

FILTRY SADZY (DPF) W AUTOBUSACH MIEJSKICH O DUŻEJ EMISJI CZĄSTEK

Włodzimierz TYLUS, Juliusz WINIARSKI
Instytut Technologii Nieorganicznej i Nawozów Mineralnych,
Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska
50-370 Wrocław, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27
tylus@pwr.wroc.pl

STRESZCZENIE

Wykonano testy odporności termiczno-mechanicznej żaroodpornych metalicznych włókien przeznaczonych do filtracji cząstek stałych ze spalin silników Diesla. Wyselekcjonowaną włókninę zastosowano do konstrukcji prototypowych urządzeń filtracyjnych (DPF) zamontowanych w autobusach miejskich IKARUS, JELCZ i MAN we Wrocławiu. Skuteczność filtracji cząstek stałych mieści się w przedziale 70-90%. Pneumatyczną regenerację DPF wykonywano nie częściej niż raz w tygodniu.

1. Wstęp

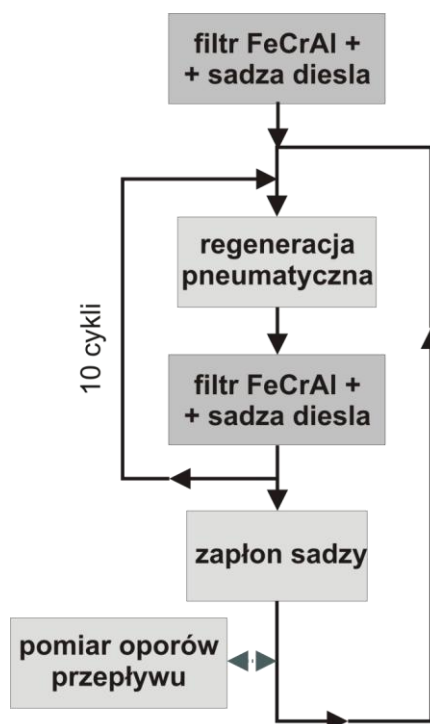
Według Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (EPA) za „sadzę Diesla” uważa się wszystkie związki jakie zostaną wychwycone przez filtr z rozcieńczonych gazów spalinowych w temperaturze niższej od 500°C. W wykazie EPA umieszczono 10000 związków chemicznych. Wśród nich szczególną uwagę zwracają wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). Większość z nich sklasyfikowano jako silnie mutagenne lub kancerogenne, a do organizmu ludzkiego przedostają się poprzez układ oddechowy [1]. Według obecnie obowiązującej normy wskaźnik emisji cząstek stałych nie może przekroczyć 0,02 g/kWh, a według kolejnej normy Euro 6, przewidywanej na 2013 r. – 0,01g/kWh [2]

Doceniając wagę problemu zanieczyszczenia środowiska i dużej szkodliwości zdrowotnej emitowanych spalin, w aglomeracji wrocławskiej zawiązało się konsorcjum naukowo-przemysłowe, którego celem jest „Pilotażowe wdrożenie metody oczyszczania gazów spalinowych z silników z zapłonem samoczynnym o wysokiej emisji cząsteczkowej”. W skład konsorcjum wchodzi: Politechnika Wrocławska, Wydział Chemiczny, Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacji Sp. z o. o. we Wrocławiu oraz Cuprum Business Center Sp. z o.o. we Wrocławiu. Konsorcjum prowadzi kompleksowe prace począwszy od opracowania metody oczyszczania spalin, doboru właściwych materiałów filtracyjnych, projektów urządzeń i ich wykonawstwa oraz testów. Zakres prezentowanych badań przewiduje instalowanie filtrów cząstek stałych (DPF) w już eksploatowanych autobusach miejskich. Ze względu na uwarunkowania przestrzenne zastanego układu wydechowego, a przede wszystkim uwarunkowania ekonomiczne, przewidywane urządzenia filtracyjne muszą być tanie i zajmować mało miejsca. Dlatego też nie zdecydowano się na powielanie znanych rozwiązań DPF z samochodów osobowych, w których regeneracja odbywa się *on-line*, poprzez dodatkowy wtrysk paliwa i wypalenie sadzy. Zaproponowano regenerację pneumatyczną, tj. przedmuchiwanie lub odsysanie „zapchanego” filtra, z odbiorem wydzielonej sadzy. Taką regenerację przeprowadzałoby się podczas postoju autobusu, w zajezdni, wykorzystując jej infrastrukturę, zwłaszcza instalację sprężonego powietrza. Podstawową wadą proponowanego rozwiązania jest konieczność uciążliwej, okresowej regeneracji filtra. Optymalny filtr tego typu powinien więc być kompromisem pomiędzy

oczekiwaną skutecznością filtracji, możliwie długim okresem pracy pomiędzy regeneracjami wkładów oraz akceptowalnymi oporami przepływu spalin przez filtr, zwłaszcza w końcowej fazie jego pracy.

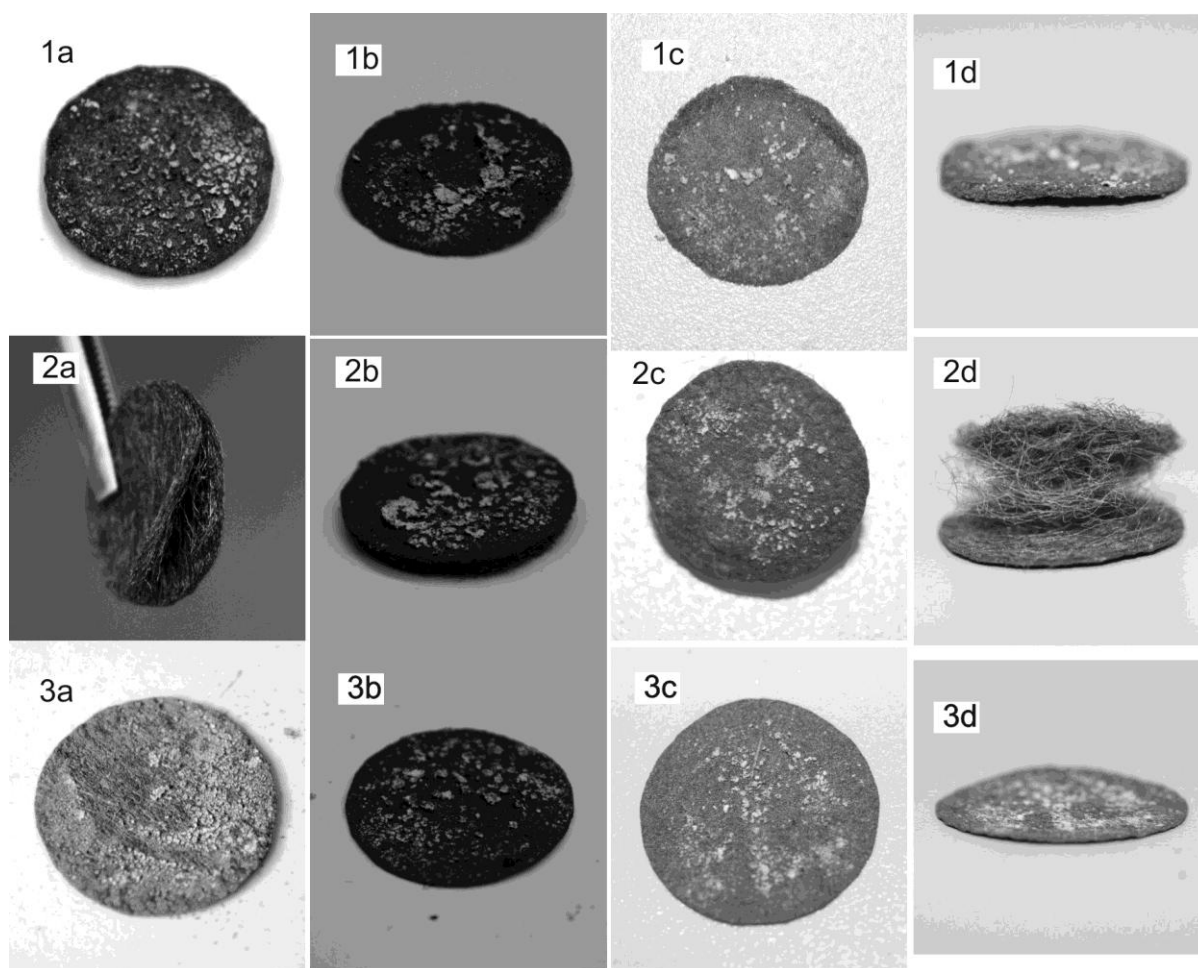
2. Przebieg badań laboratoryjnych

W pracy zamieszczono wyniki badań sprawdzających odporność termiczno-mechaniczną wyselekcjonowanych wcześniej włókien żaroodpornych [3], w wielokrotnych cyklach gromadzenia sadzy na powierzchni filtrów, jej samozapłonu i regeneracji pneumatycznej. Zastosowanie żaroodpornych stopów FeCrAl pozwala na długotrwałą ich pracę w warunkach podwyższonej temperatury (folie FeCrAl są powszechnie stosowane jako nośniki w trójfunkcyjnych katalizatorach spalin). Wykonywane z żaroodpornych stopów włókniny filtracyjne o grubościach włókien od 1 do 100 μm , o różnych splotach i różnym stopniu sprasowania są jednak zdecydowanie delikatniejsze niż monolity FeCrAl w katalizatorach trójfunkcyjnych. Stąd konieczność testów łączących aspekty odporności termicznej z odpornością mechaniczną. W testach tych uwzględniono możliwość niekontrolowanego samozapłonu nagromadzonej w filtrze sadzy, który dodatkowo podnosi lokalnie temperaturę filtra. Schematycznie przebieg tych badań przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat przebiegu testów na odporność termiczno-mechaniczną włókien filtracyjnych

Na rys. 2 przedstawiono zdjęcia próbek trzech rodzajów metalicznych włókien żaroodpornych, które wizualizują ich zachowanie w opisywanym wyżej teście wytrzymałości termiczno-mechanicznej. Prezentowane włókniny oznaczone symbolami BEC, BEG i KOR posiadały zbliżoną wysoką odporność temperaturową, dla wszystkich nie zaobserwowano stapiania ani spiekania włókien. Dowodem są prezentowane na rys. 3 zdjęcia SEM oraz analizy EDX powierzchni próbek włókien po omówionych wyżej (rys. 1) testach odporności mechaniczno-termicznej.

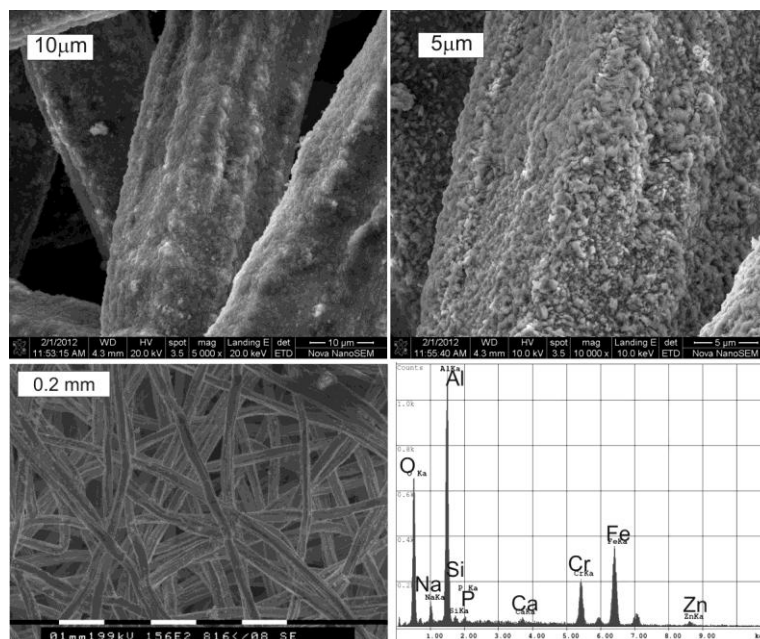


Rys. 2. Zdjęcia próbek żaroodpornych włóknin filtracyjnych w cyklach: filtracja sadzy – pneumatyczna regeneracja – samozapłon: 1 - BEG, 2 - BEC, 3 - KOR,

a) po 20 „przypadkowych” samozapłonach w 700°C, b) po kolejnych 10 samozapłonach w 900°C, c), d) po 20 samozapłonach w 900°C

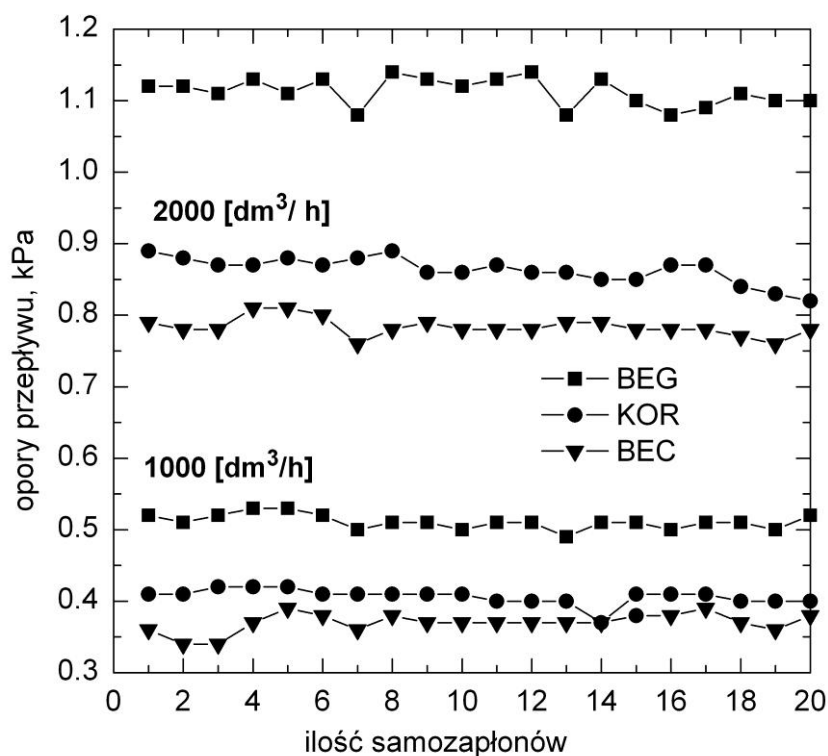
Dodatkowo analizy EDX potwierdzają brak odkładania się na powierzchni filtra, po regeneracji pneumatycznej, składników spopielonej sadzy diesla takich jak Si, S, Ca, P, które w przyszłości mogłyby przyspieszać korozję, nieodwracalnie zapychać filtr oraz obniżać żaroodporność stopu FeCrAl.

Odporność mechaniczna była już jednak zróżnicowana. Włóknina oznaczona jako BEG okazała się najsłabszą. Być może wynikało to ze złożonej, dwuwarstwowej struktury tego materiału, o całkowitej grubości 2 mm. Pierwszą warstwę stanowiły sprasowane grubsze włókna, o średnicy 20 μm . Większe pory w tej warstwie filtracyjnej umożliwiały objętościowe zatrzymywanie większej ilości cząstek sadzy. Widoczną w głębi drugą warstwę stanowiły włókna o średnicy 5 μm , jej celem było ostateczne powierzchniowe zatrzymanie sadzy [3]. Częściowe rozwarstwienie tej włókniny zaobserwowano już w 700°C, a w 900°C zaobserwowano destrukcję jako filtra (rys. 2a i 2d). Natomiast włóknina oznaczona symbolem KOR (grubość 0,3 mm i jednolita struktura włókien 20 μm) nawet powyżej 900°C nie wykazywała oznak zużycia mechanicznego.

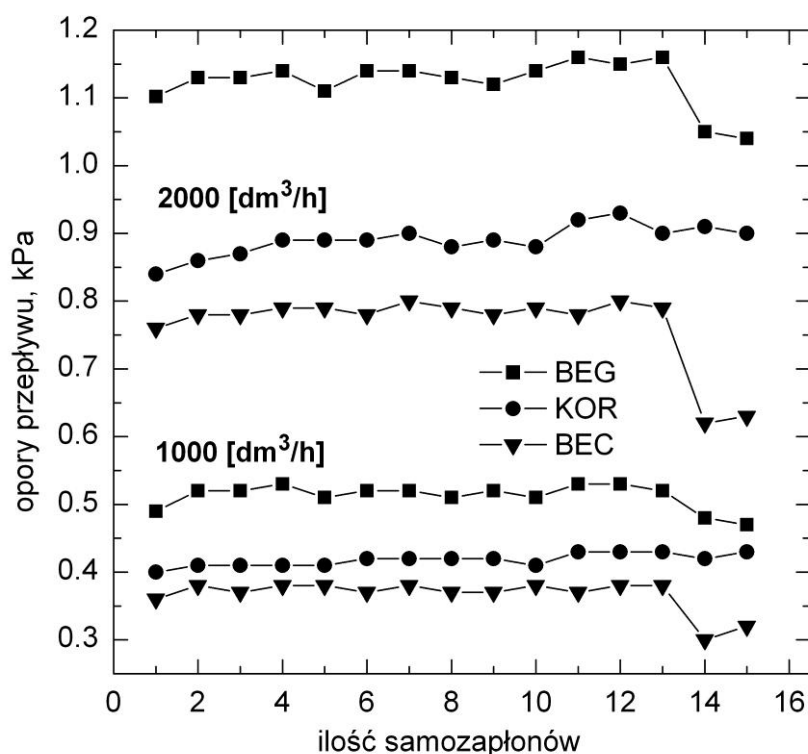


Rys. 3. SEM oraz EDX włókniny filtracyjnej FeCrAl (ozn. KOR) po testach odporności termiczno-mechanicznej w 900°C

Obserwacje te zgodne są z wynikami skuteczności filtracyjnej, której miarą był opór przepływu spalin przez badane próbki włóknin (rys. 4 i 5).



Rys. 4. Zależność oporów przepływu spalin przez różne włókniny filtracyjne od ilości samozapłonów sadzy, przy obciążeniu filtrów spalinami 2000 oraz 1000 dm³/h i temperaturze samozapłonu sadzy 700°C

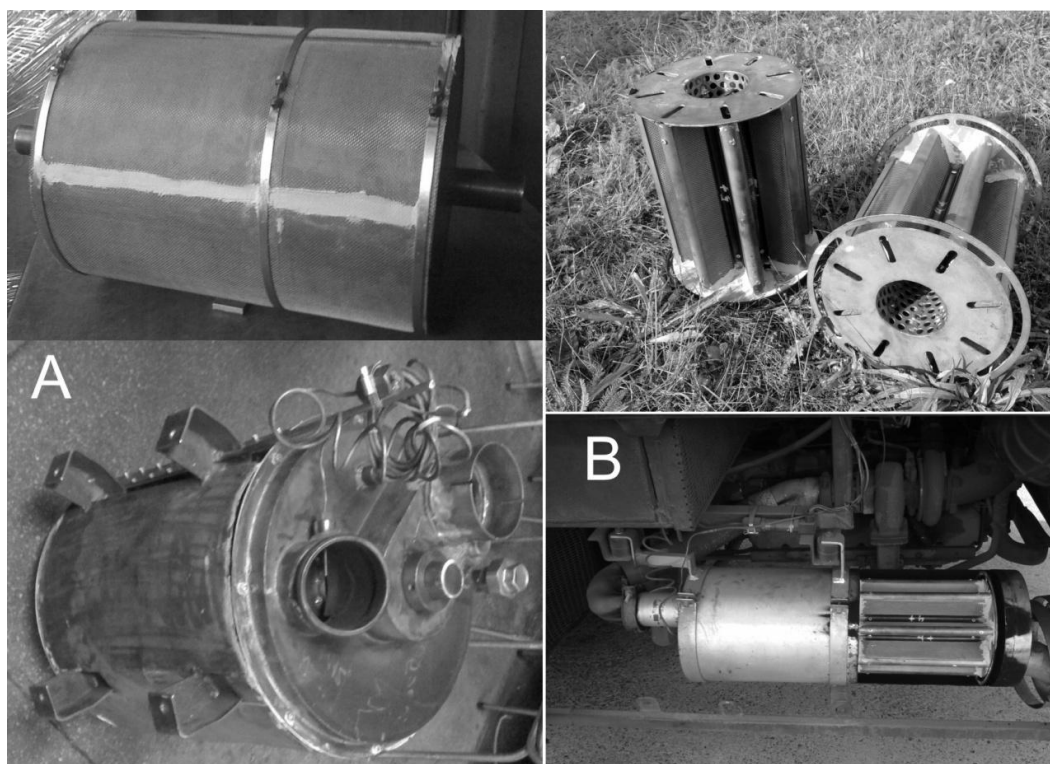


Rys. 5. Zależność oporów przepływu spalin przez różne włókny filtracyjne od ilości samozapłonów sadzy, przy obciążeniu filtrów spalinami 2000 oraz 1000 dm³/h i temperaturze samozapłonu sadzy 900°C

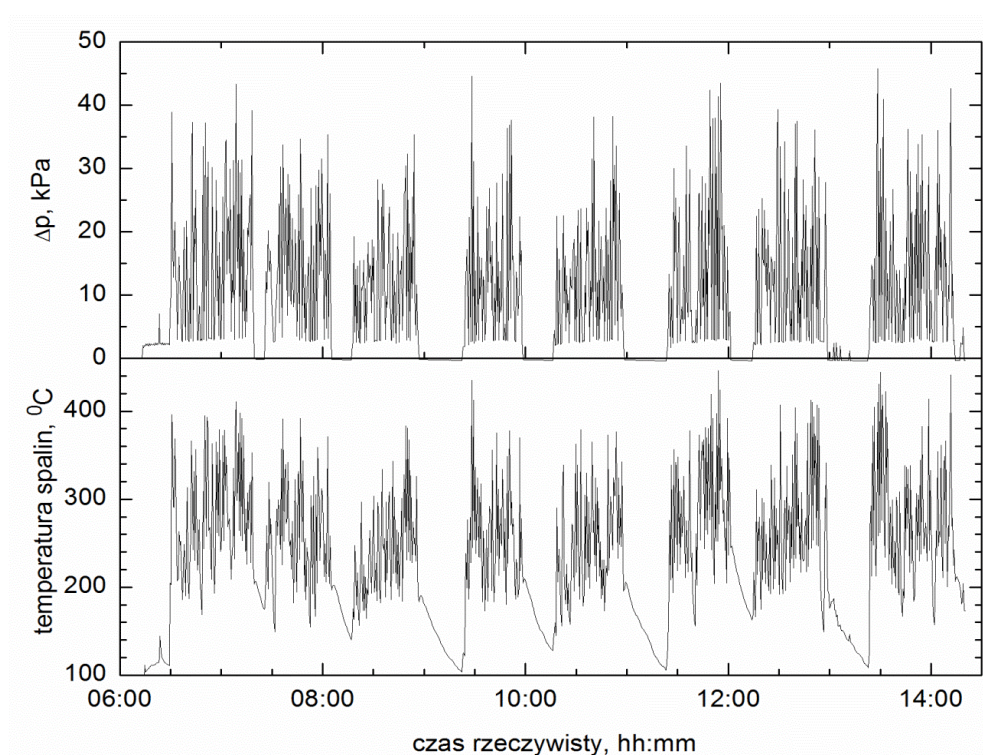
Spalając sadzę w temperaturze 700°C nie stwierdzono istotnych zmian w oporach przepływu na żadnej z próbek. Po podniesieniu temperatury do 900°C, po 13 zapłonach sadzy zauważono spadek oporów dla włókny BEG oraz BEC. Oprócz rozwarstwienia opisywanego wcześniej, zaobserwowano również wyraźne rozluźnienie włókien, skutkujące spadkiem oporów przepływu oraz pogorszeniem zdolności filtracyjnej. Nie stwierdzono tych mankamentów w włóknie KOR.

3. Wyniki badań prototypowych filtrów sadzy (DPF) w ruchu ulicznym

Na podstawie zebranych doświadczeń laboratoryjnych oraz nieprezentowanych tutaj badań stacjonarnych, skonstruowano prototypowe urządzenie DPF, przeznaczone do autobusów MAN, które zamontowano w rejsowym autobusie MPK we Wrocławiu (rys. 6A). Przy konstrukcji wkładu filtracyjnego wykorzystano również doświadczenia zdobyte podczas badań ruchowych prototypu DPF zamontowanego w autobusie IKARUS [3] oraz JELCZ (rys. 6B). Przede wszystkim, w porównaniu z wcześniejszymi rozwiązaniami zmieniono metodę regeneracji. Zamiast ciśnieniowego przedmuchiwania zapchanego sadzą filtra zdecydowano się na podciśnieniowe odsysanie sadzy. Odsysanie okazało się równie efektywną metodą regeneracji co przedmuchiwanie. Jednocześnie było zdecydowanie korzystniejsze ponieważ wykonywano je bez demontażu wkładów filtracyjnych, a sadzę zbierano bezpośrednio do worków filtracyjnych. Pełny cykl regeneracji nie zajmował więcej niż pół godziny. Regeneracja bez demontażu była możliwa dzięki zastosowaniu obrotowego wkładu filtracyjnego (rys. 6A). Dostęp do zgromadzonej sadzy zapewniało okienko w obudowie urządzenia, każdorazowo odkręcane podczas regeneracji.



Rys. 6. A) wkład filtracyjny obrotowy (góra) oraz gotowe urządzenie filtracyjne przed montażem w autobusie MAN (dół);
B) wkłady filtracyjne plisowane zamontowane w autobusie JELCZ



Rys. 7. Zmienność temperatury i oporów przepływu przez filtr w czasie – przykładowy wycinek pracy DPF w autobusie MAN (linia 149, MPK Wrocław)

Od kwietnia 2012 trwają badania eksploatacyjne. Na bieżąco kontrolowane są opory przepływu spalin przez filtr, jak również temperatura spalin i filtra (rys. 7). Okresowo mierzony jest stopień nieprzeżroczystości spalin będący miernikiem skuteczności filtracji cząstek stałych. Nie zaobserwowano samozapłonu sadzy, który ewentualnie pozwoliłby ocenić odporność termiczną zastosowanych materiałów w warunkach rzeczywistych. Jednak rejestrowane temperatury spalin, jak dotąd, nie przekraczały 440°C, i to tylko w krótkich impulsach, co nie wystarczało do samozapłonu sadzy (ok. 550°C).

4. Podsumowanie

- Okresowa regeneracja przeprowadzana jest na zajezdni autobusowej bez demontażu wkładów filtracyjnych.
- Regeneracja wykonywana jest nie częściej niż raz w tygodniu.
- Opory przepływu spalin utrzymywane są w bezpiecznym przedziale 2-40 kPa.
- Średnia skuteczność filtracji mieści się w przedziale 70-90%.
- Po 2 miesiącach eksploatacji nie stwierdzono pogorszenia własności filtracyjnych zamontowanego DPF.

Prace zostały zrealizowane w ramach Projektu Rozwojowego Nr NR05-0063-06/2010 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Literatura

1. <http://www.catf.us/diesel/dieselhealth>, Diesel Soot Health Impact
2. <http://www.dieselnet.com/standards/eu>, Normy emisji Unii Europejskiej
3. Tylus W., Winiarski J.: Nowe membrany filtracyjne do usuwania cząstek stałych ze spalin silników wysokoprężnych, *Przemysł Chemiczny* 2011, 90/5.