

ANALIZA ZAPOTRZEBOWANIA NA WDROŻENIE NOWEJ TECHNOLOGII PRZEROBU KATALIZATORÓW SAMOCHODOWYCH W POLSCE

Zofia ŚWIĘCICKA, Mariola SATERNUS, Bożena GAJDZIK

Streszczenie: Celem niniejszego artykułu było zaprezentowanie analizy postępowania ze zużytymi katalizatorami samochodowymi pod kątem oceny możliwości wdrożenia technologii przerobu katalizatorów samochodowych w legalnie działającej sieci recyklingu samochodów w Polsce. Zgodnie z europejską dyrektywą w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji elementy i materiały pochodzące z samochodów wycofanych z użytkowania powinny być poddane recyklingowi lub zabezpieczone we właściwy sposób. Dotyczy to także katalizatorów samochodowych, które po usunięciu z samochodu są cennym źródłem metali szlachetnych możliwych do odzyskania w procesie odzysku. W artykule prześlędzono cykl życia katalizatora samochodowego oraz określono korzyści z recyklingu katalizatorów samochodowych. W drugiej części artykułu omówiono wyniki badań ankietowych, których zadaniem było w sposób przeglądowy dostarczyć odpowiedzi na pytania dotyczące między innymi o doświadczenia stacji demontażu z katalizatorami samochodowymi, kierunki ich dalszej logistyki i potrzebę uruchomienia usługi przerobu katalizatorów samochodowych w Polsce.

Słowa kluczowe: sieć recyklingu, wdrożenie, technologia odzysku, katalizator samochodowy

1. Wstęp

Przez ostatnie dwie dekady rządy większości krajów na całym świecie opracowywały i wdrażały rozwiązania, które pozwoliły by minimalizować wpływ rosnącej liczby samochodów na środowisko naturalne. Jednym z rozwiązań przyczyniającym się do tego jest organizacja sieci recyklingu samochodów wycofanych z eksploatacji (SWE), która jest obecnie nieodłącznym elementem funkcjonowania branży motoryzacyjnej na świecie. Głównymi bodźcami rozwoju projektowania sieci recyklingu były wprowadzone przepisy prawne oraz uwarunkowania ekonomiczne i gospodarcze. Podstawą do rozwiązania problemów zagospodarowania odpadów z samochodów wycofywanych z użytkowania w krajach Unii Europejskiej jest Dyrektywa 2000/53/EC o samochodach wycofywanych z eksploatacji [1] - opracowano w niej wspólne zasady postępowania z odpadami z wycofywanych samochodów. Dyrektywa ta doprowadziła do wprowadzenia w życie rozwiązań z zakresu recyklingu i odzysku, które wcześniej nie istniały. Wprowadziła między innymi zasadę poszerzonej odpowiedzialności producenta za recykling odpadów pochodzących z pojazdów. Spowodowało to zmianę w procentowym udziale materiałów i komponentów używanych do konstrukcji samochodów, na rzecz zwiększenia ilości materiałów, które mogą zostać poddane recyklingowi lub odzyskowi, a także na wykorzystaniu materiałów pochodzących z recyklingu.

Spełnienie warunków dyrektywy europejskiej dotyczącej samochodów wycofywanych z eksploatacji uwarunkowane jest opracowywanie i wdrażanie nowych ulepszonych metod odzysku i recyklingu. Proces rozwoju sieci recyklingu samochodów i odpadów SWE zależy od wewnętrznej zdolności do zmiany organizacji sieci. Wdrożenie nowej technologii odzysku musi spotkać się z uznaniem i gotowością do zmiany przez sam podmiot przejmujący tę technologię, jak również otoczenia zewnętrznego: innych podmiotów sieci SWE, konkurentów, społeczeństwa. Celem niniejszego artykułu jest prezentacja wyników analizy koncepcji uruchomienia usługi odzysku platynowców z katalizatorów samochodowych w Polsce z punktu widzenia podmiotu wdrażającego. Przygotowana koncepcja wdrożenia technologii odzysku platynowców umożliwi na zamknięcie luki recyklingowej i przyczyni się do poprawy współczynnika recyklingu i odzysku katalizatorów w Polsce.

1.1. Rola platynowców w przemyśle motoryzacyjnym i cykl życia katalizatora samochodowego

Główną rolą reaktora katalitycznego, potocznie zwanego katalizatorem samochodowym jest zminimalizowanie zanieczyszczeń powietrza podczas użytkowania samochodu. Urządzenie to w znacznym stopniu ogranicza ilość niebezpiecznych związków chemicznych emitowanych do powietrza, tj. tlenków azotu (NOx), węglowodorów (CH) i tlenku węgla (CO). Dzieje się to za sprawą wykorzystania właściwości platynowców (platyna, rod i pallad) użytych do budowy katalizatora samochodowego, takich jak wysoka temperatura topnienia i odporność na działanie czynników chemicznych, a w szczególności właściwości katalityczne. Odkąd wprowadzono zaostrzone przepisy dotyczące wyposażenia każdego nowego samochodu w katalizator samochodowy celem zmniejszenia zanieczyszczenia powietrza, nastąpił znaczny wzrost zapotrzebowania na platynowce. Fakt ten pociągnął za sobą wzrost znaczenia platynowców na rynku w pierwszej dekadzie bieżącego stulecia. Obecnie popyt na platynowce przekracza ich podaż. Według danych PGM Market Report opublikowanych przez Johnson Matthey Plc [2], zapotrzebowanie na platynę do produkcji katalizatorów samochodowych w 2016 roku wzrosło o 2%, a tym samym wartość ta osiągnęła najwyższy poziom w Europie od ośmiu lat. W tabeli 1 zaprezentowano dane dotyczące całkowitego zapotrzebowania na platynę, pallad i rod w latach 2014-2016 w porównaniu do zapotrzebowania na te metale do produkcji katalizatorów samochodowych - do tego celu w 2016 roku wykorzystano 40,33% światowego zapotrzebowania na platynę oraz ponad 80% światowej produkcji palladu i rodu.

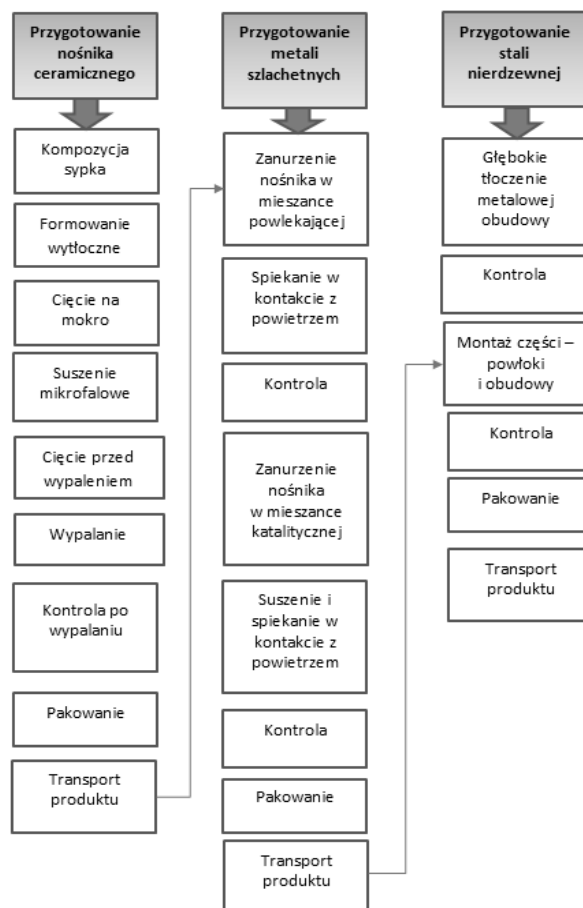
Tab. 1. Zestawienie danych dotyczących zapotrzebowania na platynowce do produkcji katalizatorów samochodowych z ich całkowitym zapotrzebowaniem

Rok	Zapotrzebowanie na platynowce w kg					
	Platyna		Pallad		Rod	
	do produkcji katalizatorów	całkowite	do produkcji katalizatorów	całkowite	do produkcji katalizatorów	całkowite
2014	87 968,5	228 326,8	212 961,4	302715,9	22 282,7	27 640,8
2015	92 532,7	234 478,7	216902,0	261439,0	21 687,4	26 308,3
2016	94 063,6	233 231,3	224 953,2	266 938,8	22 537,8	28 066,0

Źródło: [2]

Głównym elementem budowy katalizatora samochodowego jest nośnik metalowy bądź ceramiczny, przy czym nośnik ceramiczny jest znacznie częściej stosowany. Nośnik ceramiczny katalizatora samochodowego ma strukturę plastra miodu wykonaną z wytłaczanego kordierytu. Każdy monolit ceramiczny jest pokrywany powłoką absorbującą, na którą nanosi się warstwę katalityczną wykonaną z metali szlachetnych. Powłoka ta wychwytuje ze spalin szkodliwe związki i służy do ich konwersji w związki obojętne dla środowiska. Monolit ceramiczny powleczony jest rozciągliwą matą (otuliną), która ma za zadanie chronić i izolować od stalowej obudowy. Na koniec procesu produkcji cała konstrukcja jest zamykana obudową ze stali nierdzewnej, odporną na korozję i utlenianie [3].

Do produkcji katalizatora samochodowego konieczne jest podjęcie wielu kroków, w tym gromadzenie surowców oraz zorganizowanie różnych form przetwarzania. W procesie tworzenia nośnika katalizatora można wyróżnić trzy fazy: przygotowanie nośnika ceramicznego, przygotowanie metali szlachetnych i przygotowanie stali nierdzewnej. Na rysunku 1 przedstawiono schemat materiałowy i technologiczny tworzenia katalizatora samochodowego.



Rys. 1. Proces produkcji katalizatora samochodowego z nośnikiem ceramicznym
Źródło: [4]

Kolejnym etapem cyklu życia katalizatora po zainstalowaniu katalizatora w pojeździe jest jego faza użytkowania. Nowoczesne i dobrze eksploatowane urządzenia tego rodzaju montowane seryjnie w samochodach, powinny pracować, co najmniej 80-90 tysięcy kilometrów, czyli średnio 5 lat [5]. W praktyce jednak katalizatory samochodowe użytkowane są znacznie dłużej, choć ich sprawność mocno spada. Jednak ich „czas życia” jest ograniczony i przeważnie w trakcie wycofywania samochodu z użytkowania i demontażu, należy je odpowiednio zagospodarować.

Każdy katalizator samochodowy może być poddany procesowi recyklingu, poprzez przetwarzanie obudowy ze stali nierdzewnej, proces odzysku metali szlachetnych i ponowne wykorzystanie materiału ceramicznego. Aby nakreślić na ile korzystny jest to proces, należy przeanalizować ilość energii potrzebnej do produkcji platyny i rodu w porównaniu z odzyskiem metali. Dane te zaprezentowane są w tabeli 2.

Tab.2. Energia przetwarzania a energia recyklingu dla platyny i rodu

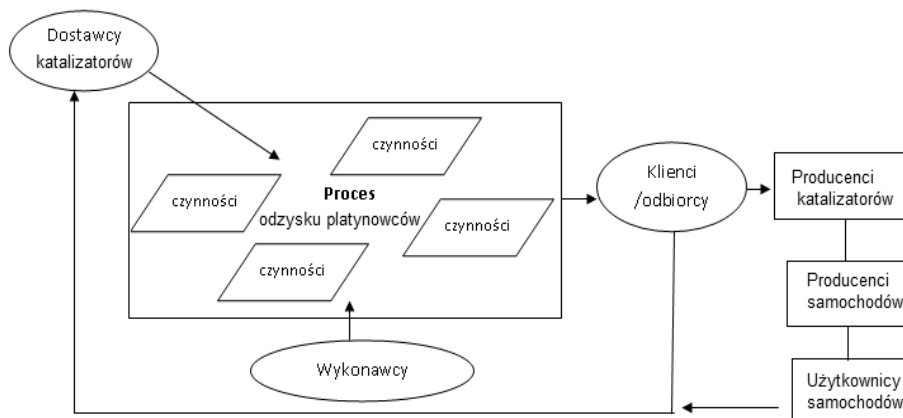
Metal	Rodzaj energii	Wartość energii (MJ/kg)
Platyna	Energia potrzebna do produkcji pierwotnej	$1,14 \cdot 10^5$
	Energia potrzebna do recyklingu	$1,08 \cdot 10^3 - 1,2 \cdot 10^3$
	Oszczędność energii	$1,13 \cdot 10^5 - 1,13 \cdot 10^5$
Ród	Energia potrzebna do produkcji pierwotnej	$1,22 \cdot 10^5 - 1,35 \cdot 10^5$
	Energia potrzebna do recyklingu	$2,44 \cdot 10^3 - 2,7 \cdot 10^3$
	Oszczędność energii	$1,20 \cdot 10^5 - 1,32 \cdot 10^5$

Źródło: [4]

Pomimo dużej ilości energii potrzebnej do procesu recyklingu metali szlachetnych, nadal recykling metali szlachetnych ma priorytetowe znaczenie z uwagi na rzadkość występowania i wysokie koszty ich wydobywania.

Pozyskiwanie metali szlachetnych z katalizatorów samochodowych może być przeprowadzone różnymi technologiami. Dobór metody zależy od rodzaju katalizatora samochodowego. Na świecie obecnie wykorzystywane są głównie dwie metody przerabiania katalizatorów samochodowych na drodze pirometalurgicznej lub hydrometalurgicznej. Stosowane są także metody mieszane, składające się z wielu operacji pośrednich piro- i hydrometalurgicznych, których celem jest wydzielenie czystego metalu [6].

Proces recyklingu katalizatorów samochodowych angażuje większość podmiotów tworzących sieć recyklingu samochodów wycofanych z użytkowania (SWE). W szerokim ujęciu do podmiotów sieci recyklingu zaliczyć można wszystkie jednostki, które uczestniczą w sposób pośredni lub bezpośredni w procesie wycofywania pojazdów z użytkowania. W wąskim ujęciu do podmiotów sieci recyklingu zalicza się tylko podmioty bezpośrednio zajmujące się przetwarzaniem SWE (utylicacją i unieszkodliwieniem), są to punkty zbierania pojazdów, stacje demontażu, młyny przemysłowe oraz przedsiębiorstwa odzysku materiałów (zakłady recyklingu materiałowego) [7, 8]. Uproszczoną strukturę uczestników procesu odzysku platynowców ze zużytych katalizatorów samochodowych zaprezentowano na rysunku 2.



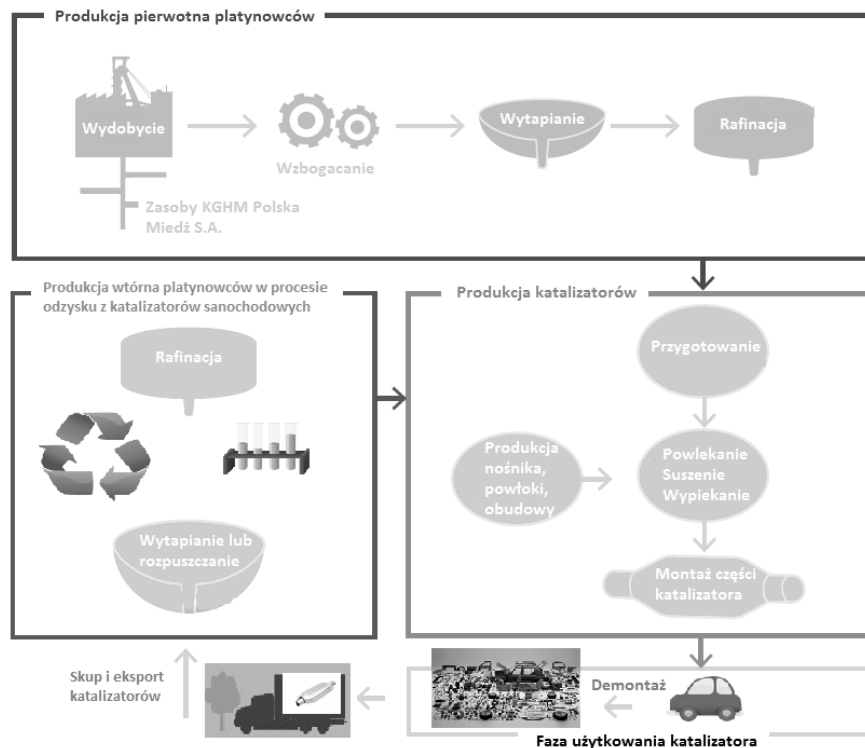
Rys. 2. Struktura uczestników procesu odzysku platynowców ze zużytych katalizatorów samochodowych [opracowanie własne]

Aktualnie przerób zużytych katalizatorów samochodowych w Polsce praktycznie nie istnieje, funkcjonują jedynie przedsiębiorstwa zajmujące się skupem zużytych katalizatorów samochodowych, które następnie są eksportowane do innych krajów. Na świecie z powodzeniem funkcjonują firmy zajmujące się odzyskiem metali szlachetnych z używanych katalizatorów samochodowych [9] (np. Umicore, Belgia; Heraeus, Niemcy; Johnson Matthey, Wielka Brytania; BASF, USA; Mitsubishi, Japonia). Schemat cyklu życia katalizatorów z uwzględnieniem wykorzystania i odzysku platynowców zaprezentowano na rysunku 3.

Podejmowane są próby opracowania uniwersalnej metody przerobu katalizatorów samochodowych w celu uruchomienia zakładów odzysku platynowców, chociażby ze względu na dość wysoka cenę platyny. Jedną z takich metod odzysku platynowców jest opatentowana technologia oparta o wyplukiwanie platynowców ze struktury katalizatora przy pomocy ciekłych metali opracowana przez naukowców z Politechniki Śląskiej [11]. Zweryfikowana w skali laboratoryjnej technologia wyeliminowała podstawowe wady dotychczas stosowanych metod, między innymi takie jak:

- brak potrzeby mielenia ceramicznych nośników, co pozwala zredukować koszty,
- nie wymaga prowadzenia procesu w temperaturze ok 2000°C (utrzymanie takiej temperatury jest bardzo energochłonne),
- nie generuje problemu neutralizacji szkodliwych substancji chemicznych.

Istota tego rozwiązania polega na umieszczeniu elementów zużytego katalizatora samochodowego w ciekłym metalu, który krążąc w obiegu zamkniętym, wyplukuje platynowce dzięki wykorzystaniu wirującego pola elektromagnetycznego. Kluczowe znaczenie ma zastosowanie ciągłego przepływu metalu, co eliminuje małą skuteczność w przypadku jednokrotnego przepłukiwania. W porównaniu do tradycyjnie stosowanych metod odzysku platynowców proponowane rozwiązanie pozwala na zastosowanie niższej temperatury procesu oraz prowadzi do wzrostu stężenia platynowców do wartości gwarantujących opłacalność ich ekstrakcji. Atrakcyjność uzyskanych wyników w skali laboratoryjnej niniejszej technologii, wydaje się zachęcać do podjęcia próby opracowania w oparciu o nią sieci przerobu zużytych katalizatorów samochodowych w Polsce [3, 5, 6].



Rys. 3. Cykl życia katalizatorów samochodowych z uwzględnieniem wykorzystania platynowców
Źródło: opracowanie własne na podstawie 10

2. Badanie ankietowe statusu postępowania ze zużytymi katalizatorami samochodowymi w Polsce

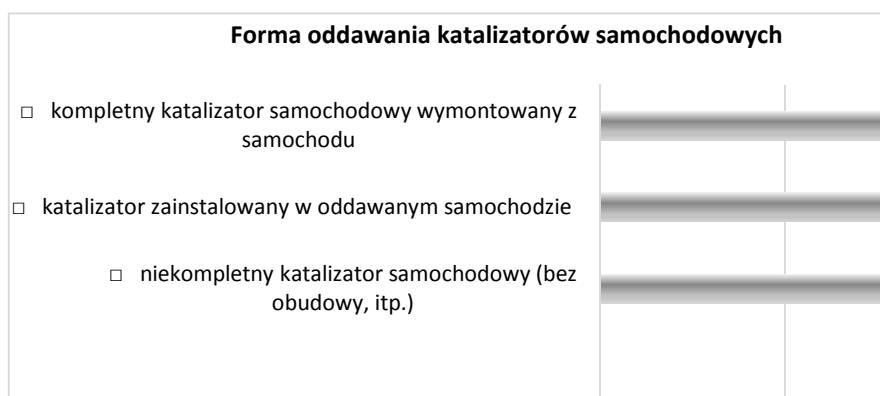
Na opłacalność procesu odzysku platynowców wpływa wiele czynników takich jak: rynek materiałów wtórnych, regulacje prawne, koszty pracy, opłaty za deponowanie na składowiskach, stosowane technologie przetwarzania, a także poziom jakości oraz profesjonalizm systemu zbiórki i demontażu. Aby z powodzeniem wdrożyć nową technologię odzysku platynowców ze zużytych katalizatorów samochodowych należy spojrzeć na nią z punktu widzenia podmiotu wdrażającego, należy myśleć kategoriami użytkownika-przedsiębiorcy. W tym celu przeprowadzono badania ankietowe, których celem była wstępna analiza statusu postępowania ze zużytymi katalizatorami samochodowymi oraz ocena zapotrzebowania na wdrożenie przerobu katalizatorów samochodowych w Polsce. Badania ankietowe zostały przeprowadzone wśród uczestników Konferencji dla Stacji Demontażu Pojazdów zorganizowanej 1 czerwca 2017 roku przez Polskie Stowarzyszenie Stacji Demontażu Pojazdów EKO-AUTO. Kwestionariusz miał za zadanie w sposób przeglądowy dostarczyć odpowiedzi na pytania dotyczące między innymi o doświadczenia stacji demontażu z katalizatorami samochodowymi, kierunki ich dalszej logistyki i potrzebę uruchomienia usługi przerobu katalizatorów samochodowych w legalnie działającej sieci recyklingu samochodów w Polsce. Formą przeprowadzenia badania była skonstruowana ankieta w wersji papierowej rozdana wśród uczestników

konferencji. Pytania były wielokrotnego wyboru z możliwością dodania komentarza przez respondentów, co w kilku przypadkach miało miejsce i pozwoliło poznać subiektywny pogląd respondentów w aspekcie badanego tematu.

Uczestnikami badań były wszystkie osoby obecne na tematycznej konferencji. Uzyskano 25 ankiet zwrotnych, poprawnie wypełnionych. Struktura badanego segmentu to: 19 przedstawicieli stacji demontażu samochodów, 2 pracowników (właścicieli) punktów skupu złomu, 2 pracowników naukowych uczelni technicznych (ekspertów w zakresie odzysku materiałów z wycofanych z użytkowania samochodów) i 2 pracowników naukowo-badawczych.

Wyniki ankiety były punktem wyjścia do rozpoznania stanu sieci recyklingu samochodów w Polsce w aspekcie postępowania z katalizatorami samochodowymi. Dla większości respondentów oczywistym były kwestie wymagające usprawnienia i w konsekwencji wskazano potrzebę uruchomienia technologii przerobu katalizatorów w sieci recyklingu odpadów pochodzących z samochodów wycofywanych w Polsce.

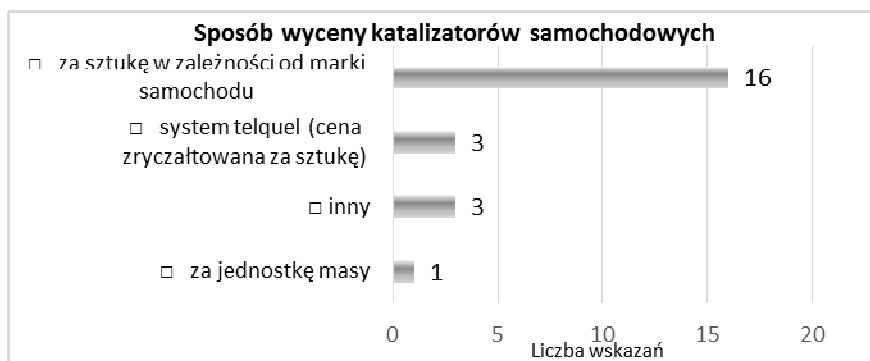
Uczestniczące w badaniu ankietowym podmioty mają doświadczenie ze użytymi katalizatorami samochodowymi (22 podmioty), które obejmuje przyjmowanie zarówno katalizatorów zainstalowanych w oddawanym samochodzie, jak i wymontowane katalizatory samochodowe (rys. 4).



Rys. 4. Wyniki ankiet dotyczące pytania o formę oddawania katalizatorów samochodowych
Źródło: opracowanie własne

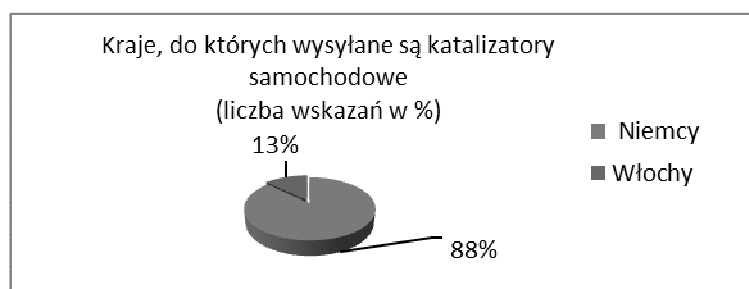
Większość respondentów wskazała, że forma, w jakiej oddawany jest katalizator samochodowy ma wpływ na cenę. Sposób wyceny katalizatorów samochodowych dotyczy konkretnego katalizatora w zależności od marki samochodu lub za cenę zryczałtowaną (system telquel) (rys. 5.).

Na pytanie dotyczące logistyki katalizatorów, jako podmiot odbierający katalizatory samochodowe wskazano na polską firmę, która spełnia wymogi prawne w przedmiotowym zakresie prowadzonej działalności. Mimo, że ankieta była anonimowa nie wskazano przypadku bezpośredniego wysyłania za granicę katalizatorów celem ich dalszego przerobu. Jest to szansa na wprowadzenie w polską sieć recyklingu samochodów wycofywanych z użytkowania przerobu katalizatorów samochodowych, gdyż stacje demontażu nie zajmują się bezpośrednio eksportem katalizatorów i nie mają z tego tytułu korzyści. Prowadzi to do przypuszczeń, iż uruchomienie zakładów przerobczych katalizatorów samochodowych zajmujących się odzyskiem metali szlachetnych nie



Rys. 5. Wyniki ankiet dotyczące pytania o sposób wyceny katalizatorów samochodowych Źródło: opracowanie własne

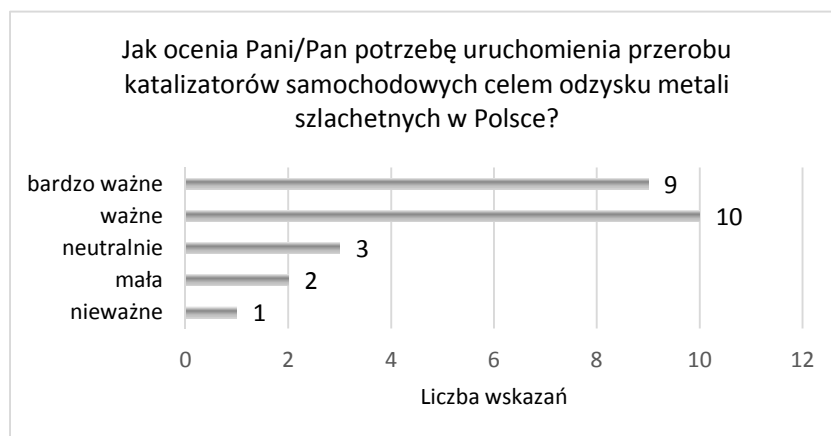
wpłynęło by niekorzystnie na działalność istniejących podmiotów sieci recyklingu samochodów wycofanych z użytkowania. Obecnie katalizatory samochodowe są wysyłane w celu przerobu zagranicę, co potwierdzili respondenci wskazując jako główny kraj eksportu katalizatorów Niemcy i tylko w dwóch przypadkach dodatkowo wskazano Włochy (rys. 6).



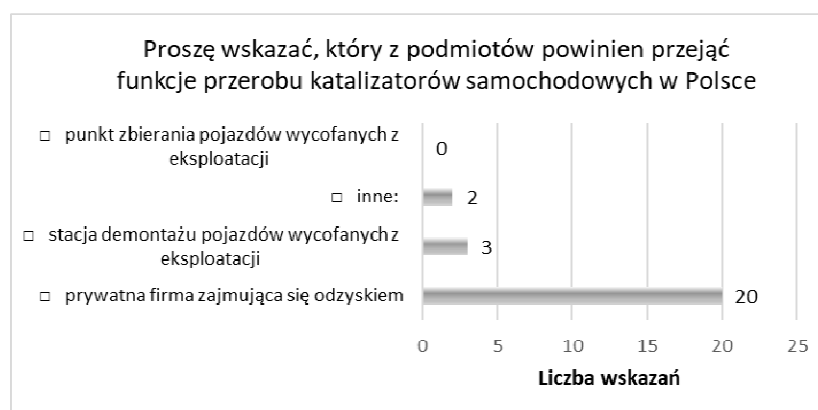
Rys. 6. Wyniki ankiet dotyczące pytania o kraje, do których wysyłane są katalizatory samochodowe Źródło: opracowanie własne

Podczas przeprowadzania ankiety respondenci podkreślili, że organizacja sieci recyklingu samochodów wycofanych z użytkowania w Polsce wymaga usprawnienia w zakresie jej organizacji, w celu zwiększenia możliwości firm funkcjonujących w Polsce w zakresie odzysku katalizatorów. Konieczność uruchomienia przerobu katalizatorów samochodowych celem odzysku metali szlachetnych w Polsce została potwierdzona przez znaczącą większość uczestników badań (rys. 7).

Respondenci wskazali, że przedmiotowa działalność może być realizowana przez prywatne firmy, o ile spełnia wymogi prawne, w tym firmy już zajmujące się odzyskiem lub nawet istniejące stacje demontażu (rys. 8).



Rys. 7. Wyniki ankiet dotyczące pytania o potrzebę uruchomienia przerobu katalizatorów samochodowych celem odzysku metali szlachetnych w Polsce
Źródło: opracowanie własne



Rys. 8. Wyniki ankiet dotyczące pytania o wskazanie podmiotów, które powinny przejąć funkcje przerobu katalizatorów samochodowych celem odzysku metali szlachetnych w Polsce
Źródło: opracowanie własne

2.1. Podsumowanie wyników badań ankietowych

Z przeprowadzonych badań ankietowych wynika, że istnieje potrzeba doskonalenia organizacji sieci wycofywania samochodów z użytkowania, w tym także uruchomienia przerobu katalizatorów samochodowych celem odzysku metali szlachetnych w Polsce, co potwierdza założony cel badań. Po przeanalizowaniu wyników badania występuje potrzeba kontynuacji badań w formie zaawansowanych pytań dotyczących wdrożenia technologii odzysku platynowców ze zużytych katalizatorów samochodowych w Polsce. Respondenci jako podmiot, który powinien przejąć funkcję przerobu katalizatorów samochodowych, wskazywali prywatną firmę zajmującą się odzyskiem, a nie poszerzenie usług stacji demontażu. Wyniki te wskazują na konieczność przebadania w tym aspekcie firm zajmujących się odzyskiem, niekoniecznie będące podmiotami sieci recyklingu

samochodów wycofywanych z użytkowania. Rozważana jest kontynuacja dotychczasowej metodyki z pewnymi modyfikacjami pytań jakościowych.

3. Wnioski

Wśród argumentów przemawiających za odzyskiem platynowców z katalizatorów samochodowych wymienia się między innymi ich ograniczone zasoby, rzadkość występowania, kosztowny i energochłonny proces wydobycia oraz znaczna ilość odpadów powstających w trakcie tego procesu. Zagospodarowanie zużytych katalizatorów ma również inne zalety; wpływa na ograniczenie ilości składowanych odpadów; także poziom emisji zanieczyszczeń do atmosfery jest niższy podczas procesów otrzymywania metali z materiałów odpadowych niż w technologii otrzymywania z surowców pierwotnych. Dla podmiotu wdrażającego technologia odzysku jest produktem/usługą i jak każde inne działanie przedsiębiorstwa ma mu zapewnić korzyści finansowe i przewagę konkurencyjną. W przypadku wdrożenia nowej technologii odzysku platynowców z katalizatorów samochodowych w Polsce będącej uniwersalną metodą odzysku, pozwoli na wypełnienie niszy rynkowej, co również znacząco wpłynie na wizerunek przedsiębiorcy. Podmiot wdrażający chętnie przyjmie do swojej działalności technologie odzysku platyny z katalizatorów samochodowych mając świadomość, że nie ma na rynku polskim podmiotów zajmujących się tym. Przedsiębiorca rozpatrując uruchomienie nowej technologii rozpatruje również jakie wiąże się z tym ryzyko rynkowe i jakie są możliwości minimalizacji ryzyka. Ze względu na konieczność osiągnięcia odpowiednich poziomów odzysku z SWE państwo Polskie powinno w określony sposób wspierać przedsiębiorców podejmujących się wdrożenia innowacyjnych technologii i zapewnić im stabilny start. W dalszej pracy naukowej związanej z tą tematyką autorzy podejmą próbę opracowania rozwiązań systemowych dla uruchomienia technologii przerobu katalizatorów samochodowych w polskiej sieci recyklingu samochodów wycofanych z użytkowania.

Literatura

1. Dyrektywa 2000/53/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z 18 września 2000 w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji, Dziennik oficjalny OJ269, 21.10.2000.
2. Summary of Platinum supply & demand in 2016. PGM market report may 2017. Johnson Matthey Precious Metals Management.
http://www.platinum.matthey.com/documents/new-item/pgm%20market%20reports/pgm_market_report_may_2017.pdf (dostęp 02.01.2018)
3. Fornalczyk A., Saternus M.: Platinum recovery from used auto catalytic converters in electrorefining process. METALURGIJA 52 (2013) 2, 219-222
4. Belcastro E. L.: Life Cycle Analysis of a Ceramic Three-Way Catalytic Converter. The Virginia Polytechnic Institute and State University, 2012.
5. Fornalczyk A.: Analiza możliwości wykorzystania magnetohydrodynamiki do intensyfikacji odzysku platyny ze zużytych katalizatorów samochodowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2016.
6. Saternus M., Fornalczyk A.: Possible ways of refining precious group metals (PGM) obtained from recycling of the used auto catalytic converters. Metalurgia Metallurgy, 52, 2, 2013, 267-271

7. Merkiś-Guranowska A.: Recykling samochodów w Polsce. Wyd. Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2007
8. Merkiś-Guranowska A.: Modelowanie lokalizacji podmiotów sieci recyklingu pojazdów samochodowych. Nr 455 Rozprawy, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011
9. Fornalczyk A., Saternus M.: Removal of platinum group metals from the used auto catalytic converter. METALURGIJA 48 (2009) 2, 133-136
10. The Environmental profile of Platinum Group Metals (PGMs). International Platinum Group Metals Association http://ipa-news.com/assets/sustainability/Environmental%20Profile_LR.pdf?PHPSESSID=2942f7a8dae1b9af5dad595389a26f95 (dostęp 02.01.2018)
11. Patent P.221118 przyznany 10.03.2015 przez Urząd Patentowy RP autorstwa Fornalczyk A., Przyłucki R., Saternus M., Golak S., Kazimierz R., Sikora B., Krężel Z., Chruślicki W. pt.: „Sposób odzyskiwania platynowców ze zużytych katalizatorów samochodowych”.

Mgr inż. Zofia ŚWIECICKA
 Główny Instytut Górnictwa
 40-166 Katowice, Pl. Gwarków 1
 tel. (32) 259 24 96
 e-mail: zswiecicka@gig.eu

Dr hab. inż. Mariola SATERNUS, prof. Pol. Śl.
 Katedra Metalurgii Ekstrakcyjnej i Ochrony Środowiska
 Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii
 Dr inż. Bożena GAJDZIK
 Katedra Inżynierii Produkcji
 Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii
 Politechnika Śląska
 Katowice, ul. Krasińskiego 8
 tel. (32) 603 41 17
 tel. (32) 603 44 59
 e-mail: mariola.saternus@polsl.pl
 bozena.gajdzik@polsl.pl