

Marta Wójcik

Technologie recyklingu filtrów cząstek stałych (DPF) z wyeksploatowanych autobusów z silnikiem wysokoprężnym

Rosnące wymagania w zakresie ochrony środowiska wymusiły na producentach pojazdów stosowanie odpowiednich rozwiązań technicznych w celu ograniczenia emisji spalin. Od 2000 r. w pojazdach z silnikiem wysokoprężnym diesla, w tym również w autobusach, stosuje się filtry cząstek stałych (DPF). Istota działania wspomnianych filtrów polega na utlenianiu węglowodorów i węgla do nieszkodliwych związków: wody, powietrza oraz dwutlenku węgla. Z uwagi na zawartość platyny i innych metali szlachetnych ceny filtrów cząstek stałych dla autobusów wynoszą nawet kilkadziesiąt tysięcy złotych. Z tego względu po zakończeniu eksploatacji pojazdu, z punktu widzenia ekonomii i gospodarki materiałami, niezbędny jest odzysk metali zawartych w filtrach DPF. W artykule zaprezentowano metody recyklingu filtrów DPF z wyeksploatowanych pojazdów, w tym również autobusów. Odzysk platyny i innych metali ze wspomnianych filtrów jest istotnym krokiem w kierunku ograniczenia ilości powstających odpadów oraz ochrony zmniejszających się zasobów metali na świecie.

Słowa kluczowe: filtr cząstek stałych DPF, recykling, odzysk metali, przemysł motoryzacyjny.

Wstęp

Problematyka transportu publicznego i związanych z nim zagrożeń jest szeroko omawiana w licznych opracowaniach naukowych [1, 6, 12]. Oprócz niewątpliwych zalet środków transportu publicznego, związanych z przemieszczaniem ludzi i towarów, należy również uwzględnić ich potencjalnie szkodliwe oddziaływanie. Wśród wszystkich zanieczyszczeń emitowanych przez pojazdy cząstki stałe – z uwagi na udowodnione działanie kancerogenne – są szczególnie niebezpieczne dla człowieka i środowiska.

Termin cząstki stałe odnosi się do ubocznych produktów niecałkowitego spalania oleju napędowego w silniku o wielkości w zakresie od kilku do kilkadziesiąt mikrometrów. Pod względem składu chemicznego cząstki stałe zbudowane są głównie z sadzy i węglowodorów oraz siarczanów i tlenków metali [1]. Studium literaturowe oraz doświadczenia eksploatacyjne potwierdziły wysoką zdolność cząstek stałych do adsorpcji produktów niespalonego paliwa oraz oleju silnikowego [4], co jest szczególnie niebezpieczne dla zdrowia ludzi i poszczególnych komponentów środowiska.

Coraz wyższe wymagania dotyczące ograniczenia emisji spalin z pojazdów oraz potrzeba zredukowania ich szkodliwego wpływu są jednymi z głównych przyczyn uzasadniających stosowanie filtrów cząstek stałych w samochodach i autobusach z silnikami wysokoprężnymi, tzw. silnikami diesla. Filtr cząstek stałych, w skrócie FAP (franc. *filtre à particules*) lub DPF (ang. *Diesel Particulate Filter*), to urządzenie służące do zatrzymywania i neutralizacji cząstek sadzy, emitowanych przez pojazdy z silnikiem wysokoprężnym [12]. Obowiązek stosowania przez producentów filtra DPF w pojazdach napędzanych olejem napędowym wymusiła norma Euro 4, która prawie dwukrotnie ograniczyła emisję

NO_x w stosunku do wcześniejszych wymagań (tab. 1) [18]. Zaostrożenie standardów emisyjnych we wspomnianej normie Euro spowodowało, że redukcja ilości spalin była możliwa tylko dzięki montażowi filtra DPF. Według Stępnia i Oleksiaka [13] sprawnie działający filtr pozwala zatrzymać średnio 95–99% cząstek stałych. Dodatkową zaletą obecności wspomnianego urządzenia w samochodach i autobusach jest ograniczenie zjawiska tzw. czarnego dymienia, charakterystycznego dla pojazdów z silnikiem diesla [24].

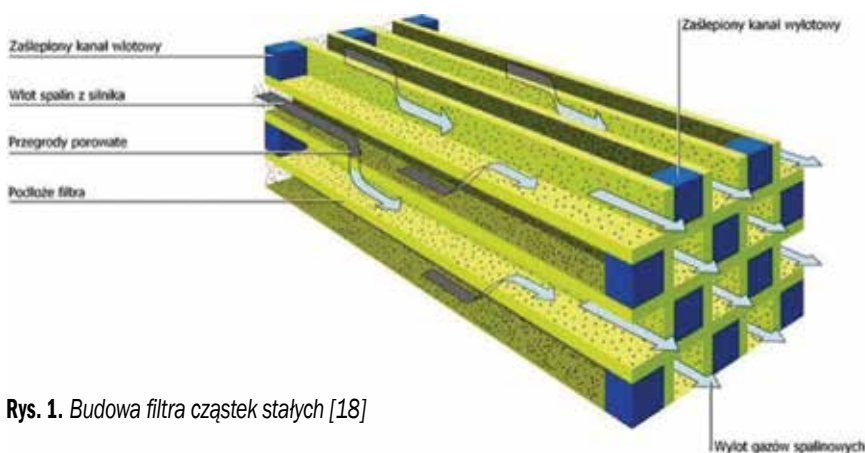
Filtry cząstek stałych są obowiązkowym elementem układu wydechowego wszystkich nowoczesnych autobusów z silnikiem wysokoprężnym. Dzięki obecności wspomnianego filtra DPF autobus wykazuje większą przydatność w transporcie, zwłaszcza o zasięgu międzynarodowym. Zmniejszona dzięki montażowi filtra emisja spalin umożliwia wjazd do wielu miast Europy. Jest to o tyle istotne, że największe europejskie miasta oraz większość miejscowości w Niemczech wprowadziły zakaz wjazdu autobusów posiadających niską normę emisji. Przykładowo: autobusy charakteryzujące się normą Euro poniżej 3 nie mogą wjechać m.in. do Berlina, Lizbony, Pragi, Rzymu, Sztokholmu oraz Kopenhagi. Również Rosja wprowadziła zakaz importu autobusów o normie Euro mniejszej niż 4. Ograniczenie emisji spalin z pojazdów wiąże się również z niższymi opłatami ViaToll oraz podatkami za środki transportu [17].

Pomimo niewątpliwych zalet związanych z redukcją zanieczyszczeń do środowiska filtry DPF należą do jednych z najdroższych elementów pojazdu. Ceny nowych filtrów cząstek stałych dla autobusów wynoszą z reguły kilkadziesiąt tysięcy złotych, przy czym koszt ich zakupu może dochodzić nawet do połowy wartości pojazdu [22]. Wysoką cenę wspomnianych filtrów uzasadnia obecność platyny i innych metali szlachetnych. Analiza literatury przedmiotu potwierdza, że łączna ilość platyny w systemie oczyszczania spalin w pojazdach wynosi średnio 4,2 g [9].

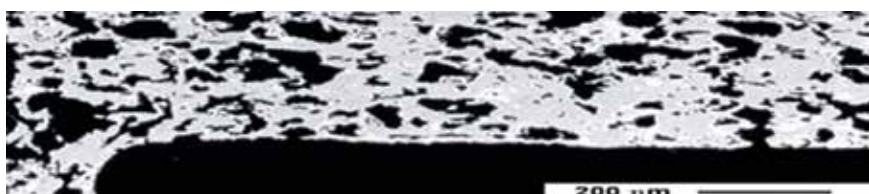
Przesłanki ekonomiczne potwierdzają celowość wdrożenia metod recyklingu zużytych filtrów DPF, zorientowanych na odzysk metali szlachetnych. Pomimo aktualności prezentowanego zagadnienia w dostępnej literaturze mało jest informacji poświęconych problematyce recyklingu filtrów DPF. Celem prezentowanego artykułu jest wskazanie możliwości odzysku metali, w szczególności platyny, z filtrów cząstek stałych pochodzących

Tab. 1. Normy Euro dotyczące emisji spalin dla pojazdów z silnikiem diesla

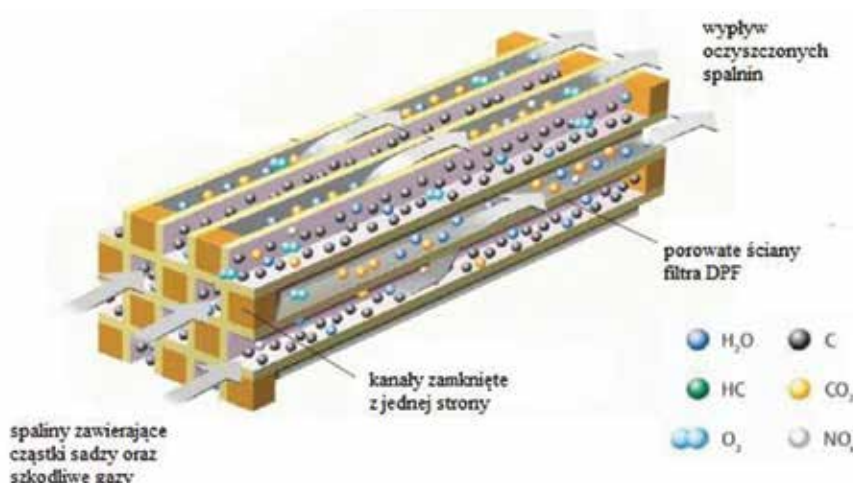
Norma	Data obowiązywania	Emisja zanieczyszczeń [g/km]				
		CO	HC	NO _x	HC+NO _x	cząstki stałe
EURO I	12/1992	3,16	–	–	1,13	0,14
EURO II	01/1997	1,00	0,15	0,55	0,70	0,08
EURO III	01/2000	0,65	0,06	0,50	0,56	0,05
EURO IV	01/2005	0,50	0,05	0,25	0,30	–
EURO V	09/2009	0,50	0,05	0,18	0,23	0,005
EURO VI	08/2014	0,50	0,09	0,08	0,17	0,005



Rys. 1. Budowa filtra cząstek stałych [18]



Rys. 2. Pory znajdujące się w ścianach kanalików filtra DPF [20]



Rys. 3. Zasada działania filtra DPF [26]

z wyeksploatowanych autobusów. Potrzeba ochrony środowiska naturalnego oraz wysokie ceny metali szlachetnych powodują, że podjęcie powyższego zagadnienia jako tematyki artykułu jest uzasadnione.

Budowa i działanie filtra cząstek stałych

Filter cząstek stałych DPF jest elementem układu wydechowego pojazdu, umieszczonym z reguły za katalizatorem. Montaż filtra DPF w autobusach komunikacji miejskiej jest istotny z uwagi na fakt, że cząstki stałe emitowane do atmosfery przez silniki diesla wykazują niekiedy bardzo wysokie stężenia, szczególnie w miastach [3].

Schemat filtra DPF przedstawiono na rys. 1. Budowa wspomnianego filtra zbliżona jest do budowy katalizatora – z tą róż-

nicą, że średnica kanałów w filtrach DPF jest większa, a ich ściany są porowate (rys. 2). Pod względem konstrukcyjnym filtr cząstek stałych składa się z ceramicznego korpusu znajdującego się w metalicznej obudowie, wykonanej najczęściej ze stali nierdzewnej. Wewnątrz korpusu podzielony jest na ułożone względem siebie równoległe kanały o przekroju kwadratowym. Każdy z wymienionych kanałów jest zamknięty z jednej strony, co pozwala na ich klasyfikację na kanały wlotowe i wylotowe. Naprzemienne ułożenie kanałów wlotowych i wylotowych przypomina swoistą siatkę, zapewniając jednocześnie przepływ spalin przez porowate ściany korpusu. Pory zawarte w ściankach kanałów są mniejsze niż cząstki sadzy, co gwarantuje zatrzymanie i gromadzenie zanieczyszczeń wewnątrz filtra. Pod względem składu chemicznego ściany kanałów filtra DPF wykonane są z węgla krzemowego pokrytego tlenkami glinu i ceru, na których osadzona jest cienka warstwa platyny. Z uwagi na możliwość destrukcji platyny podczas regeneracji stężenie platyny na wlocie do filtra jest nieznacznie większe niż na wylocie z urządzenia. Dodatkowo na wypływie spalin z filtra DPF montowana jest sonda lambda, umożliwiająca kontrolę jakości emitowanych gazów [18, 25].

Uproszczony schemat dotyczący zasady działania filtra cząstek stałych przedstawiono na rys. 3. Spaliny, przechodząc przez cienką warstwę platyny o grubości rzędu kilku molekuł, są rozkładane na prostsze i nieszkodliwe związki: wodę, powietrze oraz dwutlenek węgla. Z kolei zawarte w spalinach większe cząstki sadzy zatrzymywane są wewnątrz filtra dzięki obecności wspomnianych wcześniej porów [20]. Powyższy sposób działania filtra w istotny sposób wpływa na ograniczenie emisji szkodliwych i nierzadko rakotwórczych substancji do środowiska.

Metody recyklingu filtrów DPF

Głównym celem recyklingu filtrów cząstek stałych jest odzysk metali szlachetnych, przede wszystkim platyny. Według Fornalczyk

i Saterusa [8] światowe zasoby platyny szacowane są na około $36 \cdot 10^6$ Mg przy średniej rocznej konsumpcji 194 Mg. Rosnące zapotrzebowanie na metale z grupy platynowców powoduje, że przy obecnym tempie rozwoju gospodarczego zasoby platyny wyczerpią się za około 186 lat [8]. Dodatkowo wydobycie metali szlachetnych jest procesem kosztownym i energochłonnym. W celu uzyskania 1 kg platyny niezbędne jest wydobycie 150 t rudy z głębokości 1 000 m. Wzrost popytu na metale z grupy platynowców oraz zmniejszające się ich zasoby powodują, że konieczne jest znalezienie dodatkowego źródła podaży.

Z punktu widzenia gospodarki surowcami odzysk metali ze zużytych filtrów DPF jest jednym z priorytetowych działań. Inną przesłanką uzasadniającą potrzebę prowadzenia procesu recyklingu filtrów cząstek stałych są wysokie ceny metali szlachet-

nych. Według danych z giełdy surowców [23] średnia cena za jedną uncję platyny w lipcu 2017 r. wynosiła 966,70 USD. Wysokie ceny metali szlachetnych, w tym również platyny, powodują, że opłacalne jest odzyskiwanie nawet niewielkich ich ilości.

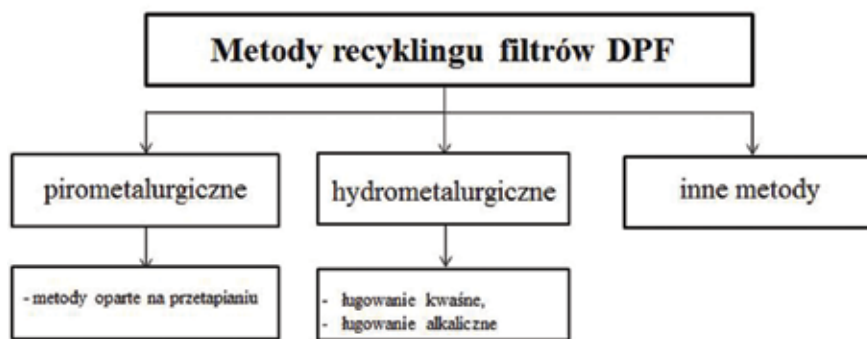
W Polsce funkcjonują instalacje zajmujące się przetworzeniem większości odpadów pochodzących ze złomu motoryzacyjnego, niemniej jednak brak jest odpowiedniej technologii recyklingu zużytych filtrów cząstek stałych. Wiele prywatnych przedsiębiorstw zajmuje się skupem wspomnianych filtrów, a następnie ich eksportem za granicę w celu odzysku metali szlachetnych.

Funkcjonujące na świecie instalacje zajmujące się recyklingiem różnych typów filtrów działają w oparciu o metody hydro- lub pirometalurgiczne (rys. 4). W skali laboratoryjnej – oprócz wymienionych rozwiązań – testowane są również metody alternatywne.

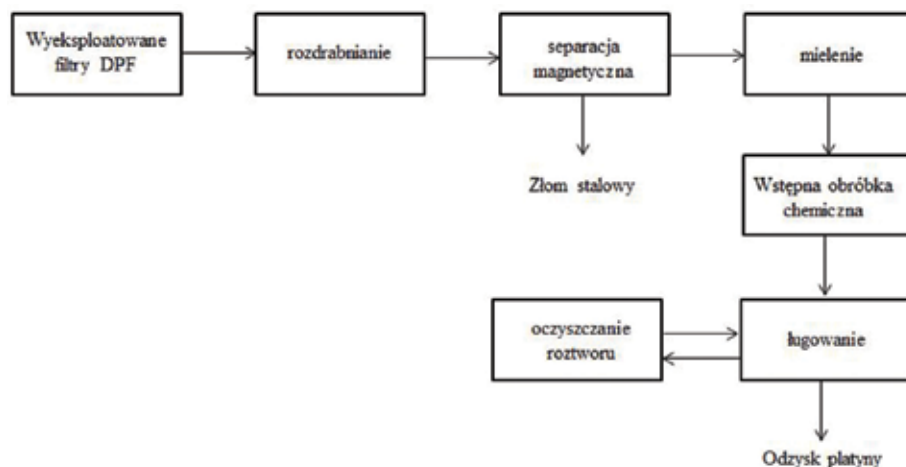
Wśród wszystkich technologii recyklingu i odzysku metali szlachetnych z wyeksploatowanych filtrów cząstek stałych, największą rolę odgrywają metody hydrometalurgiczne, oparte na ługowaniu kwaśnym lub alkalicznym. Schemat odzysku platyny z zastosowaniem metody hydrometalurgicznej został przedstawiony na rys. 5. W pierwszym etapie procesu zużyte filtry DPF są rozdrabniane za pomocą obrotowego rozdrabniacza. Odzyskana w sposób magnetyczny stal może być ponownie wykorzystana w hutach, z kolei bazę ceramiczną poddaje się mieleniu w celu zwiększenia powierzchni reakcyjnej. Kolejnym etapem procesu jest wstępna obróbka chemiczna, polegająca na wypalaniu nadmiaru węgla i węglowodorów przed właściwym ługowaniem. W metodzie metalurgii ekstrakcyjnej jako czynnik ługujący najczęściej stosuje się kwas siarkowy (VI) lub wodorotlenek sodu. Po zakończeniu etapu wymywania czynnik ługujący poddaje się filtracji w celu oczyszczenia i ponownego wykorzystania w procesie. Z kolei odzyskany metal może znaleźć ponownie zastosowanie do produkcji nowych filtrów DPF [21].

Wśród głównych zalet metody hydrometalurgicznego odzysku metali szlachetnych, w tym platyny, Sopianowska-Turek [11] wymienia: niskie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, łatwość prowadzenia procesu, eliminację emisji pyłów i gazów oraz przydatność w skali mikro. Niemniej jednak w przypadku zastosowania metody hydrometalurgicznej należy uwzględnić konieczność kontroli jakości odcieków powstających na etapie ługowania.

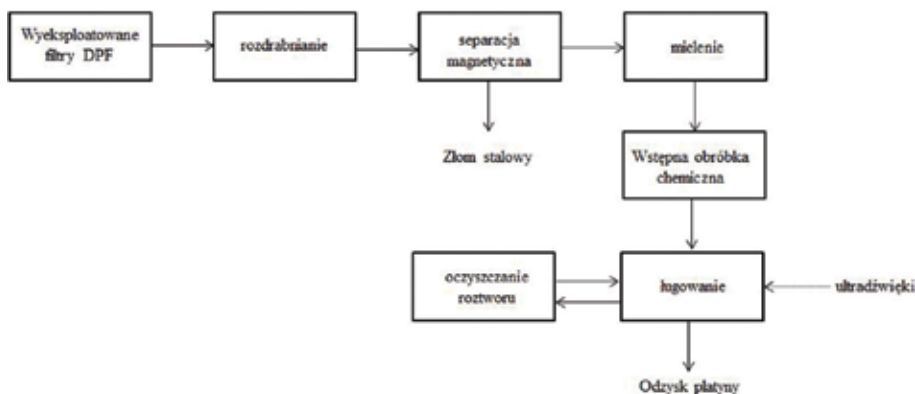
Stosunkowo niska efektywność metod ługowania kwaśnego lub alkalicznego doprowadziła do intensywnych prac badawczych nad możliwością wspomaganie procesu z zastosowaniem ultradźwięków (rys. 6). Zdaniem



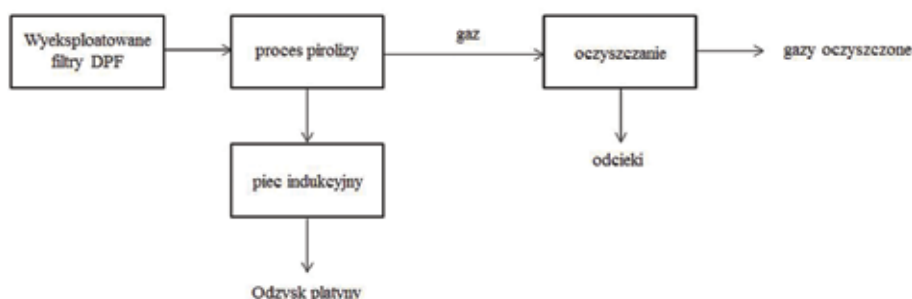
Rys. 4. Podział metod recyklingu filtrów DPF



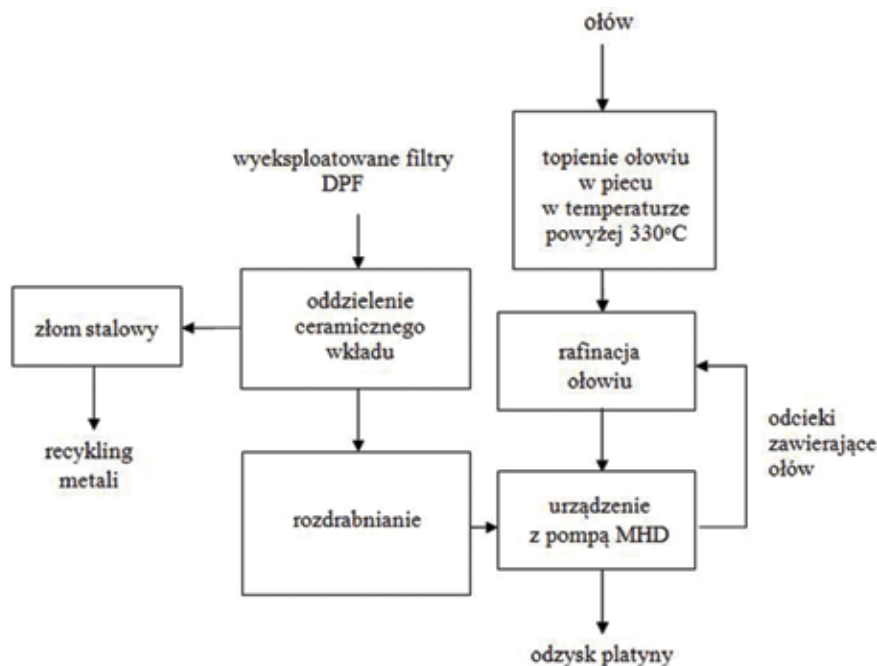
Rys. 5. Odzysk platyny z użyciem metody hydrometalurgicznej



Rys. 6. Odzysk platyny z użyciem metody ługowania kwasem wspomaganym ultradźwiękami



Rys. 7. Odzysk platyny z zastosowaniem metody pirometalurgicznej



Rys. 8. Metoda odzysku platyny z filtrów DPF z użyciem pompy magneto hydrodynamicznej

Li i wsp. [9] ultradźwięki odgrywają istotną rolę w zwiększeniu wydajności całego procesu. Dodatkowo fale ultradźwiękowe dostarczają dużej ilości energii, co znacznie ułatwia rozpuszczanie zużytego materiału. Dzięki zastosowaniu ultradźwięków możliwe jest zwiększenie odzysku metali szlachetnych o kilkanaście procent w porównaniu do tradycyjnej metody ługowania kwasem.

Alternatywnym rozwiązaniem w stosunku do hydrometalurgicznych metod odzysku platyny z filtrów DPF są procesy pirometalurgiczne (rys. 6). Pirometalurgia polega na przeprowadzeniu metali zawartych w odpadach do faz skondensowanych (w tym stopu metalicznego) lub do fazy gazowej, połączona z dalszą kondensacją. W pierwszym etapie filtry DPF poddawane są procesowi pirolizy w temperaturze rzędu 700÷1 900°C, co pozwala na zgazowanie lub spalanie węglowodorów i innych związków organicznych. Odzysk platyny odbywa się w specjalnym piecu indukcyjnym w wysokiej temperaturze w atmosferze redukcyjnej. Produktem finalnym procesu jest stop zawierający znaczne ilości platyny [2].

Powstały na etapie pirolizy strumień gazów ulega dopaleniu w temperaturze 1 000°C w osobnym reaktorze w celu eliminacji dioksyn i furanów. Z kolei pozostałe po dopaleniu gazy oczyszczane są z zastosowaniem metody mokrej w odrębnej instalacji [19].

Niemniej jednak poza wysoką skutecznością metod pirometalurgicznych w odzysku platyny należy uwzględnić koszty związane z zakupem odpowiedniego sprzętu pozwalającego uzyskać wymaganą temperaturę procesu. Powoduje to, że wspomniana metoda jest rzadziej stosowana w porównaniu do procesów opartych na hydrometalurgii.

Wśród niekonwencjonalnych sposobów odzysku platyny z filtrów cząstek stałych należy wymienić metodę z zastosowaniem pompy magneto hydrodynamicznej indukcyjnej (MHD). Magneto dynamika jest działem mechaniki płynów; zajmuje się ruchem płynów przewodzących prąd elektryczny w polu magnetycznym [5]. Badania przeprowadzone na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej potwierdziły przydatność wspomnianej pompy MHD w procesie odzysku platyny z wyeksploatowanych części motoryzacyjnych. Wykorzystując pompę magneto hydro-

dynamiczną, Wójcik i wsp. [15] zaproponowali instalację do odzysku platyny i innych metali ze zużytych katalizatorów, która może wykazać również przydatność w recyklingu filtrów DPF (rys. 8).

Na początku układu technologicznego ze zużytych filtrów cząstek stałych należy wyciąć ceramiczny wkład zawierający cienką warstwę platyny. Żłom stalowy z obudowy filtrów może zostać ponownie wykorzystany w hutach. Z kolei ceramiczny korpus filtrów należy poddać procesowi rozdrabniania z użyciem kruszarki lub młyna, co ma na celu zwiększenie powierzchni reakcyjnej przed dalszymi zabiegami.

W kolejnym etapie procesu rozdrobnione wkłady filtrów DPF transportowane są przenośnikiem do urządzenia opartego na działaniu pompy MDH. Wykorzystanie pompy magneto hydrodynamicznej do odzysku platynowców polega na wprowadzeniu ciekłego metalu w specjalnym kanale, wokół którego umieszczony jest wzbudnik nawinięty na rdzeniu wytwarzającym pole wirowe [7]. Oddziałując

z polem elektromagnetycznym wzbudnika, pole wirowe przyczynia się do powstawania prądów wirowych w ciekłym metalu. W ten sposób z wkładów filtrów DPF wyłukiwana jest platyna. Według Wójcik i wsp. [15] płukanie należy przeprowadzić ze stałą prędkością w czasie kilkunastu minut.

Ciekłym metalem wykorzystywanym w procesie odzysku platyny z filtrów cząstek stałych jest ołów, który wymaga wcześniejszego stopienia oraz rafinacji celem usunięcia zanieczyszczeń, m.in. siarki, cynku, magnezu. Tak przygotowany metal w formie ciekłej doprowadzany jest do komory urządzenia działającego na zasadzie pompy MHD. Dodatkową zaletą metody jest możliwość ponownego wykorzystania odcieków z urządzenia MHD w procesie, co tworzy niejako obieg zamknięty i ogranicza ilość ścieków. Niemniej jednak należy zaznaczyć, że aby całe przedsięwzięcie było opłacalne, należy przetwarzać filtry DPF na większą skalę (nawet kilkadziesiąt sztuk). Dodatkowo zastosowanie w procesie metalu szkodliwego dla zdrowia ludzi wymaga odpowiedniej wentylacji hali, w której zlokalizowana będzie inwestycja [15].

Podsumowanie

Rosnący konsumpcjonizm oraz rozwój technologiczny przyczyniają się do zwiększania się liczby pojazdów, w wyniku czego motoryzacja jest najszybciej rozwijającą się gałęzią przemysłu [16]. Wzrost światowej produkcji samochodów i autobusów skutkuje również wzrastającą corocznie masą złomu motoryzacyjnego. Pojazdy wycofane z eksploatacji są uciążliwymi i niebezpiecznymi odpadami, które w przypadku niewłaściwej utylizacji stanowią poważne zagrożenie dla środowiska. Zgodnie z hierarchią postępowania z odpadami najbardziej preferowaną formą zagospodarowania wyeksploatowanych samochodów oraz części motoryzacyjnych jest poddanie ich odpowiednim procesom recyklingu [14].

Rosnące wymagania środowiskowe skutkują opracowywaniem coraz bardziej rygorystycznych norm dotyczących emisji spalin, tzw. norm Euro. Spełnienie ich wymagań narzuca niejako producentom wprowadzanie rozwiązań technicznych umożliwiających ograniczenie ilości emitowanych przez pojazdy zanieczyszczeń. Z tego względu wszystkie nowoczesne samochody i autobusy

z silnikiem wysokoprężnym diesla posiadają w układzie wydechowym filtr cząstek stałych, zwany filtrem DPF. Zasadnicza funkcja wspomnianego elementu polega na utlenianiu szkodliwych związków do prostszych substancji oraz zatrzymywania cząstek sadzy. Z uwagi na wysokie ceny rynkowe filtrów cząstek stałych, rozpoczynające się od kilkunastu tysięcy złotych dla autobusów, celowym zabiegiem jest poddanie ich procesowi recyklingu po zakończeniu eksploatacji.

Zawartość platyny i innych metali szlachetnych oraz ich wysokie ceny rynkowe przyczyniły się do rozwoju technologii recyklingu filtrów DPF. Wobec prognoz wyczerpania się zasobów metali z grupy platynowców odzysk platyny ma duże znaczenie zarówno z punktu widzenia ekologii i ekonomii, jak i gospodarki surowcami.

Dotychczas stosowane technologie recyklingu filtrów cząstek stałych DPF oparte są na metodach hydro- i pirometalurgicznych. Opracowywane są również rozwiązania alternatywne, jednak dotychczas znajdują się w fazie testów laboratoryjnych i nie doczekały się komercyjnego zastosowania. Do innowacyjnych metod recyklingu filtrów DPF należy wymienić proces wykorzystujący działanie pompy magneto-hydrodynamicznej. Wdrażanie nowych technologii recyklingu może przyczynić się w przyszłości do wzrostu stopnia odzysku platyny z filtrów DPF, chroniąc tym samym zasoby naturalne.

Bibliografia:

- Badura X., *Profil składu chemicznego cząstek stałych (PM) emitowanych przy zastosowaniu paliw z biokomponentami*, „Nafta-Gaz” 2014, nr 11.
- Burri R., Weber A., *The Wimmis Project*, „Journal of Power Sources” 1995, Vol. 57.
- Czerwiński J., Mayer A., *Ograniczenie emisji cząstek stałych przez autobusy miejskie*, „Nafta-Gaz” 2003, nr 1.
- Czerwiński J., Stępień Z., Oleksiak S., Andersen O., *Influences of Biocomponents (RME) on Emissions of a Diesel Engine with SCR*, „Nafta-Gaz” 2011, nr 3.
- Drzewiecki P., *Urządzenie do odzysku platyny ze zużytych katalizatorów samochodowych przy wykorzystaniu pompy magneto-hydrodynamicznej*, „Materiały Śląskiego Środowiskowego Studium Doktoranckiego” 2013.
- Dyr T., Osuch M., *Szanse i zagrożenia dla rozwoju przedsiębiorstw PKS*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2007, nr 1-2.
- Fikus F., Wieczorek T., *Urządzenia magneto-hydrodynamiczne w odlewniach i hutach*, Wydawnictwo Śląsk, 1977.
- Fornalczyk A., Saterus M., *Porównanie metod odzysku platyny ze zużytych katalizatorów samochodowych*, „Rudy i Metale Nieżelazne” 2011, nr 5.
- Li L., Zhai L., Zhang X., Lu J., Chen R., Wu F., Amine K., *Recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries by ultrasonic-assisted leaching process*, „Journal of Power Sources” 2014, Vol. 262.
- Oleksiak S., Stępień Z., Szczerski B., *Możliwości i perspektywy wykorzystania pasywnej regeneracji filtrów cząstek stałych w silnikach z zapłonem samoczynnym*, „Journal of KONES Internal Combustion Engines” 2003, Vol. 10.
- Sobianowska-Turek A., *Odzysk cynku i manganu z baterii Zn-C i Zn-Mn*, Praca doktorska, 2009.
- Stamatellou A-M., Stamatelos A., *Overview of Diesel particulate filter systems sizing approach*, „Applied Thermal Engineering” 2017, Vol. 121.
- Stępień Z., Oleksiak S., *Zagadnienia współdziałania pasywnej i aktywnej regeneracji filtrów cząstek stałych silników z ZS do autobusów miejskich*, „Nafta-Gaz” 2009, nr 11.
- Tartakowski Z., Mydlowska K., *Recykling metalizowanych wyrobów z tworzyw sztucznych*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 8.
- Wójcik M., Pawłowska B., Stachowicz F., *Recycling of automotive catalytic converters with application of magneto-hydrodynamic pump*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Mechanika” 2016, z. 88 (293), nr 1.
- Wójcik M., Pawłowska B., Stachowicz F., *Przegląd technologii recyklingu zużytych akumulatorów litowo-jonowych*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Mechanika” 2017, z. 89 (295), nr 2.
- www.atut.filtryeuro5.pl/node/3Xxx (dostęp: 04.08.2017 r.).
- www.autokult.pl/13793,filtry-czastek-stalych-dpffap-czesc-1 (dostęp: 04.08.2017 r.).
- www.batrec.ch/en/ (dostęp: 04.08.2017 r.).
- www.dpferwis.pl/51_Co-to-jest-filtr-DPF.htmlXxx (dostęp: 04.08.2017 r.).
- www.ippc.mos.gov.pl/ippc/custom/BAT_met_niez_r6.pdf (dostęp: 04.08.2017 r.).
- www.mi.eu/pl/pl/uslugi/102-wymiana-filtra-dpf (dostęp: 04.08.2017 r.).
- www.money.pl/gielda/surowce/dane,platyna.html (dostęp: 04.08.2017 r.).
- www.motofakty.pl/artykul/nowoczesny-diesel-czy-i-jak-usunac-z-niego-filtr-dpf-poradnik.html (dostęp: 04.08.2017 r.).
- www.smartdriver.pl/filtr-czastek-stalych-budowa-i-eksploatacja (dostęp: 04.08.2017 r.).
- www.autolexicon.net/cs/articles/land-rover-defender/ (dostęp: 04.08.2017 r.).

Autorka:

mgr inż. **Marta Wójcik** – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza

Recycling technologies of used Diesel Particulate Filter (DPF) from buses

Stringent environmental requirements caused the use of special technical solutions from motor manufactures. These innovations aim to the reduction of gases emission. From 2000, vehicles with diesel engines, including buses, are equipped with the Diesel Particulate Filter (DPF). The basic principle of the DPF filter relays on the oxidation of carbon and hydrocarbons to harmless compounds: water, air and carbon dioxide. Due to the content of platinum and other precious metals, the price of diesel particulate filters is even several tens of thousands PLN. From the economical point of view, metals recovery from end of live buses is essential. Additionally, recycling of used diesel particulates filters is very important for materials management.

This article presents the recycling methods of DPF filters from end of live vehicles, including buses. The recovery of platinum and other metals from aforementioned filters is an important step toward the reduction of the amount of waste. Additionally, the recycling of diesel particulate filters influences the protection of metals resources in the world.

Keywords: diesel particulate filter DPF, recycling, metals recovery, motor industry.