

Jadwiga PROKSA
Główny Instytut Górnictwa, Katowice
j.proksa@gig.eu

MODEL BIZNESOWY OBIEGU ZAMKNIĘTEGO NA PRZYKŁADZIE ZAGOSPODAROWANIA UBOCZNYCH PRODUKTÓW SPALANIA W UKŁADZIE KOPALNIA–ELEKTROWNIA

Streszczenie. Podążając za nowymi trendami gospodarki o obiegu zamkniętym, według których odpady z jednego sektora przemysłu powinny stać się produktem dla innego sektora przez symbiozę przemysłową, w artykule przedstawiono koncepcję modelu biznesowego obiegu zamkniętego uwzględniającego zagospodarowanie ubocznych produktów spalania w układzie kopalnia – elektrownia. W analizowanym modelu następuje zawrót do obiegu ubocznych produktów z energetyki przez zagospodarowanie ich w kopalniach. Model synergii kopalnia–elektrownia uwzględnia innowacyjny proces karbonatyzacji ubocznych produktów z kotłów fluidalnych do produktu pozbawionego wolnego tlenu wapnia w celu zastosowania w technikach górniczych.

Słowa kluczowe: gospodarka o obiegu zamkniętym, uboczne produkty spalania, proces karbonatyzacji, symbioza przemysłowa, model biznesowy

THE CIRCULAR ECONOMY BUSINESS MODEL ON EXAMPLE OF COMBUSTION BY-PRODUCTS MANAGEMENT IN THE MIGRANT SYSTEM – ELECTRO-POWER

Abstract. According to new trends in circular economy, waste from one industry should become a product for another through industrial symbiosis. In the article, the concept of a circular economy business model is presented. The model takes into account the development of side-by-side combustion products in the mine system-power plant relation. In the analyzed model, the recycling of the products from the power industry is carried out by utilizing them in mines. The mine system-power plant synergy model is based on the innovative process of carbonation of by-products from fluidized bed boilers into a product free of calcium oxide for use in mining technology.

Keywords: circular economy, combustion by-products, carbonation process, industrial symbiosis, business model

1. Wprowadzenie

Gospodarka o obiegu zamkniętym jest nową koncepcją gospodarczą, której istota polega na pozostawaniu w gospodarce produktów, surowców i materiałów najdłużej jak to możliwe oraz minimalizacji wytwarzania odpadów, na wszystkich etapach cyklu życia produktu. Celem tej koncepcji jest zwiększenie innowacyjności europejskich przedsiębiorstw oraz podniesienie ich konkurencyjności względem przedsiębiorstw spoza Unii Europejskiej. Komisja Europejska w Komunikacie „Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym” z dnia 2.12.2015¹ proponuje doprecyzować zasady dotyczące produktów ubocznych z przemysłu oraz ułatwić symbiozę przemysłową, która powoduje przejście odpadu lub produktu ubocznego dla jednego sektora przemysłu w surowiec dla innego. Odpady, które powstaną powinny być traktowane jako surowce wtórne. Komisja Europejska wspiera prace związane z przekształcaniem odpadu w produkty, daje również wskazówki dla najlepszych praktyk dla gospodarowania odpadami i efektywnego gospodarowania zasobami w sektorze przemysłowym, które będą przedmiotem kolejnych dokumentów referencyjnych dotyczących najlepszych dostępnych technik (BREF). „Łańcuchową” symbiozę wykorzystującą surowce, półprodukty i odpady z jednego przemysłu w innym przy odpowiednich regulacjach prawnych popiera rząd RP w dokumencie z dnia 12.01.2016 roku². Wiąże się to z poszukiwaniem nowych modeli biznesowych³. Znanych jest pięć głównych modeli biznesowych gospodarki o obiegu zamkniętym: łańcuch dostaw obiegu zamkniętego, odzyskiwanie i recykling, wydłużenie życia produktu, platforma współdzielenia oraz produkt jako usługa. Modele te zostały opracowane w celu wsparcia przedsiębiorstw, aby zwiększyć świadomość, podwyższyć zysk z działalności oraz przedstawić korzyści płynące z wdrażania nowych zasad. Pierwszy model – łańcuch dostaw obiegu zamkniętego – odnosi się do stosowania materiałów, które są całkowicie odnawialne, biodegradowalne lub nadające się do recyklingu, dzięki czemu mogą być stosowane w następujących po sobie cyklach życia. Drugi model – odzyskiwanie i recykling – jest związany z systemem produkcji i konsumpcji, gdzie wszystko, co było uznawane za odpady zostaje ponownie zastosowane. Kolejny model – wydłużenie życia produktu – wiąże się z wszelkimi działaniami takimi jak naprawianie, konserwacja, ulepszenie czy przetwarzanie produktów, które przestały być potrzebne użytkownikom lub też są zepsute i dzięki tym zabiegom nabierają nową wartość dla klientów. Model – platforma współdzielenia – tworzy

¹ Komunikat Komisji Do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów „Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym” z dnia 2.12.2015.

² Stanowisko Rządu do komunikatu Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym.

³ Konkluzje Rady ds. Środowiska UE do Komunikatu „Zamknięcie obiegu” z dnia 20.06.2016.

nowy typ relacji i możliwości użytkowników, którzy nie muszą kupować dóbr tylko je wypożyczać lub zamieniać. Odnosi się szczególnie do produktów rzadko używanych przez użytkowników. Ostatni model – produkt jako usługa – gdzie klienci płacą za używanie lub wynajmują produkt, co powoduje, że efektywność i trwałość są ważniejsze niż ilość⁴. Przejście na gospodarkę obiegu zamkniętego to proces długoterminowy, który wymaga podjęcia działań przez wszystkie państwa członkowskie, uwzględniając cały cykl życia produktów i minimalizując wpływ na środowisko, przy wsparciu aparatu prawnego⁵.

Biorąc pod uwagę nowe wytyczne gospodarki o obiegu zamkniętym, według których odpady z jednego sektora przemysłu powinny stać się produktem dla innego przez symbiozę przemysłową, w niniejszym artykule przedstawiono koncepcję modelu biznesowego obiegu zamkniętego na przykładzie zagospodarowania ubocznych produktów spalania w układzie kopalnia – elektrownia. Opracowany model polega na zawróceniu do obiegu ubocznych produktów z energetyki przez zagospodarowanie ich w kopalniach.

2. Energetyka węglowa w gospodarce o obiegu zamkniętym

Przeszkodami dla wykorzystania surowców wtórnych przez podmioty gospodarcze może być niepewność co do ich jakości. Powodem jest brak norm unijnych, co się wiąże z trudnością ustalenia poziomów zanieczyszczeń lub przydatności do recyklingu wysokiej jakości. Istotnym dokumentem Komisji Europejskiej w sprawie obiegu zamkniętego jest Sprawozdanie dla Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów na temat wdrażania planu działania na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym z dnia 26.01.2017, gdzie przedstawiono pełny przegląd dotychczasowych działań, a także wyznaczono kluczowe cele⁶. W dokumencie tym jednak nie są poruszane zagadnienia produktu ubocznego, które są tak ważne dla wielu sektorów, w tym również dla energetyki węglowej. Potencjalne możliwości wykorzystania ubocznych produktów z energetyki zostały omówione podczas spotkania „Gospodarka Obiegu Zamkniętego w energetyce zawodowej” w dniu 31.03.2017, jednak oficjalne dokumenty nie ukazały się. Oznacza to brak wytycznych dla energetyki co do postępowania z produktem ubocznym, a co się z tym wiąże schematu postępowania dla wprowadzenia gospodarki o obiegu zamkniętym (CE – Circular Economy), choć oczywiste jest, że energetyka węglowa

⁴ W kierunku gospodarki obiegu zamkniętego – wyzwania i szanse. Koalicja na Rzecz Gospodarki Obiegu Zamkniętego Reconomy, Warszawa 2016, reconomy.pl/.

⁵ Konkluzje Rady ds. Środowiska UE do Komunikatu „Zamknięcie obiegu” z dnia 20.06.2016.

⁶ Sprawozdanie Komisji Europejskiej dla Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów na temat wdrażania planu działania na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym z dnia 26.01.2017.

według nowych trendów powinna się skłaniać ku zamykaniu obiegu. Pomimo dążenia do stosowania technologii bezodpadowych w procesie energetycznego spalania węgla powstają znaczne ilości odpadów, czego skutkiem są problemy z ich zagospodarowaniem, szczególnie z kotłów fluidalnych. Uboczne produkty spalania coraz częściej są traktowane z jednej strony jako cenny surowiec, natomiast z drugiej nadal jako obowiązek, który wiąże się z koniecznością zagospodarowania odpadów zgodnie z ustawą o odpadach. Może to powodować dodatkowe koszty, ponieważ uwarunkowania prawne właściwie uniemożliwiają składowanie tych odpadów. Istnieje również zagrożenie zaliczenia ubocznych produktów spalania do odpadów niebezpiecznych. Strategia zapobiegania powstawaniu odpadów u źródła stanowi istotę programów energetyki bezodpadowej. Prowadzone badania w systemie REACH⁷ zapewniły, że stosowanie ubocznych produktów spalania jest bezpieczne i nie zagraża środowisku. Szansą dla bezodpadowej energetyki węglowej jest wytwarzanie oprócz energii i ciepła również materiałów i surowców do ponownego wykorzystania.

W nowym podejściu gospodarki o obiegu zamkniętym widać dążenie do transformacji tradycyjnych wzorców wzrostu gospodarczego i produkcji do tej pory opartej na modelu liniowym, gdzie cykl życia produktu kończył się na składowisku. Zawracanie przepływów materiałowych powinno skutkować zmniejszeniem zużycia zasobów surowcowych w myśl zrównoważonego rozwoju. Według wytycznych nowej gospodarki istotne są projektowanie produktów w technologiach bezodpadowych oraz wydłużenie cyklu życia produktu. Jest to systemowe podejście, gdzie produkt jest tylko jednym z elementów cyklu życia, włączając etapy przetwarzania i wielokrotnego wykorzystania. Takie działanie powoduje nowy sposób postępowania, zgodnie z którym odpad w obecnym znaczeniu przestaje istnieć. Powinno się tak projektować produkty, aby w całym cyklu życia realne było całkowite i wielokrotne wykorzystanie wszystkich odpadów w sposób bezpieczny, tak aby stały się one surowcami dla innych procesów i produktów⁸. Podejście oparte na ekoprojektowaniu, regeneracji, recyklingu produktów i materiałów będzie odgrywać znaczącą rolę w gospodarce obiegu zamkniętego, która zakłada dłuższy okres użytkowania produktów. Oznacza to dostarczenie konsumentom trwałych, a zarazem innowacyjnych produktów, a przez dłuższy czas eksploatacji mogą zapewnić oszczędności ekonomiczne, wpływając także na poprawę jakości życia⁹. Energetyka wpisując się w taki model gospodarki, stoi przed ogromnym wyzwaniem, aby z jednej strony spełnić jej warunki, a z drugiej w pełni wykorzystać potencjał ubocznych produktów spalania. Może to nie być proste zadanie, szczególnie, że celem do 2030 roku jest

⁷ Ang. Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals.

⁸ Burchart-Korol D.: Zrównoważone zarządzanie zasobami naturalnymi bazując na gospodarce cyrkulacyjnej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Organizacja i Zarządzanie, z. 87, Gliwice 2016.

⁹ Adamczyk J.: Założenia gospodarki okrężnej w zakresie produkcji. Systemy wspomaganie w inżynierii produkcji. „Inżynieria Systemów Technicznych”, z. 2(14), 2016.

zwiększenie gospodarczego wykorzystania ubocznych produktów spalania¹⁰. Możliwe jest to nie tylko przez zwiększanie świadomości o negatywnych skutkach dla środowiska oraz zmianie filozofii postępowania w myśl zasad gospodarki o obiegu zamkniętym, ale przede wszystkim przez przejrzyste zasady stosowania ubocznych produktów spalania pod kątem prawnym oraz nowe technologie ich wykorzystania.

3. Sposoby zagospodarowania ubocznych produktów spalania

W Polsce powstaje kilka rodzajów ubocznych produktów spalania (UPS): odpady z kotłów konwencjonalnych (pyłowych) – popioły lotne i żużle z węgla kamiennego i brunatnego, odpady z kotłów fluidalnych – popioły lotne i żużle denne, produkty odsiarczania spalin, mieszanki popiołowo-żużłowe z odprowadzania mokrego, mikrosfery. W niniejszym artykule przedstawiono przykład zakładu energetycznego dysponującego kotłami fluidalnymi, a tym samym wytwarzającego UPS z tych kotłów. Takie podejście wynika z trudności w zagospodarowaniu popiołów z tego typu kotłów. Z kotła fluidalnego Tauron Wytwarzanie S.A. powstaje ok. 350 000 Mg popiołów lotnych, gdzie tylko 0,4% jest sprzedawanych, natomiast 3,3% popiołów dennych z wytworzonych ok. 150 000 Mg. Niezagospodarowana ilość popiołów sygnalizuje skalę problemu. Popioły z kotłów fluidalnych ze względu na niską temperaturę panującą w złożu fluidalnym charakteryzują się znacznie większą zawartością wolnego tlenu wapnia CaO_w w porównaniu z odpadami z kotłów pyłowych, ich ilość może nawet dochodzić do 10% wag. lub przekraczać tę wartość. Według projektu Decyzji Komisji Europejskiej zmieniającej Decyzję 2000/532/EC z dnia 3.05.2000 roku, gdy odpad zawiera jedną lub więcej substancji w ilościach powyżej granicznych, które są klasyfikowane przez jedną z następujących kategorii zagrożenia i kodów przypisania zagrożenia – H314¹¹, H315¹², H318¹³, H319¹⁴ oraz gdy jedno lub więcej dopuszczalnych stężeń jest osiągnięte lub przekroczone, wtedy odpad ten musi być klasyfikowany jako niebezpieczny, przy czym wartością graniczną do uznania, że dany odpad jest niebezpieczny ze względu na właściwości drażniące jest 1%. Natomiast tlenek wapnia CaO jest klasyfikowany jako substancja mająca właściwości drażniące i oznaczona jako H315 i H318, zgodnie z kryteriami Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) Nr 1272/2008 z dnia 16.12.2008 roku w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania

¹⁰ Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Ministerstwo Gospodarki. Załącznik do Uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 roku.

¹¹ Powoduje poważne oparzenia skóry oraz uszkodzenia oczu.

¹² Działa drażniąco na skórę.

¹³ Powoduje poważne uszkodzenie oczu.

¹⁴ Działa drażniąco na oczy.

substancji i mieszanin, zmieniającego i uchylającego Dyrektywy 67/548/EWG, 1999/45/WE oraz zmieniającego Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006. Jeśli ten projekt Decyzji Komisji Europejskiej zacznie obowiązywać, odpady z kotłów fluidalnych zawierające powyżej 1% wag. wolnego tlenku wapnia CaO_w zostaną zaklasyfikowane jako odpady niebezpieczne, a takich w naszym kraju jest prawie 100%. Aby przeciwdziałać tej sytuacji prowadzone są badania nad możliwościami przetwarzania ubocznych produktów do produktów zbywalnych. Również w Głównym Instytucie Górnictwa są prowadzone intensywne prace nad różnymi kierunkami wykorzystania ubocznych produktów, czego efektem są opracowane technologie zgłoszone do Urzędu Patentowego RP:

- Sposób przetwarzania popiołów lotnych z energetycznego wykorzystania paliw do produktu o kontrolowanej zawartości wolnego tlenku wapnia. Zgłoszenie nr P.410867.
- Układ do przetwarzania popiołów lotnych z energetycznego wykorzystania paliw kopalnych. Zgłoszenie nr P.411659.
- Sposób wytwarzania mieszaniny do doszczelniania zrobów i wyrobisk górniczych z wykorzystaniem lotnych ubocznych produktów spalania z energetycznego wykorzystania paliw kopalnych. Patent nr 225845.
- Sposób otrzymywania spoiwa na bazie popiołów lotnych z energetycznego wykorzystania paliw do poprawy wytrzymałości konstrukcji kaszt w górnictwie podziemnym. Patent nr 225846.
- Sposób torkretowania ścian wyrobisk podziemnych z wykorzystaniem mieszaniny na bazie popiołów lotnych z energetycznego wykorzystania paliw kopalnych. Patent nr 225847.

Popioły fluidalne pozbawione nadmiernej ilości wolnego tlenku wapnia minimalizują ryzyko zaliczenia ich do odpadów niebezpiecznych. W badaniach prowadzonych w GIG-u wykazano możliwość redukcji zawartości wolnego tlenku wapnia w ubocznych produktach z kotłów fluidalnych poprzez poddanie ich działaniu dwutlenku węgla i przy wykorzystaniu wody jako katalizatora procesu¹⁵.

Uboczne produkty spalania najczęściej stosuje się w technologiach górniczych takich jak: doszczelnianie zrobów zawałowych, likwidacja zbędnych wyrobisk korytarzowych, podsadzka samozestalająca, wypełnianie starych pustek w górotworze, wykonywanie pasów i korków podsadzkowych, likwidacja szybów i szybików, profilaktyka przeciwpożarowa, komponent podsadzki hydraulicznej oraz likwidacja i wypełniania zrobów zawałowych, izolacji pól pożarowych i metanowych, pasów podsadzkowych i korków izolacyjnych, wypełnianie pustek poeksploatacyjnych, likwidacja wyrobisk korytarzowych, starych

¹⁵ Łączny J.M., Iwaszenko S., Gogoła K., Bajerski A., Janoszek T., Klupa A., Cempa-Balewicz M.: Study on the possibilities of treatment of combustion by-products from fluidized bed boilers into a product devoid of free calcium oxide. "Journal of Sustainable Mining", Vol. 14, Iss. 4, 2015, p. 164-172.

szybów^{16,17}. Wypełnianie wyrobisk jako proces odzysku odpadów jest prowadzony na potrzeby związane z rekultywacją lub bezpieczeństwem, jak również w celach inżynierskich związanych z kształtowaniem krajobrazu oraz w ramach którego odpady zastępują inne materiały, które musiałyby zostać użyte w tych samych celach. Kopalnie na szeroką skalę stosują odpady z elektrowni, tzw. technologią zawieszinową, gdzie popiół lotny jest mieszany z wodą, przede wszystkim do doszczelniania i izolacji zrobów zawałowych, likwidacji pustek podziemnych^{18,19}, oczyszczania wód kopalnych. Również zawiesiny z wprowadzonym CO₂ są proponowanym rozwiązaniem zagospodarowania w technologiach górniczych, również dla uszczelniania składowisk²⁰. Zastosowanie ubocznych produktów w technologiach górniczych jest obligowane uregulowaniami prawnymi oraz normami, ponieważ muszą one się charakteryzować odpowiednimi właściwościami technologicznymi. Należą do nich:

- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 roku w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami, które określa rodzaje odpadów i warunki ich odzysku z podziałem na procesy (R3²¹, R5²², R11²³, R12²⁴).
- Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 roku.
- PN-G-11011 „Górnictwo. Materiały do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów. Wymagania i badania”, która określa wymagania i badania materiałów przeznaczonych do wypełniania pustek w kopalniach (w tym pustek międzybryłowych w gruzowisku zawałowym). Odpady paleniskowe w normie są dopuszczone jako materiał do podsadzki zestalanej lub doszczelniania zrobów zawałowych (sierpień 1998 r.).
- PN-93/G-11010 „Górnictwo. Materiały do podsadzki hydraulicznej. Wymagania i badania”, która określa wymagania dotyczące materiałów przeznaczonych do podsadzki hydraulicznej stosowanej w podziemnych wyrobiskach, również odpadów paleniskowych (norma wycofana, jednak w związku z brakiem nowej, jednak nadal często wykorzystywana).

¹⁶ Palarski J., Pierzyna P., Stozik G.: Zastosowanie ubocznych produktów spalania w technologiach górnictwa węgla kamiennego. Międzynarodowa Konferencja „EuroCoalAsh 2008”, Warszawa, 6-8 października 2008.

¹⁷ Drobek L., Kanafek J., Pierzyna P.: Zagospodarowanie ups w kopalniach węgla kamiennego stan aktualny, prognoza zużycia na lata 2016-2020, aspekty technologiczne i środowiskowe. XXIII Międzynarodowa Konferencja POPIOŁY Z ENERGETYKI, Zakopane, 19-21.10.2016.

¹⁸ Mazurkiewicz M., Piotrowski Z.: Propozycja unormowania badań będących podstawą dopuszczenia odpadów drobnofrakcyjnych do deponowania w pustkach podziemnych. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”, nr 3, 1995.

¹⁹ Mazurkiewicz M.: Technologiczne i środowiskowe aspekty stosowania stałych odpadów przemysłowych do wypełniania pustek w kopalniach podziemnych. Zeszyty Naukowe, nr 152. AGH, Kraków 1990.

²⁰ Uliasz-Bocheńczyk A., Mokrzycki E.: Wpływ CO₂ i spalin na właściwości technologiczne zawiesin odpadów energetycznych. „Rocznik Ochrona Środowiska”, t. 16, 2014, s. 279-289.

²¹ Recykling lub regeneracja substancji organicznych, które nie są stosowane jako rozpuszczalniki (w tym kompostowanie i inne biologiczne procesy przekształcania).

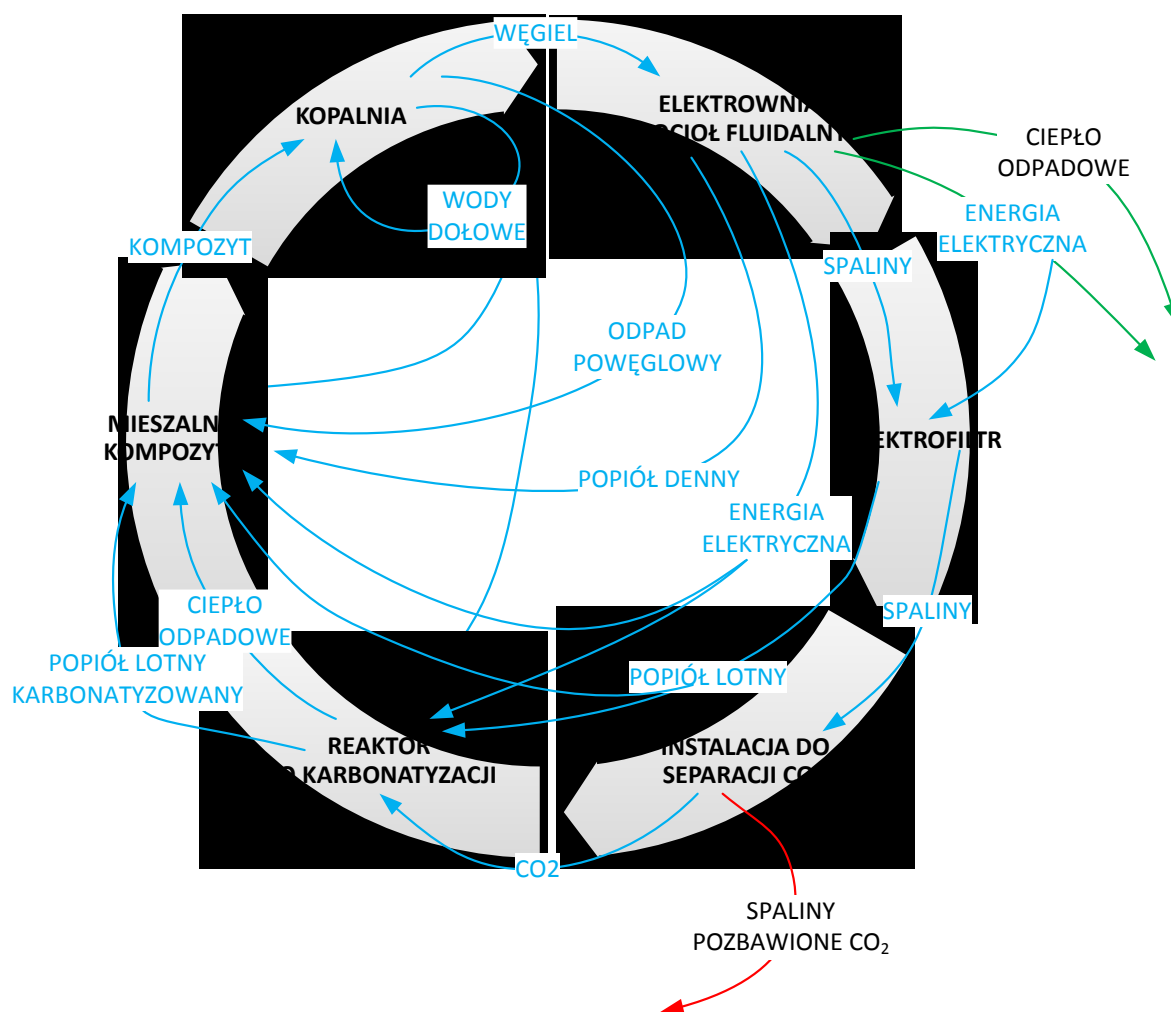
²² Recykling lub odzysk innych materiałów nieorganicznych.

²³ Wykorzystywanie odpadów uzyskanych w wyniku któregokolwiek z procesów wymienionych w pozycji R1-R10.

²⁴ Wymiana odpadów w celu poddania ich któremukolwiek z procesów wymienionych w pozycji R1-R11.

4. Model synergii kopalnia–elektrownia w obiegu zamkniętym

W niniejszym artykule zaproponowano model biznesowy zagospodarowania ubocznych produktów spalania w układzie kopalnia–elektrownia. Zaproponowany model obiegu zamkniętego wpisuje się w model biznesowy – odzyskiwanie i recykling (rys. 1).



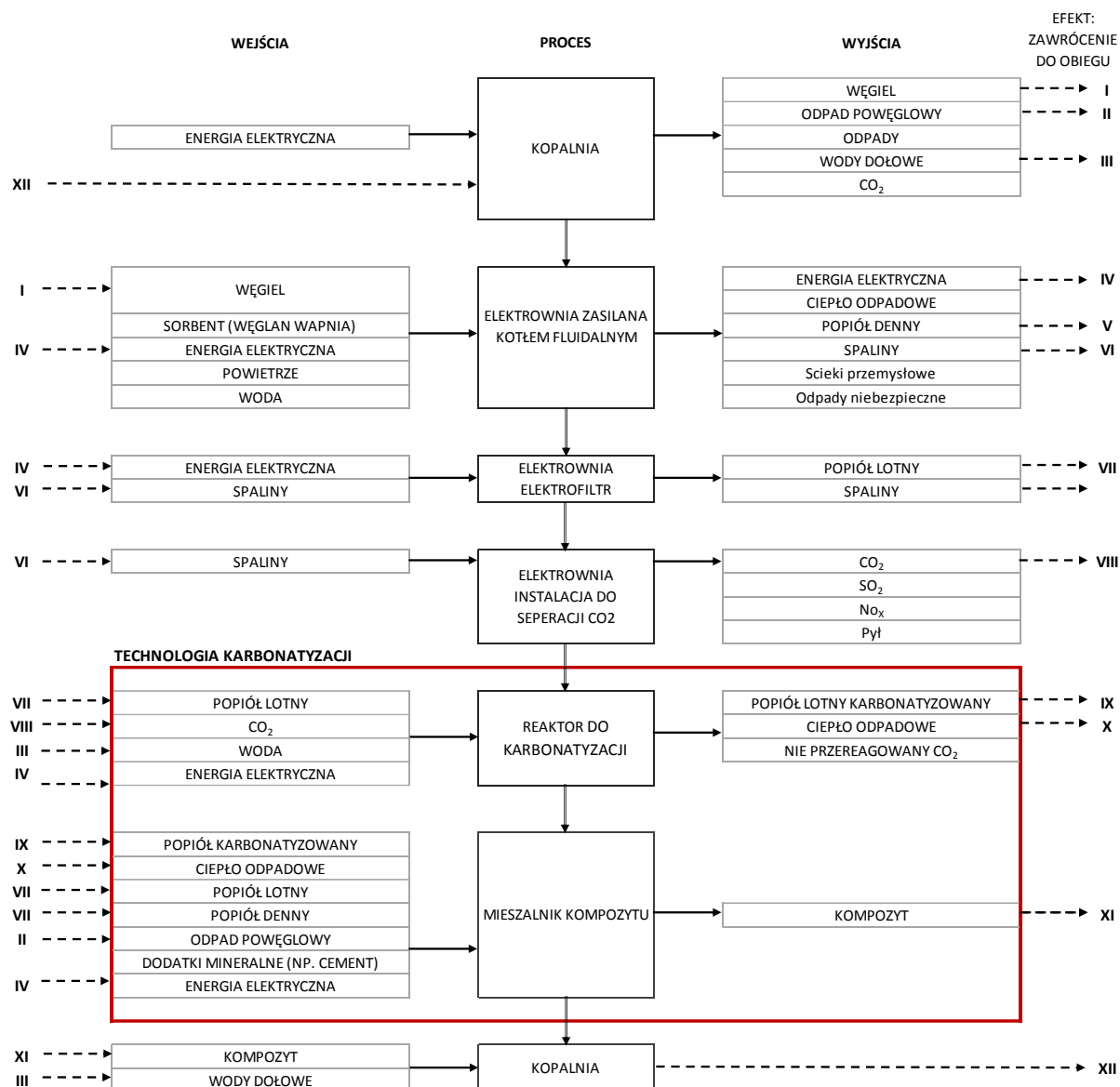
Rys. 1. Model synergii kopalnia–elektrownia w obiegu zamkniętym z wykorzystaniem technologii przetwarzania ubocznych produktów z dodatkiem CO₂
 Źródło: Opracowanie własne.

Model synergii kopalnia–elektrownia uwzględnia proces karbonatyzacji ubocznych produktów z kotłów fluidalnych do produktu pozbawionego wolnego tlenku wapnia w celu zastosowania w technikach górniczych. Rozwiązania zawarte w zgłoszeniach patentowych i patentach, opracowanych w Głównym Instytucie Górnictwa, dowodzą, że uboczne produkty spalania poddane procesowi karbonatyzacji mogą być zawrócone do kopalni w układzie kopalnia–elektrownia, zgodnie z koncepcją gospodarki o obiegu zamkniętym. Proponowany model synergii kopalni i elektrowni opiera się na współdziałaniu tych dwóch sektorów przez

zawrócenie do obiegu ubocznych produktów z kotłów fluidalnych, przez poddanie ich procesowi karbonatyzacji, w celu zagospodarowania w technikach górniczych. Działanie to jest przykładem zawrócenia odpadu do układu w myśl koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym. W modelu został przedstawiony główny obieg, gdzie zamodelowano zamknięcie układu oraz obiegi dodatkowe, gdzie uboczny produkt zostaje zawrócony do obiegu (rynku) w postaci prefabrykatów. Uboczny produkt z kotłów fluidalnych o wysokiej zawartości wolnego tlenu wapnia jest poddawany technologii przetworzenia, z dodatkiem CO₂, do produktu o kontrolowanej zawartości wolnego tlenu wapnia. W tym procesie dwutlenek węgla, pochodzący z instalacji do separacji CO₂ elektrowni, zostaje zawrócony do obiegu przez wykorzystanie w procesie karbonatyzacji. Trafia on do reaktora do karbonatyzacji łącznie z popiołem lotnym zawróconym z elektrofiltra, gdzie jest wytwarzany popiół lotny karbonatyzowany. Następnie zostaje wytworzony kompozyt przez zmieszanie w odpowiednich proporcjach popiołu lotnego karbonatyzowanego, części popiołu lotnego zawróconego z elektrofiltra, popiołu dennego zawróconego z kotła fluidalnego, odpadu powęglowego zawróconego z kopalni, wód dołowych zawróconych z kopalni oraz ciepła odpadowego powstającego w reaktorze do karbonatyzacji i energii elektrycznej wytworzonej w elektrowni. Kolejnym etapem jest połączenie kompozytu z wodami dołowymi zawróconymi z kopalni w celu lokowania w kopalni. Powstały kompozyt można również zawrócić do obiegu przez wytwarzanie półfabrykatów z kompozytu przez firmy zewnętrzne w celu zagospodarowania w technikach górniczych lub w innym sektorze przemysłu.

Układ kopalnia–elektrownia został zamodelowany wraz z analizą elementów zbioru wejść i wyjść z procesów w całym cyklu życia, wraz z zawróceniem ubocznych produktów i zamknięciem układu (rys. 2).

W modelu obiegu zamkniętego kopalnia–elektrownia powstające odpady są zawracane do obiegu przez wykorzystanie ich w kolejnych procesach jednostkowych. Na etapie końcowym następuje zawrócenie spoiwa mineralnego do kopalni w celu zastosowania go w technikach górniczych. Zamodelowany układ zagospodarowania ubocznych produktów spalania stanowi przykład modelu biznesowego obiegu zamkniętego synergii kopalnia–elektrownia.



Rys. 2. Elementy wejść i wyjść w modelu kopalnia-elektrownia wraz z zawróceniem odpadów do układu

Źródło: Opracowanie własne.

5. Podsumowanie

Wytyczne gospodarki o obiegu zamkniętym wymuszają prace w kierunku nowych technologii i zmian w zarządzaniu odpadami z elektrowni. Ta koncepcja podkreśla nowe spojrzenie na zagospodarowanie odpadów, ale również na powstawanie ich u źródła. Istotą jest projektowanie produktów w technologiach bezodpadowych oraz wydłużenie cyklu życia produktu. Przed takimi wytycznymi stoją zarówno technologie górnicze, jak i energetyka, które powinny zmierzać w kierunku bezodpadowości. Jest to możliwe we współpracy,

tworząc układ synergii kopalnia-elektrownia w celu zamknięcia obiegu. Zawrócenie odpadów w proponowanym układzie do ponownego użycia zapewnia możliwość redukcji zawartości wolnego tlenu wapnia w odpadach, który jest oparty na przeprowadzeniu procesu karbonatyzacji. Rezultatem tego procesu jest tak przekształcony uboczny produkt spalania, którego nie można zakwalifikować do odpadów niebezpiecznych, co oznacza bezpieczne użytkowanie na każdym etapie cyklu życia.

Praca została wykonana w ramach badań statutowych prowadzonych w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach, nr 11311417-144.

Bibliografia

1. Adamczyk J.: Założenia gospodarki okrężnej w zakresie produkcji. Systemy wspomagania w inżynierii produkcji. „Inżynieria Systemów Technicznych”, z. 2(14), 2016.
2. Burchart-Korol D.: Zrównoważone zarządzanie zasobami naturalnymi bazując na gospodarce cyrkulacyjnej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Organizacja i Zarządzanie, z. 87, 2016.
3. Drobek L., Kanafek J., Pierzyna P.: Zagospodarowanie ups w kopalniach węgla kamiennego stan aktualny, prognoza zużycia na lata 2016-2020, aspekty technologiczne i środowiskowe. XXIII Międzynarodowa Konferencja POPIOŁY Z ENERGETYKI. Zakopane, 19-21.10.2016.
4. Komunikat Komisji Do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów „Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym” z dnia 2.12.2015.
5. Konkluzje Rady ds. Środowiska UE do Komunikatu „Zamknięcie obiegu” z dnia 20.06.2016.
6. Łączny J.M., Iwaszenko S., Gogola K., Bajerski A., Janoszek T., Klupa A., Cempa-Balewicz M.: Study on the possibilities of treatment of combustion by-products from fluidized bed boilers into a product devoid of free calcium oxide. “Journal of Sustainable Mining”, Vol. 14, Iss. 4, 2015.
7. Mazurkiewicz M., Piotrowski Z.: Propozycja unormowania badań będących podstawą dopuszczenia odpadów drobnofrakcyjnych do deponowania w pustkach podziemnych. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”, nr 3, 1995.
8. Mazurkiewicz M.: Technologiczne i środowiskowe aspekty stosowania stałych odpadów przemysłowych do wypełniania pustek w kopalniach podziemnych. Zeszyty Naukowe, nr 152. AGH, Kraków 1990.

9. Palarski J., Pierzyna P., Stozik G.: Zastosowanie ubocznych produktów spalania w technologiach górnictwa węgla kamiennego. Międzynarodowa Konferencja „EuroCoalAsh 2008”, Warszawa, 6-8 października 2008.
10. Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Ministerstwo Gospodarki. Załącznik do Uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009.
11. Sprawozdanie Komisji Europejskiej dla Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów na temat wdrażania planu działania na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym z dnia 26.01.2017.
12. Stanowisko Rządu do komunikatu Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym.
13. Uliasz-Bocheńczyk A., Mokrzycki E.: Wpływ CO₂ i spalin na właściwości technologiczne zawieszin odpadów energetycznych. „Rocznik Ochrona Środowiska”, t. 16, 2014.
14. W kierunku gospodarki obiegu zamkniętego – wyzwania i szanse. Koalicja na rzecz Gospodarki Obiegu Zamkniętego Reconomy, Warszawa 2016, www.reconomy.pl/.