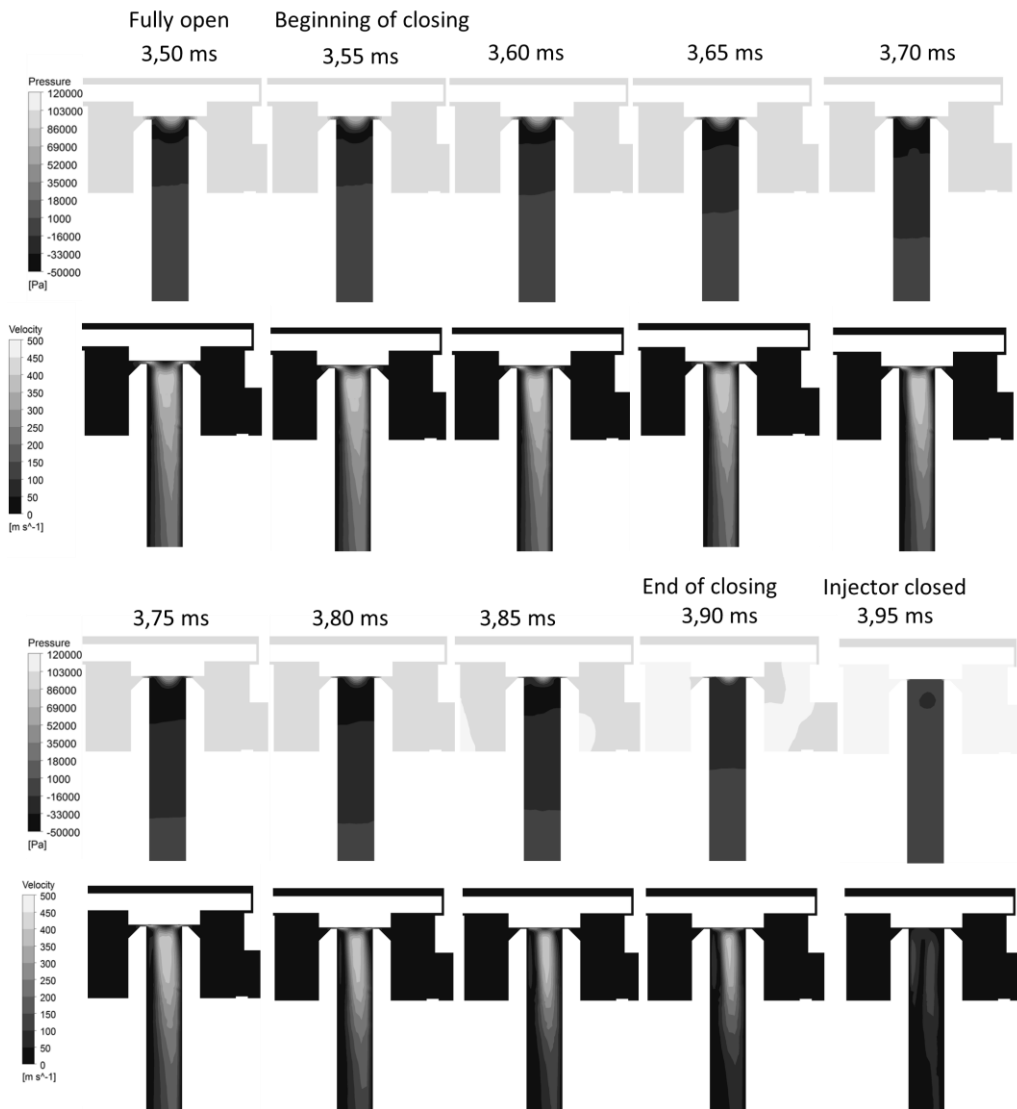


Fig. 3.9 Rozkład ciśnienia i prędkości przepływu w wybranej płaszczyźnie wtryskiwacza WG w czasie zamykania

Bezpośrednio po zamknięciu elementu zaworowego następuje zanik przepływu w regionie gniazda zaworowego (rysunek 3.10). Przepływ przez gniazdo zaworowe praktycznie odtwarza ruch elementu zaworowego. Wypływ z wtryskiwacza jest także zbliżony do kształtu ruchu elementu zaworowego. Zatem zwłoka zanikania przepływu jest praktycznie zerowa. Bezpośrednio po zamknięciu występują przepływy zwrotne w kanale wylotowym wynikające z dynamiki przepływu gazu. Można jednak przyjąć, że wypływ gazu z wtryskiwacza kończy się z chwilą zamknięcia gniazda zaworowego.

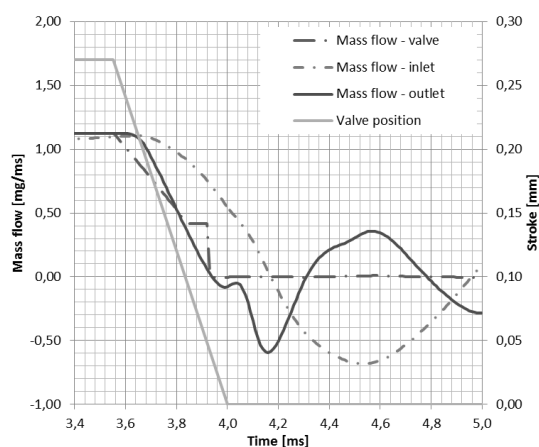


Fig. 3.10 Przebieg czasowy strumienia masy oraz wzniosu elementu zaworowego w czasie zamykania wtryskiwacza WGs

4. Podsumowanie

Analizując wyniki badań symulacyjnych wtryskiwacza Valtek można sformułować następujące wnioski:

1. Największe prędkości przepływu występują wewnątrz otworu dyszy wylotowej. Potwierdza to, że jest to wtryskiwacz kalibrowany średnicą otworu dyszy.
2. Występuje „martwy” skok elementu zaworowego w czasie którego przepływ gazu przez wtryskiwacz nie ulega zmianie. Skok ten jest wynikiem przyjętego rozwiązania konstrukcyjnego metody kalibracji, dla której skok elementu musi być na tyle duży, aby pole powierzchni między elementem zaworowym

a gniazdem zaworu przy maksymalnym otwarciu była zawsze większa niż powierzchnia otworu kalibracyjnego. W przypadku analizowanej konstrukcji skok jest co najmniej trzykrotnie większy niż wymagany.

3. W czasie otwierania wtryskiwacza dysza zaczyna decydować o przepływie po około 0,30 ms wykonania ruchu, co stanowi 30% całego czasu ruchu.
4. Tak duży skok elementu zaworowego powoduje, że komora znajdująca się pomiędzy gniazdem zaworowym a dyszą wypełnia się gazem pod ciśnieniem praktycznie równym ciśnieniu zasilania. W połączeniu ze znaczącą objętością tej komory powoduje znaczące przedłużenie wypływu gazu w czasie zamykania wtryskiwacza. Gaz wypływa z wtryskiwacza jeszcze przez 0,7 ms po zamknięciu zaworu.

Analizując wyniki badań symulacyjnych wtryskiwacza WGs można wskazać następujące wnioski:

1. Największe prędkości przepływu występują poniżej gniazda zaworowego. Potwierdza to, że jest to wtryskiwacz kalibrowany skokiem elementu zaworowego.
2. Przepływ gazu jest praktycznie zgodny z przebiegiem ruchu elementu zaworowego. Wypływ rozpoczyna się z niewielkim opóźnieniem wynikającym z bezwładności gazu, natomiast wypływ zanika praktycznie w chwili zamknięcia zaworu.

Podsumowując można wskazać, że:

1. Metoda kalibracji wtryskiwacza znacząco wpływa na rozkład ciśnień i prędkości przepływu wewnątrz ich konstrukcji oraz na przebieg strumienia masy gazu wypływającego z wtryskiwacza.
2. Zastosowanie metody kalibracji średnicą otworu oddalonego od gniazda zaworowego prowadzi do wydłużenia zwłoki zanikania przepływu gazu przy zamykaniu. Będzie miało to wpływ na charakterystyki masowe i czasowe działania wtryskiwacza.
3. W przypadku wtryskiwaczy kalibrowanych średnicą otworu występuje „martwy” ruch elementu zaworowego.

Nomenclature/Skróty i oznaczenia

CNG Compressed Natural Gas/*sprężony gaz ziemny*
LPG Liquefied Petroleum Gas/*gaz skroplony*

CFD Computational fluid dynamics/*numeryczna mechanika płynów*

Bibliography/Literatura

[1] Bleischwitz R., Bader N.: „Policies for the transportation toward a hydrogen economy:

The EU case” Energy Policy 38 (2010) 5388-5398

-
- [2] Kenihan S.: Reducing the emissions from your council fleet. Cities for Climate Protection Australia: An ICLEI program in collaboration with the AGO, <http://www.iclei.org>, 1999
- [3] Czarnigowski J.: „Teoretyczno-empiryczne studium modelowania impulsowego wtryskiwacza gazu” Monografie Politechnika Lubelska, Lublin 2012
- [4] Jun Wang, Lu Li Xiao: „PTC-base Injector Fuel Heat Transfer Analysis and Research during Cold-start” Conference on Computer Application and System Modeling ICCASM 2010
- [5] Li Minghai, Cui Hongjiang, Han Yundong, Li Ang: „CFD Technology Used to Optimize Fuel Injector Design of Railway Diesel Engine” WASE International Conference on Information Engineering 2010
- [6] Konrad Pietrykowski, Mirosław Wendeker, Jacek Czarnigowski, Piotr Jakliński, Antoni Nazarewicz, Michał Gęca „Analysis of Radial Engine Induction – CFD Simulation” Silniki Spalinowe 2007-SC2-151, 2007 str. 258-270
- [7] Jacek Czarnigowski, Mirosław Wendeker, Piotr Jakliński, Michał Rola, Łukasz Grabowski, Konrad Pietrykowski „CFD model of fuel rail for LPG systems” SAE 2007-01-2053

Mr Jacek Czarnigowski, D.Sc., Eng. – Assistant Professor in the Faculty of Mechanical Engineering at Lublin University of Technology.

Dr inż. Jacek Czarnigowski – asystent na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej.

