ROZWÓJ BADAŃ W KIERUNKU GOZ W ZAKRESIE ODZYSKU SUROWCÓW Z KATALIZATORÓW[1]

Natalia GENEROWICZ*, Joanna KULCZYCKA**

* Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk
** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Zarządzania, Katedra Zarządzania Strategicznego

Streszczenie: Zwiększanie się świadomości społecznej w zakresie niskich emisji oraz wprowadzanie coraz bardziej rygorystycznych norm ma znaczący wpływ na przemysł. Zastosowanie katalizatorów stanowi jedno z rozwiązań problemu zmniejszenia ilości spalin. Ze względu na zawarte w nich metale szlachetne, głównie platynę i pallad, będące metalami krytycznymi dla UE, powinny być one przedmiotem intensywnego recyklingu lub substytucji. Odzysk wymienionych metali jest również istotny dla wprowadzania gospodarki o obiegu zamkniętym, ponieważ dzięki temu ograniczone zostaje zużycie pierwotnych źródeł i wykorzystywane są źródła wtórne. Umożliwia to zamknięcie obiegu pod kątem wykorzystywania tych metali i produkcji odpadów w postaci zużytych katalizatorów. Recykling wymaga jednak nie tylko właściwych technologii, ale i rozwiązań organizacyjnych obejmujących cały łańcuch dostaw. Głównymi czynnikami wspierającymi rozwój sieci recyklingu są regulacje prawne oraz uwarunkowania ekonomiczne. W UE wspólne zasady postępowania z odpadami pochodzącymi z samochodów wycofanych z eksploatacji, w tym rozszerzona odpowiedzialność producenta (ROP), zostały wprowadzone dyrektywą 2000/53/WE w sprawie samochodów wycofanych z eksploatacji. Spowodowały one nie tylko rozwój technologii odzysku PGM (*platinum group metals*) z katalizatorów, ale także stworzyły dla niej rynek zbytu. Obecnie sektor motoryzacyjny jest największym konsumentem tych metali (Cowley i in., 2020). W Polsce system recyklingu katalizatorów jest nadal w fazie rozwoju, ale istnieje tendencja wzrostowa w związku z wprowadzaniem modelu gospodarki o obiegu zamkniętym. Dotychczasowym ograniczeniem rozwoju rynku były częste zmiany prawne, brak transparentności w obrocie katalizatorami, zróżnicowane typy i rodzaje katalizatorów, a w związku z tym zróżnicowane ceny zużytych katalizatorów oraz brak systemu zbiórki. Dlatego też, oprócz samej technologii recyklingu, ważne jest, aby przedsiębiorstwo stosowało przejrzystą metodę wyceny katalizatorów. W rozdziale zdefiniowano kluczowe możliwości i wyzwania, takie jak konieczność inwestowania w innowacyjne laboratoria i oprogramowanie do oceny składu chemicznego i wartości ekonomicznej odpadów. Na przykładzie spółki Unimetal Recycling (UMR) opisano dobrą praktykę w tym zakresie.

Słowa kluczowe: katalizatory, recykling, *platinum group metals* (PGM), surowce krytyczne, gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ)

---

[1] Rozdział został sfinansowany z projektu EIT KIC Raw Materials, Innovative CRM substitution technology for public authorities' vehicle catalysts (INNOCAT), numer 18344.

1. Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój nowych technologii, szczególnie w obszarze IT i odnawialnych źródeł energii, związany jest ze wzrostem zapotrzebowania na różnorodne surowce mineralne, które zazwyczaj nie są pozyskiwane w krajach UE. Niezbędne dla dalszego rozwoju jest zatem zapewnienie ciągłości dostaw (Jarosiński i Kulczycka, 2018). Dlatego też Komisja Europejska (KE) już w 2011 roku w komunikacie w sprawie surowców formalnie przyjęła wykaz 14 surowców „krytycznych", tj. surowców o dużym ryzyku niedoboru dostaw i dużym znaczeniu gospodarczym (*Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego...*). Lista ta jest aktualizowana co trzy lata i obecnie znajduje się na niej 30 surowców, w tym miedzy innymi metale z grupy platynowców (*platinum group metals* – PGM), które w największym stopniu wykorzystywane są w produkcji katalizatorów samochodowych (Komisja Europejska, 2020).

Wykaz surowców krytycznych stanowi merytoryczne narzędzie wspierające rozwój polityki UE, w tym gospodarki o obiegu zamkniętym (Komisja Europejska, 2014), m.in. dzięki promowaniu niezakłóconego dostępu do tych surowców oraz ich pozyskiwaniu z recyklingu. Rynek katalizatorów samochodowych jest sektorem, który najmocniej wykorzystuje metale z grupy platynowców, a w szczególności platynę, pallad i rod. Dlatego też odzysk surowców z katalizatorów zamieszczonych na liście surowców krytycznych jest kluczowy, również dla modelu gospodarki o obiegu zamkniętym.

Zwiększenie świadomości społecznej w zakresie zanieczyszczenia powietrza oraz zaostrzenie norm i przepisów (Ding i in., 2019) ma znaczący wpływ na przemysł, transport i produkcję energii. Zastosowanie katalizatorów (Resano i in., 2015) stanowi jedno z rozwiązań pozwalających na minimalizację rozprzestrzeniania się toksycznych związków i zmniejszenie ilości spalin emitowanych do atmosfery podczas spalania paliw w samochodach (Knobloch i in., 2018). Ponieważ większość katalizatorów zawiera kombinację trzech metali: platyny, palladu i rodu, produkcja katalizatorów samochodowych jest największym sektorem popytu i zużycia PGM (Trinh i in., 2020). Większość badań i ekspertyz przewiduje, że w przyszłości popyt na te krytyczne metale będzie wzrastał (Zhang i in., 2017).

W ciągu ostatnich dwóch dekad wiele krajów na całym świecie opracowało i wdrożyło długofalowe rozwiązania problemów środowiskowych (Molnár i in., 2017), mające na celu zminimalizowanie wpływu rosnącej liczby samochodów. Jednym z rozwiązań jest zorganizowanie sieci recyklingu samochodów wycofanych z eksploatacji, która obecnie stanowi integralną część światowego przemysłu motoryzacyjnego (Tsai, 2019). Raporty amerykańskiej służby geologicznej wskazują na rosnącą na całym świecie tendencję w kierunku odzysku PGM z pojazdów wycofanych z eksploatacji (Wilburn i Bleiwas, 2019). Saternus i in. (2020) koncentrują się na innowacyjnej metodzie wykorzystania pompy MHD do odzysku platyny ze zużytego katalizatora. Yakoumis i in. (2020) przewidują rosnące zapotrzebowanie na PGM w nadchodzących latach ze względu na rygorystyczne normy UE w zakresie kontroli emisji nakładane na producentów samochodów. Konieczne jest poszukiwanie nowych

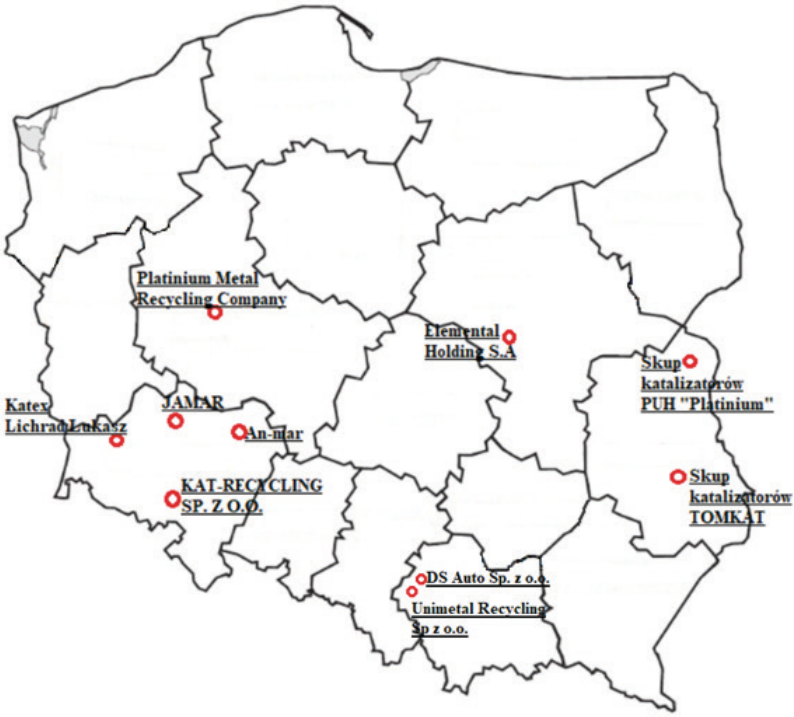
technologii recyklingu, które są opłacalne ekonomicznie i przyjazne dla środowiska, tym bardziej że stosowanie PGM-ów nie kończy się tylko na katalizatorach. Znajdują one również zastosowanie w elektronice i medycynie (jako elementy leków przeciwnowotworowych), a zatem zapotrzebowanie na nie jest wysokie również w innych sektorach.

Głównymi motorami rozwoju projektu sieci recyklingu były regulacje prawne oraz uwarunkowania ekonomiczne (Dyrektywa 2000/53/EC). W UE wspólne zasady postępowania z odpadami pochodzącymi z samochodów wycofanych z eksploatacji, w tym rozszerzona odpowiedzialność producenta (ROP), zostały wprowadzone dyrektywą 2000/53/WE w sprawie samochodów wycofanych z eksploatacji (Jin Young Lee i in., 2010). Spowodowały one nie tylko rozwój technologii odzysku PGM z katalizatorów, ale także stworzyły dla niej rynek zbytu. W Polsce system recyklingu katalizatorów jest nadal w fazie rozwoju, ale istnieje znacząca tendencja wzrostowa, głównie ze względu na politykę UE w zakresie gospodarki obiegowej (Espinoza i in., 2020). Ze względu na częste zmiany prawne i technologiczne rynek nie jest w pełni przejrzysty, a ceny stosowanych katalizatorów są bardzo zróżnicowane. Cena zależy od zawartości metali szlachetnych w katalizatorze. Dlatego też, oprócz samej technologii recyklingu, ważne jest, aby przedsiębiorstwo dysponowało przejrzystą metodą badania katalizatorów, która określa wartość produktu w sposób sprawiedliwy, jasny i przejrzysty.

Celem rozdziału jest określenie kluczowych możliwości i wyzwań związanych z doskonaleniem systemu recyklingu katalizatorów w Polsce. W niniejszym rozdziale przedstawiono przykład dobrej praktyki firmy Unimetal Recycling, która zarówno zastosowała technologię odzysku metali, jak i stworzyła oprogramowanie i wykorzystała je do obliczenia cen stosowanych katalizatorów na podstawie cen platyny i palladu wyznaczanych przez LBMA (London Bullion Market Association) oraz oszacowała zawartość metali w różnych modelach katalizatorów w celu stworzenia oprogramowania do rozpoznawania i klasyfikacji katalizatorów. Ma to na celu wykazanie, że istnieje jasna i przejrzysta strategia, oparta na koncepcji zarządzania łańcuchem wartości firmy, która pozwala na lepszą współpracę z dostawcami i umożliwia rozwój symbiozy w całym łańcuchu dostaw. Taka dobra współpraca w łańcuchu wartości stwarza również zapotrzebowanie na wspólne projekty badawczo-rozwojowe i ścisłą współpracę z uczelniami wyższymi oraz umożliwia zwiększenie efektywności ekonomicznej i zasobowej.

2. Obszar badań

Obszar analizy rynku recyklingu katalizatorów w Polsce jest zdeterminowany przez rozkład geograficzny najważniejszych dużych firm specjalizujących się w recyklingu katalizatorów, które są zlokalizowane głównie w południowej części Polski (rys. 1). Mapa z lokalizacją firm zajmujących się recyklingiem katalizatorów pokazuje, że najwięcej firm znajduje się w pobliżu granicy niemieckiej i ukraińskiej, natomiast Unimetal Recycling jest firmą najbardziej wysuniętą na południe.



Rys. 1. Lokalizacja firm zajmujących się recyklingiem katalizatorów w Polsce w poszczególnych województwach

Źródło: opracowanie własne na podstawie stron internetowych firm

W ramach projektu Innocat (KIC Raw Materials) w ostatnim kwartale 2018 roku przeprowadzono w Polsce badania za pomocą monitoringu pilotażowego i wywiadów w celu analizy sposobu funkcjonowania przedsiębiorstw działających w dziedzinie zakupu i recyklingu katalizatorów. Spośród 60 firm z tej branży, które figurowały w bazie, w analizie wzięło udział 25 firm. W sumie 90% respondentów zadeklarowało, że ich firma jest mała. Wyniki analizy wykazały, że:

- 80% z nich ma wiedzę na temat rozwoju w zakresie wymiany/modernizacji katalizatorów w pojazdach;
- 70% wskazało, że popyt na zamienne katalizatory jest raczej przeciętny lub ograniczony;
- 90% wskazało kapitał własny jako model finansowania przedsiębiorstwa, pozostałe 10% wskazało na fundusze unijne i inne rodzaje dotacji.

Wyniki analizy wykazały również, że firmy nie rozważają współpracy z innymi przedsiębiorstwami i organizacjami badawczymi, chociaż 40% byłoby zainteresowanych strategicznym sojuszem. Ponadto w odpowiedzi na pytanie o firmę, która jest najlepiej rozwinięta w zakresie tworzenia systemu klientów i dostawców w Polsce, 80% respondentów wskazało Unimetal Recycling.

Wyniki analizy pokazały, że najważniejszą kwestią okazał się problem tworzenia sieci dostawców i nawiązywania współpracy. Dzięki odpowiedziom respondentów na temat Unimetal Recycling przeprowadzono z firmą wywiad, który ujawnił, jak funkcjonuje cała firma i jak ważne dla poszerzenia kontaktów rynkowych jest tworzenie sieci kontaktów.

3. Znaczenie transparentności w analizie katalizatorów – studium przypadku Unimetal Recycling

Unimetal Recycling (UMR) jest wiodącą firmą zajmującą się przetwarzaniem katalizatorów samochodowych w Polsce. Co więcej, UMR zajmuje się zakupem i przetwarzaniem katalizatorów samochodowych na rynkach światowych. Spółka gromadzi katalizatory samochodowe z rdzeniami ceramicznymi i metalowymi, a także monolit ceramiczny w proszku lub w kawałkach, płacąc za nie określoną cenę (cena oparta jest na rzeczywistej, oznaczonej ilości metali szlachetnych w katalizatorze). Ponad dwudziestoletnie doświadczenie w zakupie katalizatorów pozwoliło firmie UMR stać się liderem w tej dziedzinie.

Unimetal Recycling współpracuje z firmami na całym świecie, zarówno dużymi, jak i małymi. Głównym jej celem jest odzyskanie z dostarczonego materiału jak największej ilości metali szlachetnych (pallad, rod i platyna). Należy podkreślić, że UMR jest firmą, która zapewnia niezawodne, zgodne z prawem rozwiązania – wszystkie działania są zgodne z polskimi i unijnymi przepisami. Wysoki poziom jakości jest ważny dla realizacji celów biznesowych firmy, ponieważ dobrze udokumentowane procesy zmniejszają liczbę błędów, poprawiają wydajność i zwiększają zyski. Wartością dodaną jest wykwalifikowany personel.

Przy tak szerokiej skali działalności ważne jest, aby UMR miał dużą sieć dostawców i kontrahentów. Obecnie współpracuje z prawie 100 punktami (dostawcami i kontrahentami) w Polsce i ponad 30 za granicą. W Polsce punkty partnerskie znajdują się w każdym województwie. Zakup zużytych katalizatorów odbywa się prawie w całej Polsce – UMR utworzył punkty serwisowe w większości województw, a katalizatory mogą być odbierane od klientów również z wykorzystaniem własnej floty samochodowej. Wstępną wycenę można uzyskać drogą mailową, telefoniczną lub internetową.

Wyceny mogą być przygotowane w bardzo krótkim czasie, nie jest konieczne posiadanie numerów katalizatorów, ponieważ UMR może zweryfikować model urządzenia na podstawie swojej dotychczasowej wiedzy, np. na podstawie zdjęcia (należy zauważyć, że najlepszym rodzajem wyceny jest wycena na miejscu po doprowadzeniu materiału do jednorodnej formy).

Katalizatory są klasyfikowane według przejrzystych, zrozumiałych kryteriów, a firma ma wszystkie zezwolenia przewidziane w odpowiednich aktach prawnych. UMR, jako jedna z nielicznych organizacji w Polsce, ma uprawnienia do zbierania i przetwarzania odpadów o kodach 16 08 01 i 16 08 03. Początek kodu rejestru odpadów („16 08") odnosi się do zużytych katalizatorów. Kod kończący się na „01"

oznacza wyroby zawierające złoto, srebro, ren, rod, pallad, iryd lub platynę (nie obejmuje wyrobów zanieczyszczonych substancjami niebezpiecznymi), natomiast kod kończący się na „03" oznacza wyroby zawierające metale przejściowe lub ich związki, z wyjątkiem tych, które są niebezpieczne. Korzystając z powyższych zezwoleń, spółka może współpracować ze stacjami demontażu pojazdów z terenu całej Polski i Europy.

Proces recyklingu katalizatorów rozpoczyna się od selektywnej zbiórki. Firma współpracuje z wieloma punktami partnerskimi na terenie całego kraju, a także poza jego granicami, obecnie głównie w Europie, ale także w Afryce i Azji.

Po dostarczeniu katalizatorów do UMR każda partia jest oznaczana tak, aby można ją było jednoznacznie przypisać (identyfikacja klienta). Następnie pracownik mierzy wagę partii i przygotowuje wstępny raport wagowy. Następnie monolit ceramiczny jest oddzielany za pomocą nożyc hydraulicznych od innych części katalizatora, tj. obudowy i izolacji termicznej (siatki). Wstępnie pokruszony materiał ceramiczny trafia do zsypu, a części metalowe są przechowywane w specjalnych pojemnikach. Następnie monolit jest przekazywany do dalszej obróbki, tj. ponownego ważenia oraz mielenia i homogenizacji, a reprezentatywne próbki są pobierane przez pracownika do oddzielnych małych pojemników (są to próbki do analizy laboratoryjnej).

Firma zakłada, że technologia recyklingu jest ważna dla rozwoju przedsiębiorstwa, jednak wartością dodaną jest własne oprogramowanie do analizy testowanego katalizatora. System taki jest jasny i przejrzysty, bardziej wiarygodny dla każdego podmiotu w łańcuchu wartości. W ten sposób budowane jest długoterminowe zaufanie klientów, którzy dzięki temu widzą, że cały system recyklingu katalizatorów jest prawidłowy i kontrolowany. Dlatego UMR, oprócz metody odzysku PGM z samych katalizatorów, zainwestował w budowę profesjonalnego laboratorium do analizy składu pierwiastków w danym katalizatorze.

Jest to bardzo ważny aspekt, ponieważ na rynku dostępnych jest wiele różnych typów katalizatorów, co sprawia, że bardzo trudno jest dokładnie przetestować każdy z nich. Testowanie katalizatorów przeprowadzane jest z zastosowaniem szeregu zaawansowanych technologii.

Na pierwszym etapie wykorzystuje się rentgenowską spektroskopię fluorescencyjną (XRF – *x-ray fluorescence*) do oznaczania pierwiastków (platyna, rod i pallad) w monolicie. Jest to technika, która pozwala na jakościową i ilościową analizę składu pierwiastkowego próbki. Równoważną techniką jest ICP-MS (*inductively coupled plasma mass spectrometry*), którą stosuje się po przygotowaniu próbki w mineralizatorze mikrofalowym.

Po wykonaniu wszystkich pomiarów przechodzi się następnie do odzyskiwania pierwiastków. Proces sortowania odbywa się w zależności od rodzaju rdzenia monolitycznego (ceramiczny lub metalowy). Najpierw rozdarta lub przecięta zostaje osłona metalowa, a następnie usuwana jest siatka – materiał izolacyjny. Następnie monolit ceramiczny jest usuwany i kruszony na drobny pył w młynach kulowych. Stosując taką technikę szlifowania, można precyzyjnie zmierzyć zawartość metalu szlachetnego w przygotowywanym materiale. Końcowym procesem jest rafinacja. W zależności od nacięcia wytapiane są pręty lub otrzymywany jest proszek metaliczny. Ponadto

firma dysponuje własnym oprogramowaniem do wyceny ponad 9 tys. rodzajów katalizatorów, które jest cały czas aktualizowane.

Tak dokładne analizy sprawiają, że firma jest bardziej wiarygodna, a proces recyklingu katalizatorów przejrzysty. Pozwala to na stworzenie szczególnego rodzaju symbiozy i współpracy w łańcuchu dostaw, co jest obecnie kluczowe dla rozwoju. Obecnie UMR przyjmuje do recyklingu 3 tys. katalizatorów dziennie (dane za rok 2019).

Przez cały czas zachowana jest przejrzystość wszystkich etapów. Jest to bardzo ważna kwestia w związku z kontaktami z kontrahentami, często związana z bezpośrednim udziałem danej osoby (przy zachowaniu odpowiednich zasad bezpieczeństwa oraz poufności i ochrony interesów innych klientów) zarówno w procesach homogenizacji materiałów, jak i w badaniach laboratoryjnych. Zakupione urządzenia są klasyfikowane według przejrzystych, zrozumiałych kryteriów, a po przeprowadzeniu testów w laboratorium klient otrzymuje wyliczenie uwzględniające aktualne notowania walut i metali szlachetnych na giełdach światowych (z możliwością sprawdzenia notowań na samych giełdach). Ponadto klient odbiera próbkę (materiał jednorodny), która pozwala na weryfikację wyników w akredytowanym laboratorium.

Grupa klientów UMR stale się powiększa. Firma korzysta z nowoczesnych rozwiązań technologicznych i zatrudnia wykwalifikowany personel. Głównym celem jest wspieranie i łączenie osób i przedsiębiorstw, które chcą wprowadzać pozytywne zmiany zarówno w bezpośrednim, jak i bardziej odległym otoczeniu. Takie podejście pokazuje, że możliwe jest prowadzenie biznesu związanego z przetwarzaniem katalizatorów w sposób transparentny przy zachowaniu zasad społecznej odpowiedzialności biznesu (CSR).

4. Wnioski

W odniesieniu do omówionych powyżej zagadnień przedstawiono problem badawczy, którego celem było wypracowanie symbiozy i współpracy w łańcuchu dostaw pomiędzy dostawcami i klientami w całej Polsce z uwzględnieniem istoty modelu gospodarki o obiegu zamkniętym.

W Polsce rynek recyklingu katalizatorów dopiero zaczyna się rozwijać. Jak pokazano na rysunku 1, firmy zajmujące się tym tematem są zlokalizowane tylko w kilku województwach. Stwarza to możliwości dalszego rozwoju rynku w innych obszarach w Polsce.

Ponadto przeprowadzenie badania firm zajmujących się recyklingiem w celu stworzenia mapy przedsiębiorstw w Polsce pokazało, że tylko 40% byłoby zainteresowanych strategicznym sojuszem. Pokazuje to, jak trudno jest stworzyć system zarządzania recyklingiem w Polsce. Każda firma koncentruje uwagę wyłącznie na rynku lokalnym, co ogranicza jej możliwości rozwoju. Wywiady z ekspertami Unimetal Recycling pokazały, że przejrzystość firmy, a także stworzenie w pełni wyposażonego laboratorium i własnego oprogramowania pozwala na rozbudowę sieci dostaw. UMR, tworząc coraz szerszą grupę dostawców, udowadnia, że recykling katalizatorów dotyczy nie tylko technologii otrzymywania monolitu z katalizatora, ale także

przejrzystości firmy. Przekłada się to na fakt, że dostawcy dostarczają swoje produkty do najbardziej przejrzystego podmiotu zajmującego się recyklingiem.

Należy również podkreślić, że działania związane z odzyskiwaniem PGM z katalizatorów idealnie wpisują się w system gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), która jest obecnie wdrażana w całej Europie. Komisja Europejska kładzie duży nacisk na to zagadnienie. Wdrażanie odzysku surowców ze źródeł wtórnych jest idealnym przykładem urzeczywistniania idei GOZ. Jest to ważny aspekt analizy, gdyż KE wskazuje, że dzięki nowej strategii przemysłowej transformacja prowadząca do neutralności klimatycznej może zastąpić obecne uzależnienie od paliw kopalnych zależnością od surowców nieodnawialnych. Co również warto podkreślić, to fakt, że działania zgodne z koncepcją GOZ są wspierane przez KE przez finansowanie projektów badawczo-rozwojowych. Taka pomoc ze strony KE może znacznie przyczynić się do rozwoju innych firm zajmujących się recyklingiem katalizatorów w Polsce.

Unimetal Recycling ma szerokie możliwości stałego doskonalenia systemów informatycznych, które odpowiadają na zapotrzebowanie ze strony klientów i zmiany na rynku, natomiast kluczowe wyzwania polegają na stworzeniu sieci obejmującej nie tylko Polskę, ale także partnerów zagranicznych z całego świata.

Analizując aspekty prawne i polityczne, można zauważyć, że istotne dla dalszego rozwoju są realizacja kluczowych wyzwań dla gospodarki obiegowej, szybkie tempo zmian w ustawodawstwie i zaostrzenie warunków środowiskowych.

Kluczowym wyzwaniem jest także zachęcenie firm zajmujących się zbiórką katalizatorów do współpracy z firmami zajmującymi się recyklingiem. Ważne jest, aby pokazać im, że transparentność i przejrzyste działania doprowadzą do rozwoju ich firm.

Najważniejsze wnioski płynące z analizy sposobu funkcjonowania firmy Unimetal Recycling są następujące: zauważalny jest brak sieci kontaktów pomiędzy firmami zajmującymi się recyklingiem katalizatorów w Polsce, jak również bardzo ważne jest zapewnienie dodatkowych funduszy na sprzęt laboratoryjny i oprogramowanie informatyczne.

Literatura

Cowley A., Bloxham L., Brown S., Cole L., Fujita M., Girardot N., Jiang J., Raithatha R., Ryan M., Shao E., Xiaoyan F., 2020: *The Pgm Market Report*, http://www.platinum.matthey.com/documents/new-item/pgm-market-reports/pgm_market_report_february_2020.pdf [7.12.2020].

Ding Y., Zhang S., Liu B., Zheng H., Chang Ch., Ekberg Ch., 2019: *Recovery of precious metals from electronic waste and spent catalysts: A review*, Resources, Conservation & Recycling, Vol. 141, s. 284–298.

Dyrektywa 2000/53/WE: *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/53/WE z dnia 18 września 2000 r. w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji*, https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000L0053:20050701:PL:PDF [7.12.2020].

Espinoza L.T., Schrijvers D., Chen W., Dewulf J., Eggert R., Goddin J., Habib K., Hagelüken C., Hurd A.J., Kleijn R., Ku A.Y., Lee M.H., Nansai K., Nuss P., Peck D., Petavratzi E., Sonnemann G., Voet E., van der, Wäger P.A., Young S.B., Hool A., 2020: *Greater circularity leads to lower criticality, and other links between criticality and the circular economy*, Resources, Conservation & Recycling, Vol. 159, 104718, doi: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104718.

Jarosiński A., Kulczycka J., 2018: *Ocena możliwości pozyskiwania niektórych surowców krytycznych w Polsce w związku z realizacją koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym*, Inżynieria Mineralna, R. 19, Nr 1, s. 315–324.

Jin Young Lee, Raju B., Nagaphani Kumar B., Rajesh Kumar J., Hyung Kyu Park, Ramachandra Reddy B., 2010: *Solvent extraction separation and recovery of palladium and platinum from chloride leach liquors of spent automobile catalyst*, Separation and Purification Technology, Vol. 73, Iss. 2, s. 213–218.

Knobloch V., Zimmermann T., Gößling-Reisemann S., 2018: *From criticality to vulnerability of resource supply: The case of the automobile industry*, Resources, Conservation & Recycling, Vol. 138, s. 272–282.

Komisja Europejska, 2020: *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU. A Foresight Study*, doi: https://doi.org/10.2873/58081.

Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów w sprawie przeglądu wykazu surowców krytycznych dla UE i wdrażania inicjatywy na rzecz surowców (COM/2014/0297 final), https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52014DC0297&from=EN [7.12.2020].

Molnár Á., Papp A., 2017: *Catalyst recycling – A survey of recent progress and current status*, Coordination Chemistry Reviews, Vol. 349, s. 1–65.

Resano M., Rosario Flóres M., del, QuOeralt I., Marguíi E., 2015: *Determination of palladium, platinum and rhodium in used automobile catalysts and active pharmaceutical ingredients using high-resolution continuum source graphite furnace atomic absorption spectrometry and direct solid sample analysis*, Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, Vol. 105, s. 38–46.

Saternus M., Fornalczyk A., Gąsior W., Dębski A., Terlicka S., 2020: *Modifications and Improvements to the Collector Metal Method Using an mhd Pump for Recovering Platinum from Used Car Catalysts*, Catalysts, Vol. 10, Iss. 8, 880, doi: https://doi.org/10.3390/catal10080880.

Trinh H.B., Lee J., Suh Y., Lee J., 2020: *A review on the recycling processes of spent auto-catalysts: Towards the development of sustainable metallurgy*, Waste Management, Vol. 114, s. 148–165.

Tsai W.T., 2019: *Promoting the Circular Economy via Waste-to-Power (WTP) in Taiwan*, Resources, Vol. 8, Iss. 2, 95, doi: https://doi.org/10.3390/resources8020095.

Wilburn D., Bleiwas D., 2005: *Platinum-Group Metals – World Supply and Demand*, https://www.researchgate.net/publication/267298042_Platinum-Group_Metals-World_Supply_and_Demand [7.12.2020].

Yakoumis I., Moschovi A.M., Panou M., Panias D., 2020: *Single-Step Hydrometallurgical Method for the Platinum Group Metals Leaching from Commercial Spent Automotive Catalysts*, Journal of Sustainable Metallurgy, Vol. 6, Iss. 2, s. 259–268, doi: https://doi.org/10.1007/s40831-020-00272-9 [16.03.2021].

Zhang S., Ding Y., Liu B., Chang Ch., 2017: *Supply and demand of some critical metals and present status of their recycling in WEEE*, Waste Management, Vol. 65, s. 113–127.

DEVELOPMENT OF THE RESEARCH TOWARDS CIRCULAR ECONOMY IN THE FIELD OF RAW MATERIALS RECOVERY FROM CATALYSTS

Summary: Increasing public awareness of low emissions and stricter standards has a significant impact on industry. The use of catalysts is one of the solutions to the problem of reducing the amount of exhaust fumes. Due to the precious metals they contain, mainly platinum and palladium, which are critical metals for the EU, they should be intensively recycled or substituted. However, recycling requires not only the right technologies but also organizational solutions aimed at the entire supply chain. The main factors supporting the development of recycling networks are legal regulations and economic conditions. In the EU, common rules for dealing with waste from end-of-life vehicles, including extended producer responsibility (EPR), were introduced by Directive 2000/53/EC on end-of-life vehicles. They not only increased the production of PGM (Platinum Group Metals) recovery technology from catalysts, but also created a market for it. Currently the automotive sector is the largest consumer of these metals (Cowley et al., The Pgm Market Report 2020). In Poland, the catalyst recycling system is still under development, but there is an upward trend in connection with the introduction of a circular economy model. So far, the development of the market has been limited by frequent legal changes, lack of transparency in the turnover of catalysts, different types and types of catalysts, and therefore different prices of used catalysts and the lack of a collection system. Therefore, apart from the recycling technology itself, it is important for the company to have a transparent method of catalyst valuation. The article defines key opportunities and challenges, such as the need to invest in innovative laboratories and software to assess the chemical composition and economic value of waste. The article shows good practice in this area on the example of Unimetal Recycling company.

Keywords: catalysts, recycling, PGM, critical raw materials, Circular Economy (CE)