

# Zastosowanie hydrostrumieniowej samowzbudnej dyszy pulsacyjnej do efektywnego czyszczenia pojazdów samochodowych

Józef Borkowski, Monika Szada-Borzyszkowska

## Streszczenie

W artykule omówiono sposoby czyszczenia samochodów ze wskazaniem na zastosowanie metod hydrostrumieniowych. Przedstawiono budowę samowzbudnej dyszy pulsacyjnej, umożliwiającej wytwarzanie strumienia wodnego o okresowo zmiennej strukturze i ciśnieniu. Zaprezentowano wyniki symulacyjnych badań modelowych, na podstawie których zoptymalizowano konstrukcję samowzbudnej dyszy pulsacyjnej. Charakterystykę hydrodynamiczną pulsacyjnego strumienia wodnego, wytwarzanego w takiej dyszy, określono na podstawie eksperymentalnych badań laboratoryjnych. Wyniki tych badań wykazały, że analizowana konstrukcja dyszy umożliwia wytwarzanie pulsacyjnego strumienia wodnego odznaczającego się zwiększoną efektywnością usuwania zanieczyszczeń. Na podstawie przeprowadzonych prób stwierdzono znaczną przydatność samowzbudnej dyszy pulsacyjnej do efektywnego czyszczenia hydrostrumieniowego pojazdów samochodowych.

**Słowa kluczowe:** modelowanie, czyszczenie powierzchni, samowzbudna dysza pulsacyjna.

## Wstęp

W branży motoryzacyjnej nie ma obecnie lepszej i bardziej skutecznej metody jak mycie pojazdów strugą wysokociśnieniową. Technologia ta wymaga odpowiedniego doboru sprzętu i urządzeń pod kątem parametrów pracy. W zależności od rodzaju i intensywności zabrudzeń oraz wielkości czyszczonych powierzchni stosowane są różnego rodzaju urządzenia czyszczące [3]. Na rynku istnieje dużo sprzętu technicznego do mycia samochodów, który można podzielić pod względem technicznym na następujące urządzenia:

- ciśnieniowe, pompy wodne z odpowiednim oprzyrządowaniem, w postaci dysz natryskowych, podgrzewaczy wody, dozowników oraz środków myjących itp.,
- ciśnieniowe lub szczotkowe jednofunkcyjne,
- zintegrowane wielofunkcyjne, czyli kompleksowe myjnie automatyczne [1].

Myjnie ciśnieniowe obsługiwane są z reguły ręcznie, przy użyciu strumienia wody (zimnej lub ciepłej) przy wykorzystaniu odpowiednich końcówek z regulacją ciśnienia [5]. Do mycia ciśnieniowego stosowane są różnego rodzaju dysze, umieszczone zwykle na końcu lancy. Strumień wytwarzany w dyszach stosowanych do czyszczenia pojazdów samochodowych występuje najczęściej w postaci ciągłej a mimo to efekty czyszczenia są zadowalające.

Jednak przy znacznym stopniu zabrudzenia pojazdów taki sposób czyszczenia nie jest wystarczający. Dopiero zastosowanie impulsowego strumienia wodnego odznaczającego się okresowo zmienną strukturą i ciśnieniem wody, powoduje wyraźny wzrost intensywności czyszczenia. Tego rodzaju strumie-

nie wytwarzane w samowzbudnej głowicy pulsacyjnej [2], odznaczają się cyklicznie powstającym chwilowym wzrostem energii, zapewniającym zwiększoną efektywność czyszczenia powierzchni w porównaniu z analogiczną dyszą wytwarzającą standardowo ciągły strumień wody. Zagadnienie związane z kształtowaniem się impulsu przy dużych prędkościach strumienia wodnego analizowane są od niedawna, a ich badania i zastosowanie ma miejsce głównie w warunkach laboratoryjnych. Skuteczne wytwarzanie okresowo powtarzalnych impulsów hydraulicznych można osiągnąć również przez modernizację głowicy [2, 4] przeznaczonej dla górnictwa ropy i gazu, która wymaga przekonstruowania do wymiarów odpowiadających niewielkiej dyszy pulsacyjnej.

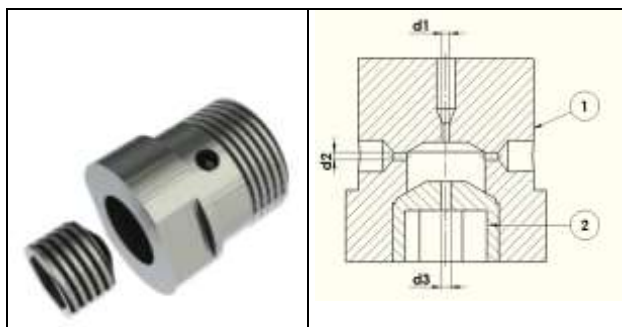
Celem niniejszego artykułu jest zaprezentowanie wyników badań przeprowadzonych w Centrum Niekonwencjonalnych Technologii Hydrostrumieniowych dla zwiększenia efektywności czyszczenia powierzchni pojazdów samochodowych strugą wodną o okresowo zmiennej strukturze i ciśnieniu, wytwarzanej w samowzbudnej dyszy pulsacyjnej.

## 1. Samowzbudna dysza pulsacyjna

Budowę samowzbudnej dyszy pulsacyjnej przedstawiono na rysunku 1. W górnej części jej korpusu (1) jest osiowo usytuowana dysza wlotowa, w środkowej części znajdują się otwory boczne a w dolnej części wkręcana jest dysza wylotowa (2) również usytuowana osiowo.

Takie usytuowanie wzajemne wszystkich tych elementów zapewnia powstawanie komory wirowej o odpowiednim kształcie, co sprawia, że z zewnętrznych powłok przepływającej

przez nią strugi wodnej powstają korzystnie ukształtowane pierścienie wirowe. W wyniku ich oddziaływania na centralnie przepływającą strugę wodną występują okresowo zmienne gwałtowne wzrosty ciśnienia w strudze wypływającej z takiej dyszy.



**Rys. 1.** Schemat i budowa samowzbudnej dyszy pulsacyjnej (1 - korpus; 2 - dysza wylotowa;  $d_1$  - średnica dyszy wlotowej;  $d_2$  - średnica otworów bocznych;  $d_3$  - średnica dyszy wylotowej)

## 2. Badania modelowe

W pierwszej fazie analiz mechanizmu funkcjonowania takiej samowzbudnej dyszy pulsacyjnej przeprowadzono szereg modelowych badań komputerowych z wykorzystaniem oprogramowania SolidWorks FlowSimulation. Takie badania symulacyjne miały na celu sprawdzenie rozkładów prędkości i ciśnienia oraz mechanizmu kształtowania się pierścieni wirowych wewnątrz samowzbudnej dyszy pulsacyjnej. Badania takie wykonane zostały dla różnych ciśnień czynnika wejściowego.

Stosując heksagonalną siatkę dyskretyzacji, odpowiednio zagęszczoną w istotnych punktach, otrzymano rozkłady pól prędkości i ciśnienia oraz kształt pierścieni wirowych wewnątrz badanych modeli dysz pulsacyjnych.

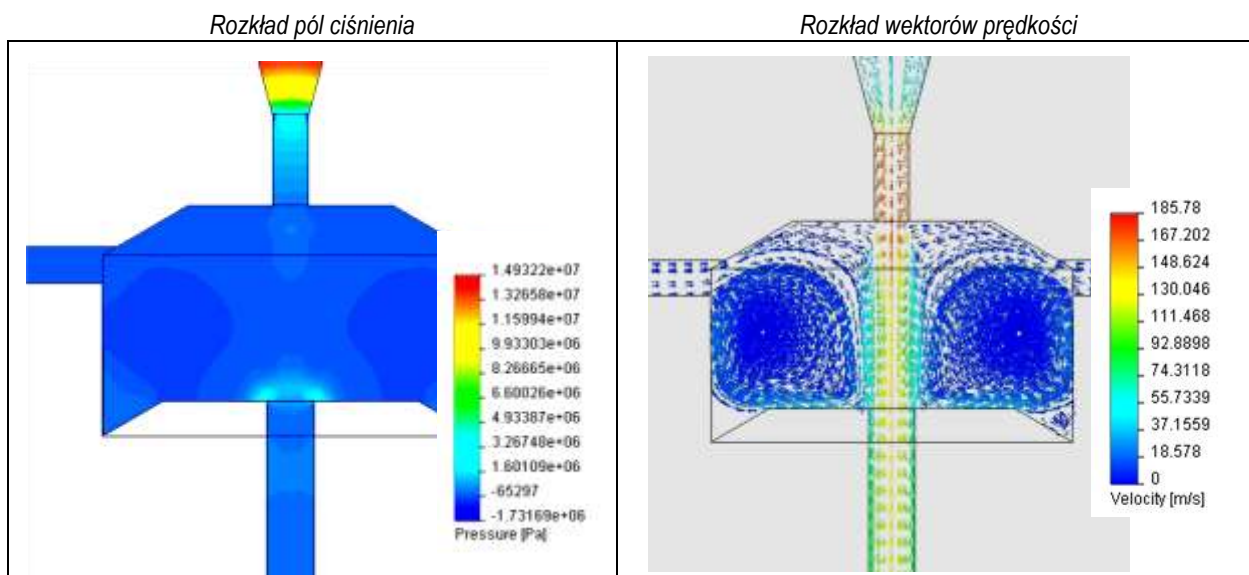
Przeprowadzone badania modelowe wykazały, że przy określonych parametrach wejściowych rozkłady pól prędkości

i ciśnienia oraz kształt pierścieni wirowych wpływają korzystnie na kształtowanie się impulsu wytwarzanego w samowzbudnej dyszy pulsacyjnej. Strumień wody z dyszy wlotowej trafia do komory wirowej, w której powstaje podciśnienie, wywołujące rozprężenie jego zewnętrznych warstw. Powoduje to tworzenie się wirów wtórnych powstających w dolnej części komory wirowej, tworzące wirujące pierścienie o stosunkowo zwartej strukturze, które okresowo blokują częściowy przepływ strugi zasadniczej. Ponadto wirowanie tych pierścieni przyczynia się do zasysania czynnika przez boczne otwory korpusu dyszy, powodując chwilową zmianę wartości ciśnienia w dyszy wylotowej. Przez to strefa niskiego ciśnienia, występująca w przestrzeni komory wirowej, reguluje odpowiedni kształt pierścieni wirowych a otwory boczne zmniejszają straty ciśnienia. Wszystko to powoduje w komorze wirowej złożoną modyfikację centralnego strumienia wodnego, który przy wylocie z samowzbudnej dyszy pulsacyjnej występuje już wyłącznie, jako strumień o okresowo zmiennej strukturze i ciśnieniu.

Przykładowe rozkłady ciśnienia i prędkości wirowego przepływu pierścieni wodnych, wytworzonych wewnątrz komory wirowej samowzbudnej dyszy pulsacyjnej, zaprezentowano na rysunku 2.

Wyniki tego rodzaju badań symulacyjnych unaczyniają również sam mechanizm modulacji impulsów w strumieniu wody oraz wyjaśniają sposób kształtowania się impulsów hydraulicznych. Powstaje to dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu komory wirowej usytuowanej wewnątrz głowicy pulsacyjnej, w której powstające podciśnienie oddziałuje na tworzenie się pierścieni wirowych.

Z kolei odpowiednie ich uformowanie przyczynia się do modulacji pulsacyjnego strumienia wody [5]. Dzięki przeprowadzeniu mnogich symulacji procesu formowania się strugi wodnej i ocenie uzyskiwanych jej parametrów dokonano również wyboru optymalnego rozwiązania konstrukcyjnego takiej dyszy zapewniającej efektywne czyszczenie powierzchni pojazdów samochodowych.



**Rys. 2.** Rozkład prędkości oraz ciśnienia wewnątrz samowzbudnej dyszy pulsacyjnej o średnicy komory wirowej  $D=6,2$  mm i jej wysokości  $H=3,2$  mm, dla nominalnego ciśnienia wody  $p=15$  MPa

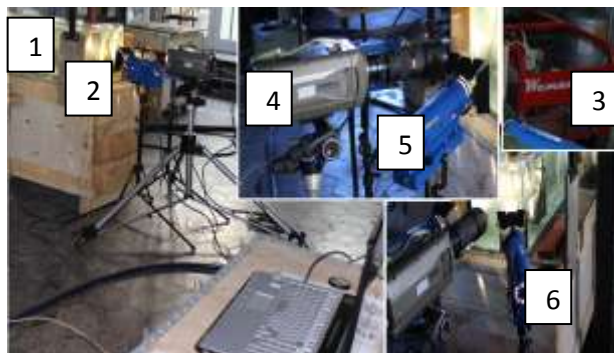
### 3. Metodyka badań laboratoryjnych

W celu weryfikacji przydatności samowzбудnej dyszy pulsacyjnej, wybranej na podstawie badań symulacyjnych, zaprojektowano i wykonano jej prototypowe rozwiązanie konstrukcyjne, przedstawione na rys. 3.



**Rys. 3.** Samowzбудna dysza pulsacyjna wykonana do badań laboratoryjnych

Określenie dynamicznej charakterystyki takiej dyszy wymaga przeprowadzenia wieloaspektowych badań laboratoryjnych. Dla ich realizacji zestawiono odpowiednie stanowisko badawcze zaprezentowane na rysunku 4. W technologicznej części tego stanowiska strumień wody o określonym ciśnieniu podawano z agregatu hydrostrumieniowego (3) węzłem wysokociśnieniowym na wejście do dyszy pulsacyjnej. Badaną dyszę pulsacyjną umieszczano w przeszklonym zbiorniku (1) wody w taki sposób, by wytwarzana w niej struga pulsacyjna trafiała w czujnik siłomierza (2) oraz by mogła być równocześnie filmowana. W badaniach tych używano specjalnie zaprojektowany siłomierz wykorzystujący piezoelektryczny nadajnik typu KISTLER-9602-AQ01. Natomiast do wizualizacji kształtowania się poszczególnych impulsów takiej strugi stosowano ultra-szybką kamerę (4) typu Phantom V12.1, umożliwiającą rejestrację z szybkością do 1000 000 obrazów na sekundę. Wymaga to jednak stosowania odpowiednich oświetlaczy reflektorowych (5), typu Pallite VR-L2400. Poszczególne fazy procesu kształtowania się impulsów w strudze wodnej na wyjściu z samowzбудnej dyszy pulsacyjnej, rejestrowane przez tę kamerę były przekazywane do komputera (6), w którym podlegały określonej analizie.

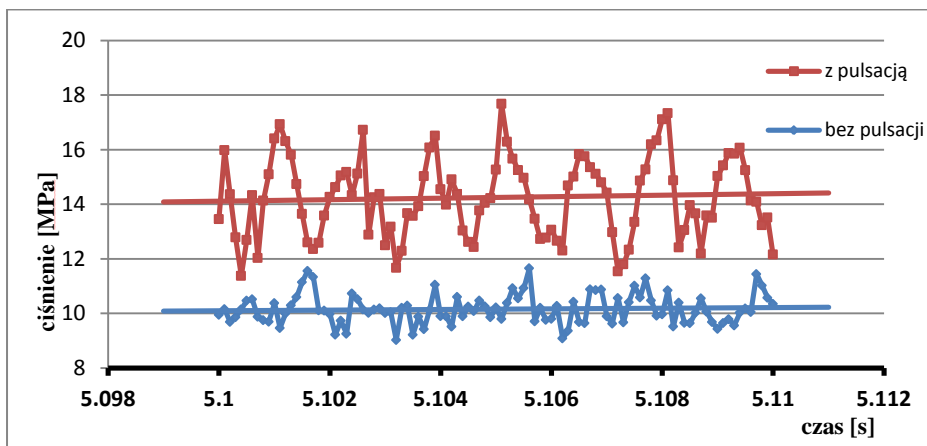


**Rys. 4.** Stanowisko do badań laboratoryjnych: 1 - zbiornik wody wraz z uchwytem do mocowania samowzбудnej dyszy pulsacyjnej i piezoelektrycznym siłomierzem 2 typu KISTLER-9602-AQ01, 3 - wysokociśnieniowa pompa wodna typu Wemaa AS500/15, 4 - ultra-szybka kamera typu Phantom V12.1, 5 - oświetlacze reflektorowe typu Pallite VR-L2400, 6 - jednostki komputerowe monitorujące proces

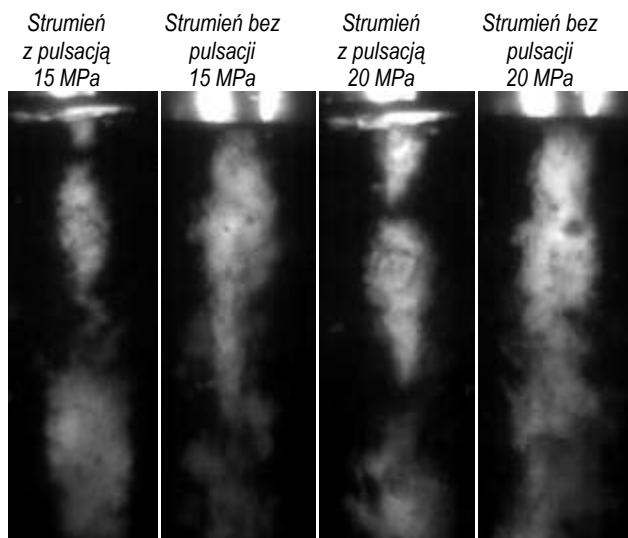
### 4. Wyniki badań laboratoryjnych

W Centrum Niekonwencjonalnych Technologii Hydrostrumieniowych przeprowadzono badania wpływu parametrów geometrycznych samowzбудnej dyszy pulsacyjnej na proces kształtowania się impulsów hydraulicznych. Badania zmian ciśnienia strugi pulsacyjnej, wykonane przy użyciu siłomierza piezoelektrycznego, wskazują (rysunek 5) na występowanie gwałtownego okresowego wzrostu ciśnienia na wyjściu z samowzбудnej dyszy pulsacyjnej.

W celu określenia zmian występujących w takim strumieniu wodnym, odznaczającym się okresowo zmienną strukturą i ciśnieniem, a także oceny częstotliwości tych zmian w różnych warunkach ciśnień nominalnych, filmowano przepływ takich strumieni przy zastosowaniu ultra szybkiej kamery typu Phantom V12.1. Przykładowe obrazy impulsów o zmiennej strukturze, powstających się w strumieniu wodnym przy różnych ciśnieniach, przedstawiono na rysunku 6. Na rysunku tym zaprezentowano również kształty strumieni pozbawionych pulsacji, które wytwarzano w dyszach standardowych. Z porównania tych obrazów wynika wyraźne zakłócenie ciągłości przepływu strugi wytwarzanej w samowzбудnej dyszy pulsacyjnej.



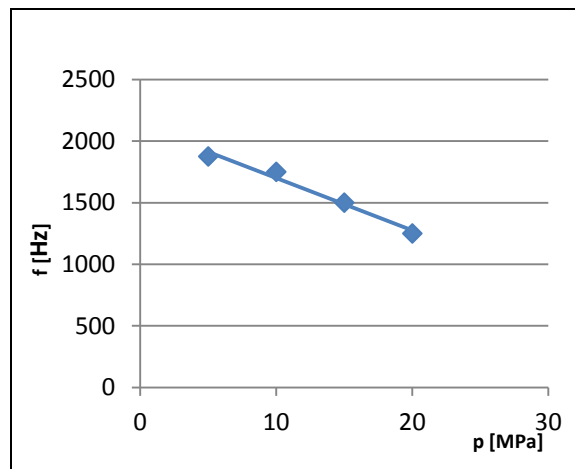
**Rys. 5.** Porównanie przykładowych rozkładów ciśnień w strumieniu wodnym wytwarzanym w samowzбудnej dyszy pulsacyjnej i w dyszy standardowej



**Rys. 6.** Widok kształtowania się impulsu zarejestrowany przy zastosowaniu ultra-szybkiej kamery typu Phantom V12.1 dla różnych ciśnień wejściowych

Na podstawie takich badań określono także zależność częstotliwości występowania zmian struktury strumienia pulsacyjnego od nominalnego ciśnienia wody. Jest to quasi-liniowa zależność (rysunek 7), której krańcowe współrzędne opisują następujące dane: Przy nominalnym ciśnieniu wody równym 5 MPa częstotliwość występowania zmian struktury strumienia pulsacyjnego wynosi 1875 Hz, natomiast dla ciśnienia 20 MPa częstotliwość zmian struktury strumienia wytwarzanego w samowzbudnej dyszy pulsacyjnej wynosi 1250 Hz.

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych potwierdzono słuszność wcześniejszych badań symulacyjnych, wykazując, że opracowana konstrukcja dyszy pulsacyjnej umożliwia wytwarzanie samowzbudnych impulsów hydraulicznych bez dodatkowych ingerencji zewnętrznych czy nakładów energii.



**Rys. 7.** Zależność częstotliwości pulsacji strumienia od nominalnego ciśnienia wody, określona przy zastosowaniu ultra-szybkiej kamery typu Phantom V12.1

## 5. Poligonowe próby czyszczenia samochodów

W celu oceny przydatności samowzbudnej dyszy pulsacyjnej, wywołującej impulsy hydrodynamiczne w strumieniach wodnych używanych do czyszczenia pojazdów samochodowych, zastosowano specjalnie zestawioną instalację wysokociśnieniową. Osprzęt ten składający się z hydromonitora P30 i wysokociśnieniowego pistoletu typu lanca (Woma typu HP 750-2) wyposażonego w samowzbudną dyszę pulsacyjną, był używany do czyszczenia pojazdów samochodowych, m.in. zabudowanej naczepy samochodu ciężarowego (rysunek 8).

Podczas procesu czyszczenia ciśnienie z hydromonitora podawano węzłem wysokociśnieniowym do pistoletu, na końcu którego zamontowano samowzbudną dyszę pulsacyjną. Przebieg procesu czyszczenia rejestrowano przy pomocy serii zdjęć wykonywanych aparatem Canon EOS 600D współpracującym z komputerem.



**Rys. 8.** Czyszczenie pulsacyjnym strumieniem wodnym naczepy (1) samochodu ciężarowego przy użyciu instalacji składającej się z hydromonitora (2) typu P30 i pistoletu (3) typu lanca (WOMA typu HP 750-2) wyposażonego w samowzbudną dyszę pulsacyjną



**Rys. 9.** Usuwanie zabrudzeń naczepy przy zastosowaniu pulsacyjnej strugi wodnej wytwarzanej w samowzbudnej dyszy pulsacyjnej

Różne szczegóły usuwanych w ten sposób zanieczyszczeń przy użyciu strumienia pulsacyjnego zaprezentowano na rys. 9. Czyszczenie takie przeprowadzono przy użyciu czystej wody zimnej (bez żadnych dodatków) w zakresie ciśnień 10÷30MPa. Przykładowo, zabieg czyszczenia kół samochodowych oraz powierzchni naczepy został skutecznie przeprowadzony w czasie zaledwie 20 s, podczas gdy analogiczny zabieg wykonywany strumieniem wodnym bez pulsacji trwał 2-3 krotnie dłużej. Takie poligonowe próby wykazały, że samowzbudna dysza pulsacyjna jest bardzo efektywnym i skutecznym narzędziem bardzo przydatnym do czyszczenia różnych powierzchni zabrudzonych pojazdów samochodowych.

## Wnioski

- Przeprowadzone komputerowe badania modelowe i doświadczenia eksperymentalne umożliwiły poznanie kształtowania się rozkładów prędkości i ciśnień w komorze wirowej samowzbudnej dyszy pulsacyjnej.
- Intensywność występowania tych zjawisk zależy w głównej mierze od budowy i kształtu komory wirowej oraz jej dolnej części tworzonej przez dyszę wylotową, które decydują o wielkości generowanego impulsu hydrodynamicznego.
- Wszystko to wywiera wyraźny wpływ na mechanizm i przebieg formowania w takiej samowzbudnej dyszy pulsacyjnej, strumienia wody charakteryzującego się okresową zmiennością struktury i ciśnienia.
- Ważnym czynnikiem jest także ciśnienie robocze zasilające taką dyszę, którego wzrost powoduje bardzo korzystne zwiększenie energii impulsów hydraulicznych.

- Wzrost nominalnego ciśnienia wody sprawia, że zmniejsza się częstotliwość pulsacji ciśnienia w strumieniu wodnym wytwarzanym w samowzbudnej dyszy pulsacyjnej.
- Próby czyszczenia różnych powierzchni zabrudzonych pojazdów samochodowych wykazały dużo większą efektywność strumienia wodnego wytwarzanego w samowzbudnej dyszy pulsacyjnej niż w dyszy standardowej.
- Zatem samowzbudna dysza pulsacyjna odznacza się znaczną przydatnością do efektywnego czyszczenia hydrostrumieniowego pojazdów samochodowych.

## Bibliografia

1. Bałaziński W., Kozłowski M., Tokarz K.: Mechanik pojazdów samochodowych. Vogel Business Media, Wrocław, 2005.
2. Borkowski P.J., Borkowski J.A., Szada-Borzyszkowska M.: The research of self-excited head for generation of pulsed water-jet useful in oil and gas mining. 21st International Conference on Water Jetting Ottawa, Canada, 2012.
3. Nowoczesny Warsztat. Ogólnopolski miesięcznik dla fachowców branży motoryzacyjnej, listopad, 2013.
4. Ruihe W., Yukun D., Hongjian N.: Large eddy simulation of self-oscillation pulsed water jet drawing in annulus fluid. Unconventional and HydroJetting Technologies. Koszalin, (ISSN 0239-7129) pp. 229-246, 2009.
5. Uzdowski M., Abramek K.F., Garczyński K.: Eksploatacja techniczna i naprawa. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2009.

## Application of hydro-jetting self-excited pulsing nozzle for effective cleaning of vehicles

### Abstract

*The paper presents different methods of vehicles cleaning pointing out at usage of hydro-jetting technology. Self-excited pulsing nozzle build that let to generate water jet of periodically variable structure and pressure is given in. One can also find results of simulating model tests giving the basis for optimization of the nozzle. Experimental laboratory verification of above simulations let to define hydrodynamic characteristics of water pulsing jet. As it comes out from the research the nozzle being analyzed here let to generate favorable pulsing jet characterized by enlarged efficiency of cleaning and all that let to conclude that developed self-excited pulsing nozzle assures considerable usefulness for effective hydro-jetting cleaning of vehicles.*

**Key words:** modeling, surfaces cleaning, self-excited pulsing nozzle.

### Autorzy:

Prof dr hab. inż. **Józef Borkowski** – Politechnika Koszalińska

Mgr inż. **Monika Szada-Borzyszkowska** – Politechnika Koszalińska