

Barbara Sokolnicka, Paweł Fuć, Natalia Szymlet, Maciej Siedlecki

Analiza wyników symulacji różnych konfiguracji filtrów cząstek stałych w układzie wylotowym silnika o zapłonie iskrowym

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2019.162
Data zgłoszenia: 05.04.2019 Data akceptacji: 26.06.2019

W artykule przedstawiono wyniki symulacji przepływu gazów wylotowych przez trzy konfiguracje ceramicznego nośnika umieszczonego w układzie wylotowym silnika. Nośniki różniły się parametrami gęstości cel na całej długości filtra. Przebadano filtr o stałym parametrze CPSI (ang. Cell per Square Inch), filtr o dwóch różnych gęstościach cel oraz nośnik potrójny. Dla każdego z elementów filtra wprowadzone zostały warunki brzegowe, które określają charakter przepływu oraz definiują rodzaj powierzchni danego elementu. Określony został także skład gazów wylotowych, których przepływ jest symulowany. Warunki początkowe symulacji zawierają dane dotyczące ciśnienia, temperatury oraz prędkości przepływu. Do przeprowadzenia symulacji wykorzystano oprogramowanie AVL Fire Aftertreatment. Program stanowi wiodące narzędzie do symulacji CFD w dziedzinie silników spalinowych.

Słowa kluczowe: symulacja CFD, GPF, emisja PM.

Wstęp

We wrześniu 2017 r. wprowadzono normę homologacji EURO 6c dla pojazdów w rzeczywistych warunkach ruchu i ograniczenia dotyczące emisji cząstek stałych w zakresie ich liczby oraz masy dla silników z bezpośrednim wtryskiem benzyny [4]. Stwarza to konieczność opracowania unikalnego elementu oczyszczania gazów wylotowych dostosowanego do danego pojazdu i umożliwiającego spełnienie coraz bardziej wymagających norm emisji spalin. Zwiększenie popularności pojazdów zasilanych bezpośrednim wtryskiem benzyny kieruje uwagę ośrodków badawczych na zagadnienie dotyczące filtracji cząstek o najmniejszych średnicach [9]. Zastosowanie tego typu zasilania ma pozytywny wpływ na zwiększenie momentu obrotowego i mocy pojazdów, oraz umożliwiło zmniejszenie zużycia paliwa [8]. Negatywnym skutkiem tego rozwiązania jest nadmierna emisja cząstek stałych o małych średnicach, stanowiących szczególne zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego [5]. Do metod ograniczania emisji zalicza się filtr cząstek stałych GPF. W literaturze niemieckiej technologia ta określana jest również jako filtr cząstek Otto (OPF). Konstrukcja i zasada działania filtra zbliżona jest do rozwiązania stosowanego w przypadku silników o zapłonie samoczynnym (DPF), które są stosowane seryjnie od lat 80-tych ubiegłego wieku. Filtr posiada strukturę plastra miodu, zwykle wykonaną z kordierytu z naprzemiennie zaślepionymi kanałami wlotowymi i wylotowymi. Gazy wylotowe przepływają przez substrat filtra o określonej porowatości, którego zadaniem jest zatrzymanie cząstek sadzy. W przeciwieństwie do silników o zapłonie samoczynnym, silniki ZI pracują na stechiometrycznej mieszance paliwowo-powietrznej, co powoduje niedobory tlenu w gazach wylotowych [1]. Określona zawartość tlenu jest niezbędna do przeprowadzenia procesu regeneracji filtra. Dane dotyczące gazów wylotowych z silnika o zapłonie iskrowym stanowią wartość średnią z przejazdu miejskiego wykonanego zgodnie z zaleceniami RDE (ang. Real Driving Emissions) pochodzącymi z normy EURO 6c. Obiektem badawczym był pojazd z silnikiem zasilanym bezpośrednim wtrys-

kiem benzyny, homologowany zgodnie z normą obowiązującą w momencie wyprodukowania. Dane zarejestrowano za pomocą mobilnej aparatury z grupy PEMS (ang. Portable Emissions Measurement System) służącej do pomiarów stężeń toksycznych i szkodliwych składników gazów wylotowych (Rys. 1) [3].



Rys. 1. Widok aparatury pomiarowej zamontowanej w pojeździe

1. Narzędzie symulacji

Obliczenia CFD (ang. Computational Fluid Dynamics) stanowią technologię umożliwiającą badanie dynamiki przepływu gazów i płynów. Programy bazujące na obliczeniach CFD pozwalają na przeprowadzenie symulacji dla zróżnicowanych warunków fizycznych oraz znacznie skracają czas trwania badań w porównaniu do testowania rzeczywistych obiektów [6,7]. Na rynku istnieje wiele programów komercyjnych przeznaczonych do obliczeń symulacyjnych. Do wykonania obliczeń będących podstawą symulacji komputerowej wykorzystano oprogramowanie AVL FIRE [2]. Program posiada wtyczki dedykowane projektowaniu konstrukcji filtra (Aftertreatment), która następnie implementowana jest w kolejnym narzędziu (Workflow Manager), które pozwala na wprowadzenie danych dotyczących przepływających przez nośnik mediów. Oprogramowanie umożliwia wprowadzenie danych dotyczących składu gazów wylotowych (Tab.1).

Tab. 1. Stężenia poszczególnych składowych gazów wylotowych wykorzystanych do symulacji [2]

Składnik gazów wylotowych	Wartość [%]
O ₂	0,004
CO ₂	0,13
CO	0,0001
NO	0,000005
H ₂ O	0,12
N ₂	0,745895

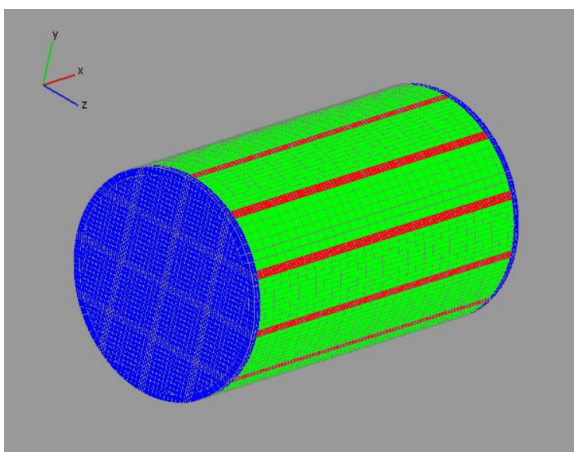
Firma AVL stworzyła narzędzie poświęcone symulacji zjawisk fizycznych i chemicznych zachodzących w układach oczyszczania spalin, takich jak reaktory (dwufunkcyjne i trójfunkcyjne), filtry czą-

stek stałych (przeznaczone do silników ZI i ZS), a także reaktorów selektywnej redukcji katalitycznej wykorzystujących amoniak.

2. Konceptcje modelu nośnika

2.1. Filtr pojedynczy

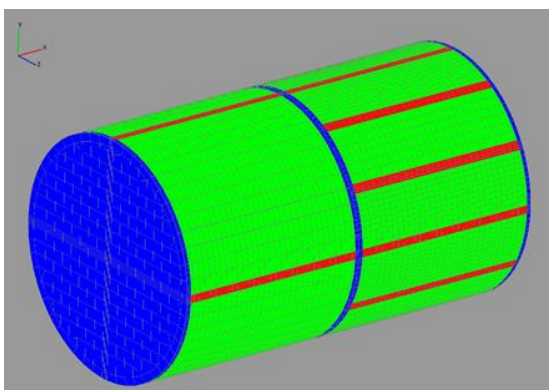
Długość zaprojektowanego filtra była niezmienna dla wszystkich konfiguracji. W przypadku występowania kolejnych części o zmieniających parametrach, dostosowana została ich wielkość. Założeniem było zaprojektowanie filtra o standardowych wymiarach, odpowiedniego do zastosowania w istniejącym układzie wylotowym rzeczywistego pojazdu. Pierwszym modelem był nośnik o stałej gęstości cel (Rys. 2). Jest to rozwiązanie najbardziej zbliżone do komercyjnych filtrów stosowanych seryjnie w pojazdach. Możliwości filtracyjne nośnika są równomiernie rozłożone na całej jego powierzchni i uwarunkowane jedynie dynamiką przepływu gazów wylotowych.



Rys. 2. Widok modelu siatki pojedynczego nośnika

2.2. Filtr podwójny

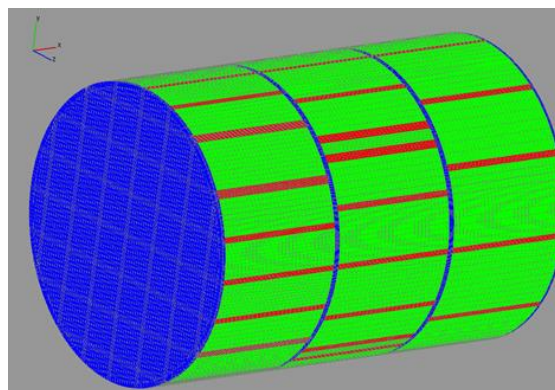
Założeniem kolejnej koncepcji było umieszczenie fragmentów nośnika o różnej gęstości cel na tej samej długości filtra. Spowodowało to powstanie dwóch sekcji filtra, z której każda cechowała się odmiennymi właściwościami filtracyjnymi (Rys. 3). Pierwszy z fragmentów odpowiedzialny jest za wstępną filtrację cząstek o dużych średnicach, aby następny odcinek filtra zatrzymywał cząstki mniejsze. Założeniem było zapobieganie nadmiernemu gromadzeniu się cząstek powodujących zmniejszenie drożności kanałów i zapychanie się filtra. Zwiększenie gęstości cel w strukturze filtra powoduje gwałtowne zmiany charakteru przepływu gazów wylotowych, które ulegają spiętrzeniu, w wyniku czego zwiększone zostaje ciśnienie i temperatura wewnątrz filtra.



Rys. 3. Widok modelu siatki podwójnego nośnika

2.3. Filtr potrójny

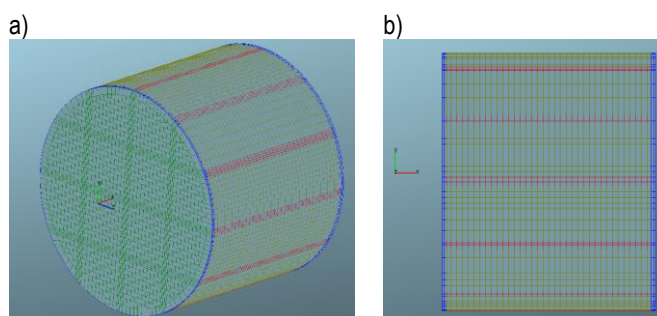
W celu weryfikacji założenia, iż zmienna gęstość cel powoduje usprawnienie filtracji cząstek w wyniku stopniowania procesu filtracji postanowiono zaprojektować filtr potrójny (Rys. 4). Trzecia konfiguracja zakłada dwukrotną zmianę gęstości cel nośnika na całej jego długości. Początkowo wartość CPSI jest najmniejsza, co umożliwia filtrację największych cząstek. Podczas przepływu przez dalsze fragmenty następują dalsze etapy filtracji, w wyniku których zatrzymaniu ulegają cząstki mniejsze. W wyniku rozłożenia filtracji na etapy, rozkład cząstek na przestrzeni filtra jest równomierny, co ułatwia jego regenerację i zapobiega nadmiernej niedrożności kanałów [3].



Rys. 4. Widok modelu siatki potrójnego nośnika

3. Tworzenie modelu i dane wejściowe

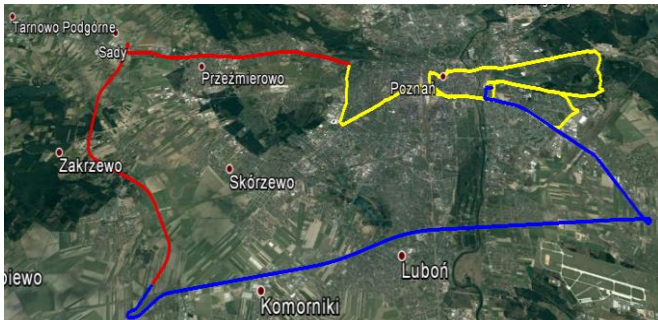
Początkowym etapem przeprowadzenia symulacji w programie AVL FIRE jest tworzenie siatki modelu, na której wykonane zostaną obliczenia, przez którą nastąpi przepływ gazów wylotowych o zadanych parametrach. Siatka została wygenerowana przez program w sposób automatyczny, jednocześnie niwelując ewentualne błędy przy zmianie średnicy wywołanej nieprostokątnym kształtem projektowanego kształtu (Rys. 5). Od danych wprowadzonych na tym etapie zależy przepustowość filtra oraz jego sprawność filtracji. Wtyczka pozwala na określenie kształtu nośnika filtra, wymiarów poszczególnych cel, długości, grubości ścianek oraz średnicy filtra.



Rys. 5. Widok siatki filtra przygotowanej do symulacji; a) ukośny, b) boczny

Kształt oraz promień filtra dobiera się na podstawie objętości skokowej silnika spalinowego. W badanym przypadku wynosiła ona 1197 cm³. Zaprojektowany model miał kształt walca o całkowitej długości 0,14 m i promień równy 0,06 m. Wybrano kształt walca, z uwagi na największy stosunek powierzchni do objętości. Średnica filtra została dobrana jako pasująca do analizowanych modeli pojazdów samochodowych bez konieczności przeprowadzania zmian konstrukcyjnych i montaż filtra w układzie wylotowym pojazdu. Znaczącym zagadnieniem jest zapewnienie jak najmniejszych strat przepływu przy maksymalnie dużej skuteczności filtracji gazów

wylotowych z cząstek stałych. Wykorzystany do badań typ nośnika miał budowę typu *wall-through*, co oznacza, że charakteryzował się on przepływem gazów wylotowych przez naprzemiennie zasłepione kanały o porowatej strukturze, która została zaprojektowana tak, aby przepuszczać przepływające substancje gazowe, a zatrzymywać zanieczyszczenia stałe. Program umożliwia także wprowadzenie wielu zmiennych dotyczących środowiska, w jakim przeprowadzane są badania. Dane dotyczące składu oraz temperatury gazów wylotowych zarejestrowano podczas rzeczywistego przejazdu na terenie aglomeracji poznańskiej. Trasa przejazdu została opracowana zgodnie z wymaganiami procedury RDE. W jej skład wchodziły trzy cykle jezdne: miejski, pozamiejski i autostradowy, zaznaczone odpowiednio kolorem żółtym, czerwonym oraz niebieskim (Rys. 6).



Rys. 6. Trasa badawcza zaprojektowana zgodnie z wymaganiami procedury RDE

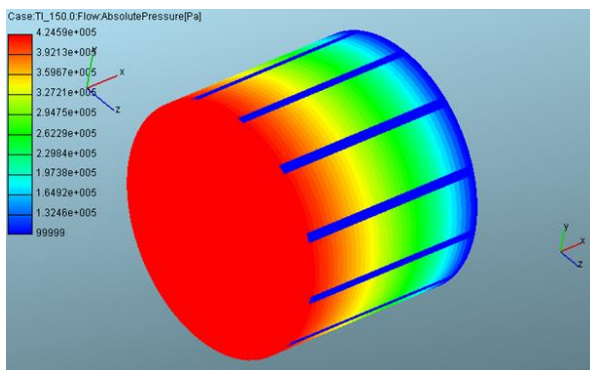
Udział każdej z części testu musi wynosić około 33% pod względem liczby przebytych kilometrów [10]. Cykle posiadają również ramy czasowe. W celu uniknięcia zbyt długiego czasu trwania przejazdu, a co za tym idzie unieważnienia całego testu, badania odbyły się w godzinach popołudniowych, co umożliwiło uniknięcie kongestii.

4. Wyniki symulacji

4.1. Filtr pojedynczy

Absolutne ciśnienie przepływu

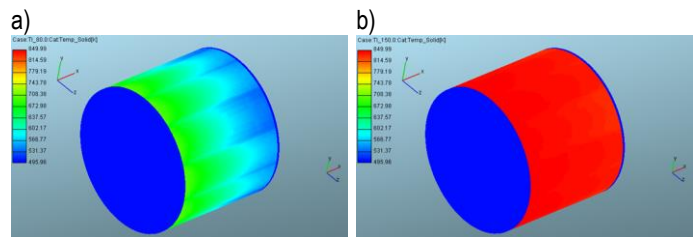
Ciśnienie przepływu gazów wylotowych przez filtr zależy od gęstości cel nośnika. W przypadku modelu o stałej wartości CPSI największe wartości osiągnięto dla obszaru wlotu nośnika (Rys. 7). Występuje wyraźny podział obszaru nośnika na warstwy o różnych wartościach ciśnienia absolutnego. Dla nośnika o jednakowej gęstości cel zmiana przebiega w sposób płynny, ponieważ brak podziału filtra na sekcje nie powoduje spiętrzenia ciśnienia w obszarach granicznych.



Rys. 7. Absolutne ciśnienie przepływu dla nośnika pojedynczego w końcowej fazie symulacji

Temperatura nośnika

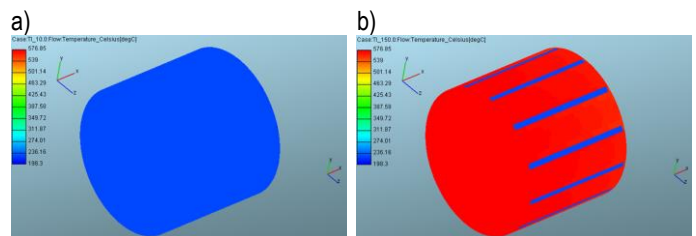
W początkowej fazie symulacji nośnik osiąga jednakową temperaturę na całej powierzchni. Zmianę w rozkładzie wartości zauważono dopiero po 80 s symulacji (Rys. 8a). Zwiększona temperatura w obszarze wlotu filtra spowodowana jest wartością ciśnienia. W końcowym etapie symulacji rozkład temperatury nośnika jest równomierny na całej jego powierzchni i odpowiada wartości zbliżonej do temperatury gazów wylotowych silnika o zapłonie iskrowym (Rys. 8b). Osiągnięcie odpowiedniej temperatury jest czynnikiem niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania filtra w aspekcie regeneracji pasywnej.



Rys. 8. Temperatura nośnika: a) w początkowej fazie symulacji, b) w końcowej fazie symulacji

Temperatura przepływu

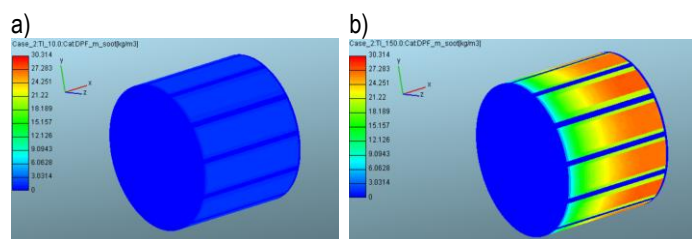
Temperatura przepływu na początku symulacji wynosi około 200°C i wzrasta wraz z czasem jej trwania (Rys. 9a). W ostatniej sekundzie symulacji widoczna jest różnica temperatury pomiędzy ściankami cel oraz elementami, przez które następuje przepływ gazów wylotowych (Rys. 9b). Zarówno na końcu jak i na początku symulacji rozkład temperatury przepływających gazów jest równomierny.



Rys. 9. Temperatura przepływu: a) w początkowej fazie symulacji, b) w końcowej fazie symulacji

Stężenie zgromadzonej sadzy

W początkowej fazie symulacji stężenie sadzy było największe dla filtra pojedynczego i wynosiło około 3 kg/m³ (Rys. 10a). Z końcem symulacji stężenie osiągnęło wartość niecałkowicie 30 kg/m³ (Rys. 10b). Zwiększone gromadzenie sadzy w obszarze wlotu filtra wynikać może z niewystarczającej temperatury gazów wylotowych niezbędnej do jej utlenienia, w przeciwieństwie do obszaru wlotu nośnika.

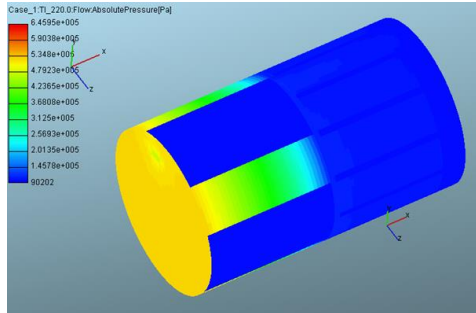


Rys. 10. Stężenie sadzy zgromadzonej w filtrze: a) w początkowej fazie symulacji, b) w końcowej fazie symulacji

4.2. Filtr podwójny

Absolutne ciśnienie przepływu

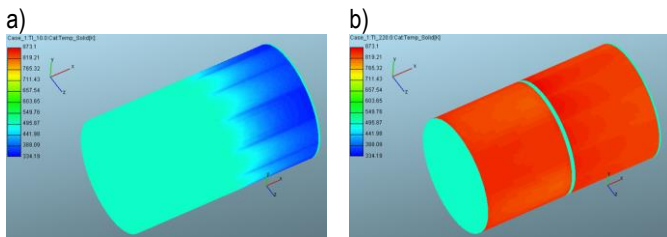
Wartości absolutnego ciśnienia przepływu przez filtr podwójny zbliżone są do wartości zarejestrowanych w przypadku filtra pojedynczego. Zarówno na początku, jak i na końcu symulacji, największe wartości występują w obszarze wlotu filtra, co związane jest z koniecznością pokonania oporów przepływu przez strukturę nośnika (Rys. 11). W przeciwieństwie do filtra z jednakową gęstością cel, filtr o podwójnej strukturze nie charakteryzuje się równomiernym rozkładem ciśnienia.



Rys. 11. Absolutne ciśnienie przepływu dla filtra podwójnego w końcowej fazie symulacji

Temperatura nośnika

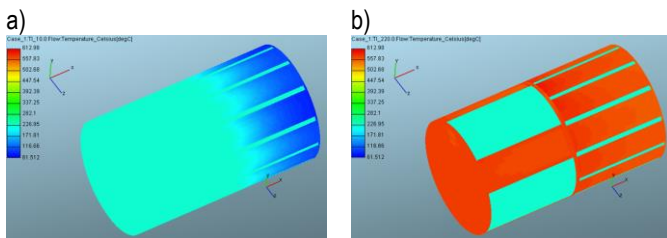
W początkowej fazie symulacji temperatura pierwszego nośnika wynosi około 200°C, następuje także stopniowe rozgrzewanie filtra kolejnego (Rys. 12a). Występowanie połączeni pomiędzy dwiema częściami filtra nie ma wpływu na stopień rozgrzania całego elementu, co widoczne jest w końcowym etapie badań (Rys. 12b).



Rys. 12. Temperatura nośnika: a) w początkowej fazie symulacji, b) w końcowej fazie symulacji

Temperatura przepływu

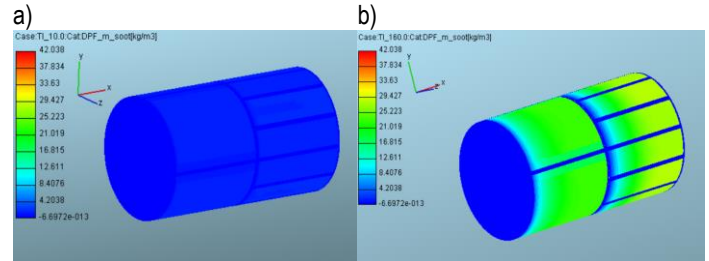
Graficzne przedstawienie temperatury przepływu jest zbliżone do temperatury nośnika, ponieważ przepływające przez nośnik gazy wylotowe mają bezpośredni wpływ na sposób i prędkość nagrzewania się filtra. Różnica w temperaturze przepływu widoczna jest w przypadku elementów struktury filtra, na których temperaturę mniejszy wpływ ma strumień przepływających gazów (Rys. 13).



Rys. 13. Temperatura przepływu: a) w początkowej fazie symulacji, b) w końcowej fazie symulacji

Stężenie zgromadzonej sadzy

Wartości stężenia zgromadzonej sadzy są zbliżone do uzyskanych w przypadku filtra o nieziennej gęstości cel. Świadczy to o tym, iż w początkowej fazie symulacji nie ma znaczenia zmiana parametrów technicznych na długości filtra (Rys. 14a). Porównanie wyników uzyskanych w końcowym etapie symulacji świadczy o pozytywnym wpływie zastosowania drugiego nośnika. Zawartość sadzy zgromadzonej w obszarze wylotu filtra została obniżona o około 5 kg/m³ (Rys. 14b).

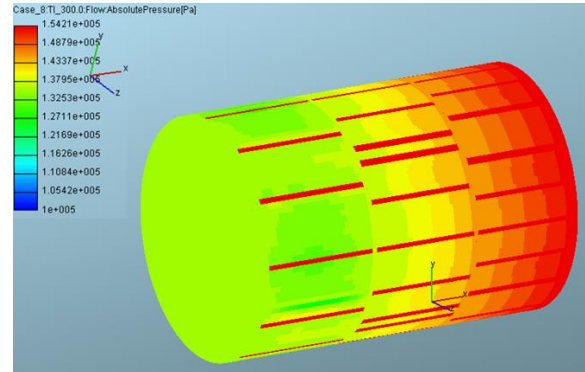


Rys. 14. Stężenie sadzy zgromadzonej w filtrze: a) w początkowej fazie symulacji, b) w końcowej fazie symulacji

4.3. Filtr potrójny

Absolutne ciśnienie przepływu

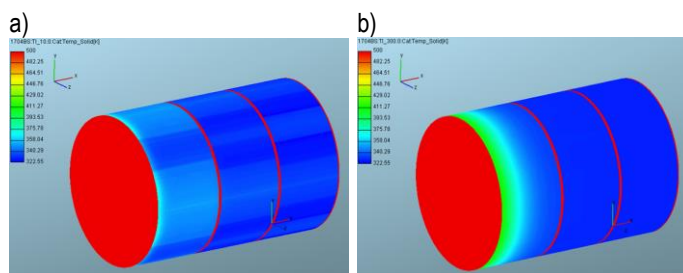
Ciśnienie gazów wylotowych stopniowo przyrasta z długością filtra, symulacja nie wykazuje spiętrzenia ciśnienia pomiędzy segmentami nośnika (Rys. 15). Jedynie w pierwszym członie ciśnienie jest w przybliżeniu stałe, zwiększając się tylko na nieprzepuszczalnych ściankach stanowiących szkielet nośnika. Miejsce, w którym następuje zmiana wartości CPSI cechuje się występowaniem wyraźnej granicy, po której ciśnienie przepływu ulega zwiększeniu.



Rys. 15. Absolutne ciśnienie przepływu dla nośnika potrójnego w końcowej fazie symulacji

Temperatura nośnika

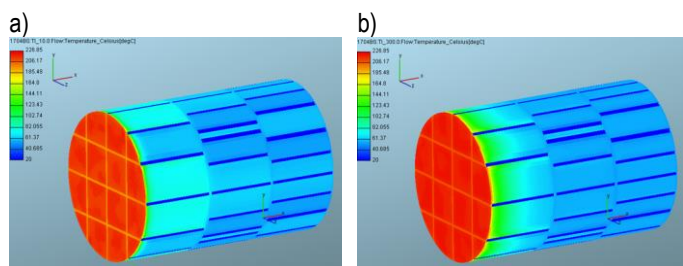
Nierównomierności w nagrzewaniu się nośnika wynikają z jego budowy wewnętrznej, która charakteryzuje się występowaniem nieprzenikalnych wzmocnień w strukturze filtra, niezbędnych do zachowania odpowiedniej wytrzymałości. W przypadku temperatury nośnika przepływ gazów wylotowych spowodował rozgrzanie obszaru wlotu nośnika (Rys. 16a). Wraz z upływem czasu jego zewnętrzne ścianki nie zostały dogrzane w sposób istotny przez przepływające gazy. Skutkiem tego na cząstki najsilniej oddziaływał pierwszy człon symulowanego nośnika.



Rys. 16. Temperatura nośnika: a) w początkowej fazie symulacji, b) w końcowej fazie symulacji

Temperatura przepływu

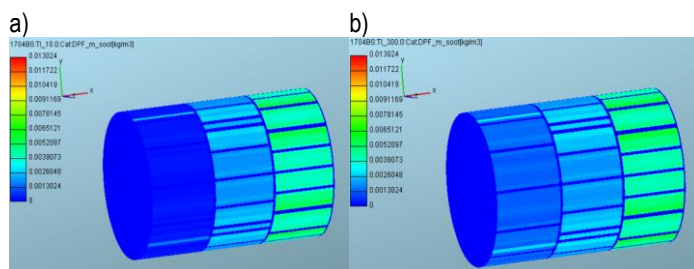
W początkowej fazie symulacji nie zaobserwowano znacznego rozgrzania filtra przy ściankach zewnętrznych, gazy wylotowe przepływają głównie centralną częścią nośnika. Warstwa rozgrzanego nośnika jest bardzo wąska i obejmuje sam wlot filtra (Rys. 17a). W ostatniej sekundzie symulacji rozgrzanie filtra jest stosunkowo niewielkie, większość strumienia gazów wylotowych nadal kierowana jest centralną częścią nośnika, nie rozgrzewając jego zewnętrznych obszarów. Nagrzana warstwa zwiększyła się do połowy pierwszego członu. Temperatura pozostałych fragmentów filtra uległa niewielkiemu zwiększeniu (Rys. 17b). Temperatura przepływu w początkowej fazie symulacji osiąga największe wartości na wlocie filtra, analogicznie do ciśnienia absolutnego. Różnica pomiędzy temperaturą wlotu i wylotu jest porównywalna dla początku i końca symulacji. Świadczy to o stałym charakterze rozkładu temperatury podczas pracy filtra.



Rys. 17. Temperatura przepływu: a) w początkowej fazie symulacji, b) w końcowej fazie symulacji

Stężenie zgromadzonej sadzy

Masa cząstek stałych w czasie przyrasta we wszystkich częściach, najszybciej zapełnia się ostatni segment o największym CPSI, co jest już widoczne w 10s (Rys. 18a). Dopiero po upływie czasu cząstki zbierają się także w pierwszych członach, gdzie kanały posiadają większe średnice hydrauliczne (Rys. 18b).



Rys. 18. Stężenie sadzy zgromadzonej w filtrze: a) w początkowej fazie symulacji, b) w końcowej fazie symulacji

Podsumowanie i analiza wyników

Ciągle zaostrzanie przepisów dotyczących emisji szkodliwych i toksycznych składników spalin powoduje konieczność udoskonalenia i opracowania nowych metod oczyszczania gazów wylotowych. Jako wynik symulacji graficznie przedstawiono rozkład ciśnienia absolutnego, temperatury nośnika oraz przepływających gazów, a także stężenie sadzy zgromadzonej podczas trwania symulacji.

Biorąc pod uwagę wszystkie rozważane aspekty obliczeń, najlepsze rezultaty uzyskano dla filtra podwójnego. Rozłożenie procesu filtracji na etapy pozwoliło na równomierny rozkład cząstek na przestrzeni nośnika, co usprawnia proces regeneracji i zapobiega nadmiernej niedrożności kanałów. Pomimo najmniejszego stężenia masy cząstek w filtrze potrójnym, osiągnięta w nim temperatura jest niewystarczająca do przeprowadzenia procesu utleniania sadzy, co skutkować może utratą drożności filtra, a w konsekwencji jego zniszczeniem w krótkim okresie eksploatacji. Ponadto, wraz z osadzeniem się cząstek stałych na powierzchni nośnika, następuje wzrost wydajności filtracji. Sadza zgromadzona w filtrze działa na zasadzie czynnika filtrującego [11]. Pomiedzy filtrem pojedynczym i podwójnym zanotowano nieznaczne rozbieżności w wartościach temperatury przepływu oraz nośnika. Niewielką przewagę w tym zakresie zarejestrowano dla filtra podwójnego. Zastosowanie członu nośnika i zmiennej gęstości cel nie spowodowało zmniejszenia sprawności filtracji. Stanowi to podstawę do dalszego badania tej koncepcji. Nośnik potrójny nie spełnia oczekiwań w aspekcie temperatury koniecznej do przeprowadzenia procesu regeneracji filtra, w wyniku czego dalszych rozważań jego skuteczności nie przeprowadzono.

Omawiane koncepcje budowy nośnika filtra cząstek stałych stanowią model teoretyczny, ponieważ na chwilę obecną nie opracowano technologii umożliwiającej produkcję elementu o zaproponowanej konstrukcji. W przemyśle długi czas dominować będą filtry tradycyjne, stosowane seryjnie od lat 80-tych w przypadku silników o zapłonie samoczynnym, lecz z uwagi na popularyzację jednostek zasilanych bezpośrednim wtryskiem benzyny, a co za tym idzie zwiększenia emisji cząstek stałych o małych średnicach, należy poszukiwać rozwiązań umożliwiających udoskonalenie technik filtracyjnych.

Bibliografia

1. Aikawa K., Jetter JJ., Impact of gasoline composition on particulate matter emissions from a direct-injection gasoline engine: Applicability of the particulate matter index. *Int. J. Engine Res.*, 15, p. 298–306, 2013
2. AVL Fire 2014.2 software, AVL AST Documentation
3. Fuć P., Lijewski P., Sokolnicka B., Siedlecki M., Szymlet N., Analysis of exhaust gas flow through a particulate filter in the exhaust of the spark ignition direct injection engine, *AIP Conference Proceedings* 2078, 020088, 2019
4. Gatti AM., Montanari S., Nanopathology, The health impact of nanoparticles, Taylor & Francis Group, LLC, 2008
5. Fuć P., Lijewski P., Siedlecki M., Sokolnicka B., Szymlet N., Analysis of particle mass and numer emission from an SI engine with direct fuel injection and a particulate filter, *IOP Conference Series: Materials Science Engineering*, vol. 421, (2018)
6. Merkisz J., Pielecha J., Lijewski P., Merkisz-Guranowska A., Nowak M., Jacyna M., Lewczuk K., Żak J., Exhaust emission measurements in the development of sustainable road transport, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 20, No. 2, 2013
7. Nowak M., Pielecha J., Comparison of exhaust emission on the basis of Real Driving Emissions measurements and simulations,

- VII International Congress on Combustion Engines, MATEC Web Conf. Vol. 118, 2017
8. Pielecha J., Merkisz J., Markowski J., Jasiński R., Analysis of Passenger Car Emission Factors in RDE Tests, 1st International Conference on the Sustainable Energy and Environment Development SEED 2016
 9. Raza M., Chen L., Leach F., Ding S., A Review of Particulate Number (PN) Emissions from Gasoline Direct Injection (GDI) Engines and Their Control Techniques, *Energies* 6, 2018
 10. Sokolnicka B., Szymlet N., Fuć P., Lijewski P., Siedlecki M., Analysis of specific emission of exhaust gases from gasoline direct injection engine in real operation conditions and on dynamic engine dynamometer, 2018 International Interdisciplinary PhD Workshop, IIPhDW 2018
 11. Tandon P., Heibel A., Whitmore J., Kekre N., Chithapragada K., Measurement and prediction of filtration efficiency evolution of soot loaded diesel particulate filters, *Chemical Engineering Science* 65, 16, 4751-4760, 2010

Analysis of the simulation results of various particulate filter configurations in exhaust system of a spark-ignition engine

The article presents the results of exhaust gas flow simulation by three configurations of a ceramic support placed in the engine exhaust system. The carriers differed in the cell density parameters along the entire length of the filter. A filter with a fixed CPSI (Cell per Square Inch) parameter, a filter with two different cell densities and a triple support were tested. For each element of the filter, boundary conditions have been introduced, which define the nature of the flow and define the type of surface of a given element. The composition

of the exhaust gases whose flow is simulated was also determined. The initial conditions of the simulation include data on pressure, temperature and velocity. AVL Fire Aftertreatment was used to carry out the simulation. The program is a leading tool for CFD simulation in the field of internal combustion engines.

Keywords: CFD simulation, GPF, PM emission.

Autorzy:

mgr inż. **Barbara Sokolnicka** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, e-mail: barbara.d.sokolnicka@doctorate.put.poznan.pl

prof. nadzw. dr hab. inż. **Paweł Fuć** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu

mgr inż. **Natalia Szymlet** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu

mgr inż. **Maciej Siedlecki** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu

Badania finansowane przez Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Regionalnego – Lubuskie 2020 (RPLB.01.01.00-08-0055/16-00).

The research was funded by project co-financed by the European Regional Development Fund in the Regional Program – Lubuskie 2020 (RPLB.01.01.00-08-0055/16-00).



Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego

