

Delfina Rogowska

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

## Produkcja biopaliw jako element gospodarki o obiegu zamkniętym

Artykuł koncentruje się na aspektach gospodarki o obiegu zamkniętym, szczególnie z punktu widzenia produkcji biopaliw. W pierwszej części artykułu zostały krótko opisane akty prawne dotyczące idei gospodarki o obiegu zamkniętym i hierarchii postępowania z odpadami. Następnie przedstawiono doświadczenia dotyczące połączenia modeli matematycznych, LCA i gospodarki o obiegu zamkniętym. W ostatniej części przedyskutowano zagadnienie produkcji biopaliw jako części gospodarki o obiegu zamkniętym. W szczególności opracowano wytyczne dla modelu matematycznego do prowadzenia optymalizacji pod kątem gospodarki o obiegu zamkniętym.

Słowa kluczowe: gospodarka o obiegu zamkniętym, biopaliwa, zrównoważona produkcja, LCA.

### Biofuel production as part of a circular economy

The article focuses on aspects of the circular economy, especially from the biofuel production point of view. In the first part of the article, legal acts covering the idea of a “circular economy” and waste hierarchy were briefly described. Subsequently some experiences on combining of mathematical models, LCA and circular economy were presented. Finally biofuel production as a part of a circular economy was discussed. Especially, guidelines for a mathematical model of biofuel production, in order to perform optimization in view of a circular economy were developed.

Key words: circular economy, biofuel, sustainability, LCA.

### Wstęp

Globalna polityka w zakresie ochrony środowiska, widoczna choćby poprzez redukcję emisji gazów cieplarnianych (GHG) do atmosfery, jest w ciągłej fazie rozwoju, a jej poszczególne elementy są przedmiotem licznych badań. Jednak można zaobserwować ewolucję podejścia do zagadnień ochrony środowiska. W początkowej fazie zwracano uwagę na emisję CO<sub>2</sub> „z kominą”, kolejno włączając następne elementy – zwiększenie udziału energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych, np. dyrektywa z 2003 roku [14]. W 2009 roku dyrektywa [14] została uzupełniona. W dalszym ciągu promowany jest wzrost udziału biokom-

ponentów, co przekłada się również na prace nad specyfikacjami dla paliw o podwyższonej zawartości np. etanolu [5]. Zwrócono jednak uwagę, że samo wprowadzenie np. biokomponentów jako składników paliw transportowych może nie przynieść zamierzonego rezultatu. Konieczne jest, aby te biokomponenty zostały wyprodukowane w sposób zrównoważony, a więc bez szkody dla środowiska naturalnego, z udowodnieniem, że generują niższą emisję GHG niż paliwa kopalne [7, 8]. Obecnie mówi się o przejściu na gospodarkę bezodpadową, co stanowi kontynuację dotychczasowej polityki.

### *Circular economy w dokumentach Komisji Europejskiej*

W 2014 roku rozpoczęto prace na wdrożeniem idei *circular economy* do ustawodawstwa Unii Europejskiej [12]. Na wstępie należy zauważyć, że można spotkać różne tłumaczenia zwrotu *circular economy*, takie jak: gospodarka bezodpadowa, gospodarka okrężna, gospodarka o obiegu zamknię-

tym i inne. Wszystkie wymienione odnoszą się do tej samej idei. Zainteresowanie nią spowodował w latach dwutysięcznych boom na towary. W lipcu 2014 roku Komisja Europejska wydała komunikat [15]. Wskazano w nim, że systemy gospodarki o obiegu zamkniętym pozwalają zachować możliwie jak

najdłużej wartość dodaną produktów i wyeliminować odpady. Zachowują one zasoby w obrębie gospodarki, kiedy cykl życia produktu dobiega końca, pozwalając na ich ponowne wielokrotne wykorzystanie w sposób produktywny i tworząc w ten sposób kolejną wartość. Przejście na gospodarkę o bardziej zamkniętym obiegu wymaga zmian w każdym ogniwie łańcucha produktów, od jego projektowania do nowych modeli biznesowych i rynkowych, a następnie od nowych sposobów przekształcania odpadów w zasoby do nowych zachowań konsumentów. Wiąże się to z kompletną zmianą systemową oraz innowacjami nie tylko w technologiach, ale również w organizacji, społeczeństwie, metodach finansowania i w polityce. Nawet w gospodarce, która w dużym stopniu opiera się na obiegu zamkniętym, pozostanie pewien element liniowości, ponieważ istnieje zapotrzebowanie na zasoby dotąd nieeksploatowane, a także usuwa się odpady resztkowe. W komunikacie tym Komisja Europejska dostrzega potrzebę badań i innowacji w tym zakresie, co powinno być realizowane również w programie Horyzont 2020.

Dnia 2 grudnia 2015 roku Komisja Europejska wydała pakiet wspierający przejście gospodarki unijnej na gospodarkę o obiegu zamkniętym. Gospodarka o obiegu zamkniętym oznacza gospodarkę, w której wartość produktów, materiałów i zasobów utrzymuje się jak najdłużej, minimalizując odpady i wykorzystanie zasobów. W gospodarce o obiegu zamkniętym wartość produktów i substancji jest utrzymywana tak długo, jak to możliwe. Minimalizuje się produkcję odpadów, a te powstałe kierowane są do innych zastosowań, tak aby utrzymać ich wartość. Podejście to daje korzyści gospodarce, przyczyniając się do wzrostu innowacji i do tworzenia nowych miejsc pracy. Gospodarka o obiegu zamkniętym ma dać siłę napędową do rozwoju gospodarczego, sprawiając, że gospodarka stanie się bardziej zrównoważona i konkurencyjna w długim okresie [13].

Plan działania UE na rzecz gospodarki bezodpadowej obejmuje zarówno działania ogólne, jak i w odniesieniu do określonych branż i sektorów.

Europejski pakiet na rzecz gospodarki niskoemisyjnej obejmuje dwa główne elementy związane z odpadami:

- zakaz składowania wybranych odpadów na wysypiskach,
- zwiększenie recyklingu.

Prace dotyczące gospodarki o obiegu zamkniętym są nieustannie prowadzone w Komisji Europejskiej. I tak w styczniu 2016 KE wydała dokument [11] podsumowujący prace w tym zakresie. Między innymi wymieniono w nim te akty prawne, które powinny zostać zaktualizowane. Są to:

- dyrektywa 2008/98/WC w sprawie odpadów,
- dyrektywa 1999/31/EC w sprawie składowania odpadów,
- dyrektywa 94/62/EC w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych,

- dyrektywy: 2000/53/WE w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji, 2006/66/WE w sprawie baterii i akumulatorów oraz zużytych baterii i akumulatorów i 2012/19/UE w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego.

Podsumowując, należy stwierdzić, że w obszarze wdrożenia idei gospodarki o obiegu zamkniętym Komisja Europejska podjęła szereg działań. W pierwszej kolejności wydane zostały komunikaty nakreślające problem, rozeznano, które z aktów prawnych wymagają rewizji, przyjęto plan działania i uruchomiono odpowiednie środki na innowacje i inwestycje w tym obszarze. Uwagę zwraca fakt, że dokument [11], wydany w styczniu 2016 roku, nie przywoływał dyrektywy RED, tym samym nie podkreślając roli ani znaczenia idei gospodarki o obiegu zamkniętym w obszarze odnawialnych źródeł energii, podczas gdy aneks do komunikatu [16], wydanego w styczniu 2017 roku, już w obszarze biomasy i bioproduktów zakłada rewizję dyrektywy RED II tak, aby uwzględnić, czy wprowadzić do niej ideę *circular economy*.

Wprowadzenie gospodarki bezodpadowej wiąże się nieodrodnian z wykorzystaniem odpadów, a więc znaczenie tu ma filozofia europejska obchodzenia się z odpadami, wyrażona poprzez zdefiniowaną hierarchię postępowania z nimi.

Hierarchia postępowania z odpadami<sup>1</sup> stanowi podstawę polityki i przepisów UE dotyczących odpadów oraz ma kluczowe znaczenie dla przejścia na gospodarkę o obiegu zamkniętym. Jej podstawowym celem jest ustalenie kolejności priorytetów, która ma zminimalizować negatywne skutki dla środowiska oraz zoptymalizować efektywne gospodarowanie odpadami w ramach zapobiegania powstawaniu odpadów i gospodarowania nimi. Hierarchia ta została przedstawiona na rysunku 1.

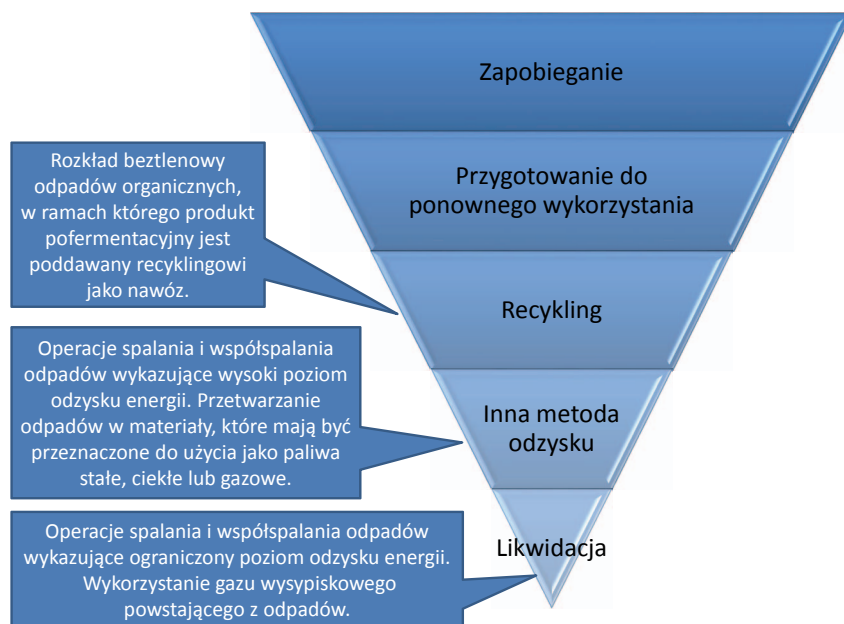
Komunikat [16] wyróżnia poniższe główne procesy przetwarzania odpadów w energię:

- współspalanie odpadów w obiektach energetycznego spalania (np. elektrowniach) oraz w ramach produkcji cementu i wapna,
- spalanie odpadów w przeznaczonych do tego celu obiektach,
- rozkład beztlenowy odpadów ulegających biodegradacji,
- produkcja paliw stałych, ciekłych lub gazowych z odpadów oraz
- inne procesy, w tym spalanie bezpośrednie po przeprowadzeniu pirolizy lub gazyfikacji.

Wymienione powyżej procesy w różny sposób oddziałują na środowisko i zajmują różne pozycje w hierarchii postępowania z odpadami.

<sup>1</sup>Określona w art. 4 dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE w sprawie odpadów oraz uchylającej niektóre dyrektywy, Dz.U. L 312 z 22.11.2008, s. 3.

Ponieważ nie wszystkie odpady można podać recyklingowi, a także ze względu na to, że w trakcie tego procesu pojawiają się dodatkowe strumienie emisji do środowiska naturalnego (GHG, zanieczyszczenia), konieczne jest opracowanie modelu narzędzia do oceny ogólnego wpływu na środowisko przy przejściu z liniowego modelu gospodarki na okrężny.



Rys. 1. Hierarchia odpadów

### Doświadczenia we wdrażaniu idei *circular economy*

Obecnie idea ta jest przedmiotem badań i opracowań w wielu krajach, głównie w Europie [4, 9, 10]. Norwegowie [4] wskazują, że modelem, który może zostać wykorzystany, jest metodyka LCA, ale metodyka rozbudowana o funkcje oceny poszczególnych scenariuszy i ich optymalizację. Przykładem w dobry sposób ilustrującym tę ideę jest wybór sposobu postępowania z papierem makulaturowym. Model powinien dać odpowiedź, co jest bardziej korzystne dla środowiska zamiast składowania na wysypisku: recykling czy wykorzystanie do celów energetycznych. Publikacja [4] zwraca uwagę, że przeprowadzono już wiele prac i badań dotyczących systemów energetycznych, włączając WtE (*waste-to-energy*), biogaz i CCS (*carbon capture and storage*), jednak nie ma jeszcze wystarczającej wiedzy do projektowania procesu i analizy LCA dla instalacji przemysłowej WtE z wylapywaniem CO<sub>2</sub>. Dlatego autorzy [4] podjęli się przeprowadzenia takiej analizy wraz z dokonaniem analizy kosztów. Analiza została wykona-

na dla 17 norweskich elektrowni. Gospodarka okrężna oceniana jest poprzez wskaźnik powtórnego wykorzystania papieru, tworzyw sztucznych i odpadów organicznych. Do przeprowadzenia obliczeń wykorzystano bazę Ecoinvent 3.2 oraz oprogramowanie MATLAB.

Obliczenia wykonano dla czterech scenariuszy:

- składowanie na wysypisku,
- recykling (czyli ponowne użycie – *circular economy*),
- WtE z wylapywaniem CO<sub>2</sub> (CCS),
- WtE.

Badania oceniały nie tylko wpływ wybranych ścieżek zagospodarowania odpadów na efekt cieplarniany (emisja GHG), ale również brały pod uwagę inne kategorie wpływu. W tabelicy 1 zestawiono uzyskane w [4] wyniki badań.

Analiza danych przedstawionych w tabelicy 1 wskazuje, że w zależności od rozpatrywanej kategorii wpływu wybrane ścieżki wykazują zróżnicowane oddziaływanie na środowisko.

Tablica 1. Porównanie wpływu na środowisko naturalne wybranych ścieżek zagospodarowania odpadów, wartości bezwzględne

Ścieżka zagospodarowania odpadów \ Kategoria wpływu na środowisko	WtE	WtE + CCS	<i>Circular economy</i>	Składowisko
GHG [kg CO <sub>2</sub> eq]	8,0 · 10 <sup>8</sup>	3,1 · 10 <sup>8</sup>	5,9 · 10 <sup>8</sup>	8,2 · 10 <sup>8</sup>
NO <sub>x</sub> [kg NO <sub>x</sub> ]	1,5 · 10 <sup>6</sup>	2,1 · 10 <sup>6</sup>	1,6 · 10 <sup>6</sup>	5,1 · 10 <sup>5</sup>
SO <sub>2</sub> [kg SO <sub>2</sub> ]	2,2 · 10 <sup>5</sup>	3,1 · 10 <sup>5</sup>	4,1 · 10 <sup>5</sup>	5,2 · 10 <sup>5</sup>
PM [kg PM]	1,0 · 10 <sup>5</sup>	1,7 · 10 <sup>5</sup>	2,1 · 10 <sup>5</sup>	6,1 · 10 <sup>4</sup>

Rozpatrując emisję gazów cieplarnianych, najmniej korzystne jest składowanie odpadów, a najbardziej – konwersja do energii wraz z wylapywaniem ditlenku węgla. Zupełnie przeciwnie jest, gdy analizujemy emisję tlenków azotu do atmosfery. Natomiast zarówno w przypadku cząstek stałych, jak i ditlenku siarki najkorzystniejsza ze względu na środowisko jest konwersja do energii, a najmniej korzystne składowanie.

Przedstawiony przykład wskazuje, że ocena danej ścieżki postępowania z odpadami jest zagadnieniem skomplikowanym, tym samym skomplikowana będzie optymalizacja procesu zarządzania odpadami, ukierunkowana na minimalizację obciążeń dla środowiska. Ścieżką najbardziej oczywistą wydaje się inkorporacja modelu do metodologii LCA [1, 3, 6].

Ze względu na stopień skomplikowania problemu obliczeniowego opracowanych zostało szereg narzędzi informatycznych. Ważniejsze zostały zebrane poniżej:

- bazujące na normie 14040: SimaPro (PRé Consultants), Umberto (IFU Hamburg and IFEU Heidelberg), TEAM (Ecobalance), GaBi (Department of Life Cycle Engineering of the Chair of Building Physics at the University of Stuttgart and PE International GmbH), POLCAGE (De La Salle University, Philippines, and University of Portsmouth, UK) i GEMIS (Öko-Institut);
- oraz skojarzone z nimi bazy danych: GEMIS, POLCAGE, ECOINVENT;

- ponadto: The Tools for Environmental Analysis and Management (TEAM), stosujące metodę podobną do SimaPro; The GaBi software, zapewniające rozwiązania do oceny kosztów, wpływu na środowisko, aspektów społecznych, jak i procesu optymalizacji; GREET (Greenhouse gases, Regulated Emissions and Energy use in Transportation) oraz EDIP (Environmental Design of Industrial Products), który skupia się na cyklu życia paliw alternatywnych i nośników energii. Również metody obliczeniowe, oparte na LCA, zostały zaimplementowane do takich programów prowadzących symulacje jak: CHEMCAD, the Transient Energy System Simulation Tool (TRNSYS), the MARKET Allocation energy-systems computer model (MARKAL), The Integrated MARKAL-EFOM System (TIMES).

TIMES to model programowania liniowego z wielookresową strukturą. Jego zaletą jest to, że pozwala na indywidualne opracowanie modelu, czyli takie zaprogramowanie obliczeń, które będzie uwzględniało przepływy strumieni pomiędzy poszczególnymi jednostkami, indywidualnie zdefiniowanymi przez użytkownika. Wadą natomiast jest to, że to model programowania liniowego, w związku z czym należy ocenić jego przydatność do zastosowania idei *circular economy*, ponieważ w zależności od postawionego zadania optymalizacyjnego może okazać się nieodpowiedni.

## Przemysł biopaliwowy a idea gospodarki bezodpadowej

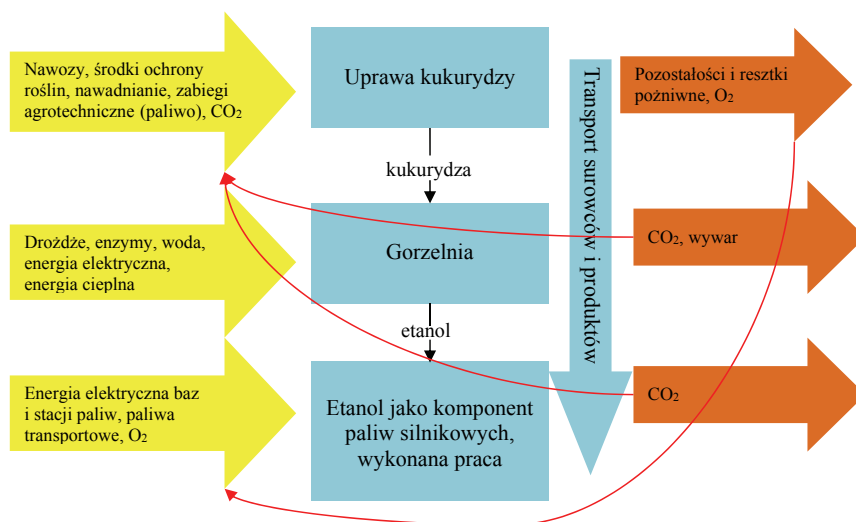
Produkcja biopaliw wpisuje się w ideę gospodarki bezodpadowej po pierwsze z tego względu, że produkty uboczne czy odpady powstające w procesie produkcji biopaliw są pochodzenia biologicznego i ze względu na biologiczny charakter mogą znaleźć zastosowanie w łańcuchach żywnościowych ludzi i zwierząt. Ponadto produkowane są z surowców naturalnych, a więc odpady i produkty uboczne pozyskane w wyniku uprawy surowca również mogą znaleźć odpowiednie zastosowanie.

W celu przeanalizowania możliwości zastosowania idei *circular economy* w produkcji biopaliw wybrano ścieżkę produkcji etanolu z kukurydzy.

Punktem wyjścia do analizy jest zdefiniowanie ścieżki produkcji bioetanolu z kukurydzy. Ścieżka ta została przedstawiona schematycznie na rysunku 2.

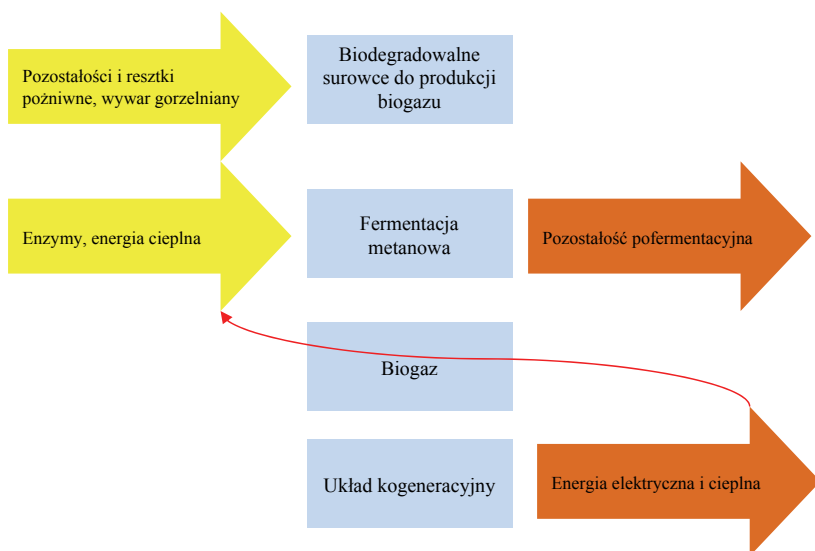
W przedstawionym na rysunku 3 modelu dla każdego głównego etapu zidentyfikowano wejścia (surowce i energię) oraz wyjścia. Ze zidentyfikowanych wejść i wyjść obieg zamknięty: tlen produkowany przez rośliny pod-

czas uprawy i ditlenek węgla uwalniany podczas procesu fermentacji i spalania. Model do obliczeń *circular economy* powinien zawierać równania bilansowe ditlenku węgla zasymilowanego przez kukurydzę, uwolnionego podczas fermentacji oraz powstałego w wyniku spalania paliw transportowych i stosowanych w urządzeniach i maszynach rolniczych.



Rys. 2. Ścieżka produkcji bioetanolu z kukurydzy





Rys. 3. Ścieżka produkcji biogazu

Pozostałe zidentyfikowane wejścia i wyjścia nie pokrywają się. Opierając się na opracowaniach literaturowych, w takim przypadku należy poszerzyć granice systemu i włączyć inny łańcuch dostaw, którego wejścia są tożsame z wyjściami przedmiotowego modelu. Z danych literaturowych wynika, że w przypadku produkcji biopaliw takim łańcuchem skojarzonym jest produkcja biogazu. Na rysunku 3 przedstawiono schemat biogazowni.

W tym przypadku obieg można zamknąć tylko dla zapotrzebowania na energię cieplną. Pozostałe wyjścia oraz wejścia zostają nadal w układzie liniowym. Tak więc zadaniem do wykonania jest połączenie tych dwóch ścieżek, będących układem liniowym, w układ okrężny. Połączenie tych dwóch ścieżek przedstawiono na rysunku 4.

W przedstawionym na rysunku 4 schemacie jedynymi wejściami, które nie stanowią wyjść z analizowanego układu, są

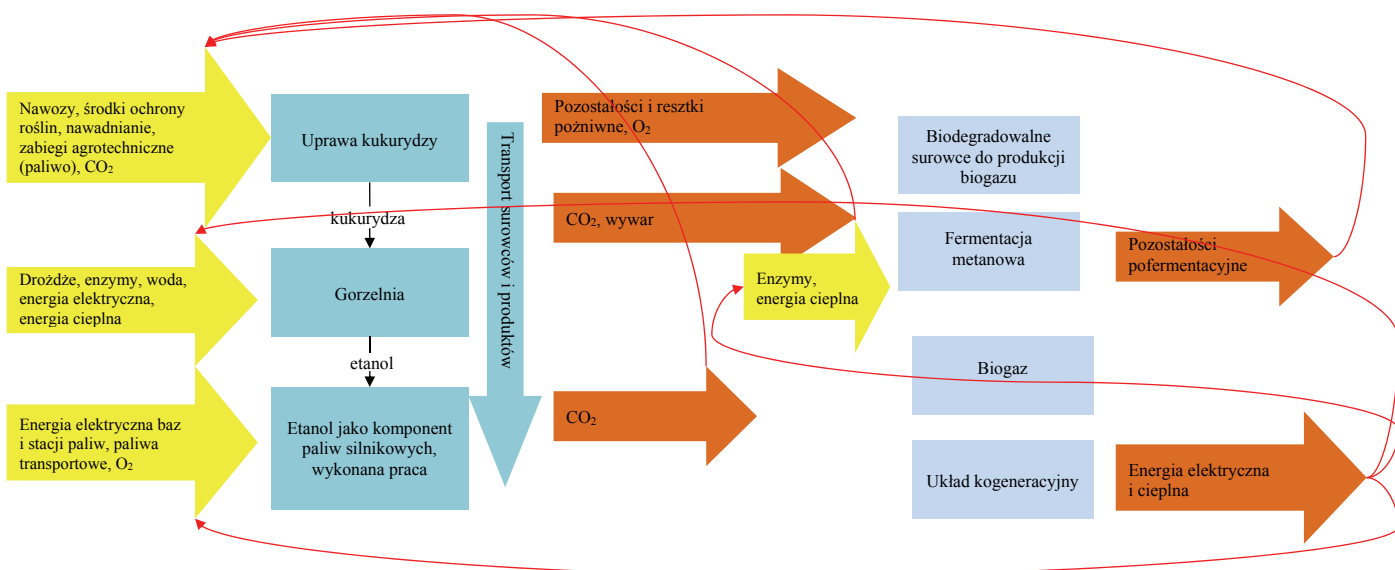
enzymy i drożdże niezbędne w procesie fermentacji (alkoholowej i metanowej). Niezagospodarowane uprzednio wywar gorzelniany, pozostałości i resztki poźniwne stały się surowcem do produkcji biogazu, a energia uzyskana w wyniku spalania biogazu została skierowana do gorzelnii. Pozostałość pofermentacyjna może być wykorzystana jako nawóz w uprawie kukurydzy, zmniejszając tym samym zapotrzebowanie na nawozy mineralne i emisję GHG związaną z ich produkcją.

Tak więc schematycznie zostały przedstawione strumienie wejściowe i wyjściowe oraz wzajemne pomiędzy nimi powiązania. Jednak zamknięcie obiegu wymaga, aby strumienie te zbilansowały się. W celu zwiększenia elastyczności modelu można go uzupełnić o kolejne elementy, zasadne jest więc rozważenie innych potencjal-

nych zastosowań strumieni ubocznych powstających na ścieżce produkcji biopaliw.

Idea *circular economy* każe łączyć pomiędzy sobą łańcuchy dostaw różnych produktów, tak aby wyjścia z jednego procesu stanowiły wejścia do drugiego procesu, nie pozostawiając wyjść, które nie byłyby skierowane do kolejnego etapu. Jeśli przyjmiemy, że idea ta ma zostać wdrożona do produkcji biopaliw, trzeba uwzględnić całą ścieżkę, począwszy od pozyskania surowca. Należy tu zwrócić uwagę na dwa aspekty zidentyfikowane w niniejszej pracy:

- opracowanie bilansu masowego i energetycznego dla całego układu zamkniętego. Tu szczególnie istotna jest znajomość mechanizmów i reakcji fizykochemicznych zachodzących w poszczególnych ogniwach, np. w jaki sposób zmniejszenie ilości surowca do biogazowni (przy alternatywnym skierowaniu wywaru gorzelnianego jako nawozu)



Rys. 4. Schemat wdrożenia gospodarki o obiegu zamkniętym w produkcji bioetanolu

wpłyne na uzysk biogazu i tym samym produkcję energii elektrycznej i ciepłej;

- opracowanie metodologii oceny wpływu na środowisko takiego układu, szczególnie pod kątem optymalizacji, gdy możliwe są alternatywne zastosowania danego strumienia wewnątrz układu. Taki przypadek występuje, gdy wywar gorzelniany może stanowić jednocześnie nawóz na pola, zmniejszając zapotrzebowanie na nawozy mineralne i związaną z tym emisję GHG, i wsad do biogazowni, gdzie produkowana jest energia elektryczna i ciepła.

Przeprowadzenie takich symulacji dla układów połączonych może mieć znaczenie przy podejmowaniu decyzji o wyborze danego układu, może być wykorzystane do optymalizacji i zarządzania zintegrowanymi procesami, jako narzędzie wspierające proces decyzyjny, do ustanawiania kierunków polityki na poziomie państwa czy innego obszaru administracyjnego. Model taki powinien integrować metodologię LCA z narzędziami do optymalizacji i oceny kosztów.

Pierwszym krokiem jest zdefiniowanie granic systemu. W tym przypadku granice systemu obejmować będą nie tylko danego przedsiębiorcę (np. producenta etanolu), ale cały łańcuch jego dostaw oraz przedsiębiorstwa powiązane z nim biznesowo. Na przykładzie producenta etanolu będą to:

- gorzelnia,
- odbiorca etanolu/ użytkownik paliwa,
- rolnik,
- biogazownia,
- dostawcy enzymów i drożdży,
- producenci nawozów sztucznych.

W zależności od indywidualnego przypadku należy określić poziom szczegółowości, tzn. czy jednostkę stanowi gorzelnia, czy odrębnie etap fermentacji i destylacji.

Istotną sprawą jest określenie funkcji celu. Jak wspomniano powyżej, obliczenia mogą być prowadzone ze względu na różne potrzeby. Do rozważenia są następujące scenariusze:

- funkcją celu jest minimalizacja kosztów przy założonym poziomie odzysku strumieni odpadowych;
- funkcją celu jest minimalizacja kosztów przy założonym poziomie redukcji negatywnego wpływu na środowisko (LCA);
- funkcją celu jest maksymalizacja odzysku strumieni odpadowych przy minimalizacji kosztów bądź minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko naturalne.

Jak wykazano w pracy [4], maksymalizacja odzysku surowców odpadowych nie jest jednoznaczna z minimalizacją emisji czynników szkodliwych do atmosfery;

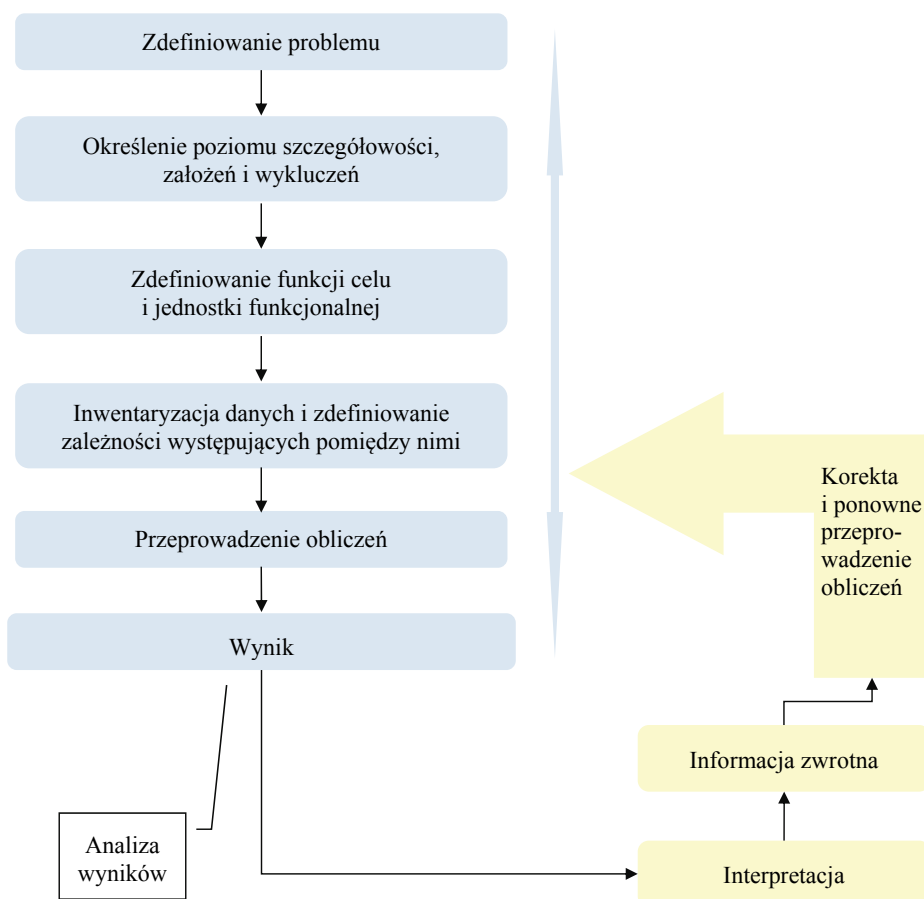
- funkcją celu jest minimalizacja emisji negatywnych czynników do atmosfery przy założonym stopniu odzysku strumieni odpadowych i/lub założonych kosztach;
- funkcją celu może być wyznaczenie zadanych wartości (stopnia odzysku strumieni odpadowych, emisji GHG, kosztów, innych) dla dwóch scenariuszy w celu ich porównania.

Kolejnym krokiem jest zdefiniowanie jednostki funkcjonalnej. W tym momencie, wobec braku ustawodawstwa i zdefiniowanych kryteriów oceny, zdefiniowanie takiej jednostki zależy od celu, dla którego przeprowadzane są obliczenia. Jednostka funkcjonalna w bezpośredni sposób powiązana jest z przyjętą funkcją celu.

W kolejnym kroku należy zdefiniować powiązania pomiędzy zidentyfikowanymi elementami, tzn. „połączyć” wyjścia i wejścia.

Po zbudowaniu „ram modelu” trzeba przeprowadzić inwentaryzację danych, wprowadzić je do tabel inwentaryzacyjnych oraz określić stopień szczegółowości obliczeń, przyjęte założenia i wykluczenia.

Po zdefiniowaniu przepływów strumieni w obrębie granic systemów konieczne jest wprowadzenie do modelu ograniczeń



Rys. 5. Schemat postępowania dla przeprowadzenia obliczeń *circular economy*

zarówno ilościowych, jak i jakościowych dla każdej jednostki oddzielnie. Ograniczenia takie mogą wynikać np. z dostępności surowca czy wydajności pracy jednej z instalacji. W przypadku produktów, dla których określone są wymagania jakościowe, a ich dotrzymanie związane jest z parametrami pracy instalacji, w której są wytwarzane, ograniczenia te również powinny być wprowadzone do modelu. Należy tu zwrócić uwagę, że w wielu przypadkach zależności dla parametrów jakościowych mają postać funkcji nieliniowych. Wytyczne te przedstawiono na rysunku 5.

Należy też zwrócić uwagę, że istotnym etapem jest faza interpretacji uzyskanego wyniku, który następnie stanowi daną wejściową do procesu decyzyjnego, dla którego zostały przeprowadzone obliczenia.

### Podsumowanie

Wdrożenie idei *circular economy* stanowi kolejny krok w kierunku tworzenia gospodarki chroniącej środowisko naturalne i zasoby Ziemi. Przedstawiony materiał wskazuje, że gałąź gospodarki, jaką jest produkcja biopaliw, nawet tych biopaliw pierwszej generacji, wpisuje się w tę ideę. Należy tu zaznaczyć, że jest to idea stosunkowo nowa i na tym etapie jej rozwój, szczególnie w obszarze źródeł energii, wymaga dalszych badań.

W odniesieniu do aktualnej sytuacji prawnej, tzn. braku zdefiniowanych wymagań w tym zakresie, opracowanie konkretnego modelu będzie miało charakter rozpoznawczy i opiniotwórczy.

Dla każdego elementu należy opracować model matematyczny składający się z szeregu równań i nierówności do rozwiązania. Równania stosowane są wtedy, gdy wynik ma osiągnąć zadaną wartość, a nierówności, gdy wynik ma się mieścić w danym przedziale.

Lewą stronę macierzy równań stanowią zdefiniowane wejścia, a prawą stronę wyjścia. Zadaniem jest takie znalezienie rozwiązania tego zbioru równań, aby osiągnąć cel postawiony w funkcji celu (np. emisja GHG najniższa dla całego układu).

Badania te powinny być prowadzone dwutorowo w kierunku:

- opracowania modelu, który pozwoliłby na optymalizację gospodarki pod kątem minimalizacji odpadów wraz z jednoczesną minimalizacją obciążeń dla środowiska,
- opracowania standardu, który oceniałby daną technologię czy układ technologii na zgodność z ideą *circular economy*, co byłoby następnie przedmiotem certyfikacji.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2018, nr 2, s. 156–163, DOI: 10.18668/NG.2018.02.10

Artykuł nadesłano do Redakcji 14.11.2017 r. Zatwierdzono do druku 18.01.2018 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy pt.: *Opracowanie założeń do wdrożenia idei „circular economy” w produkcji biopaliw* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 0103/TP/17, nr archiwalny: DK-4100-103/17.

### Literatura

- [1] Bojarski A.D., Laínez J.M., Espuña A., Puigjaner L.: *Incorporating environmental impacts and regulations in a holistic supply chains modeling: an LCA approach*. Computers and Chemical Engineering 2009, vol. 33, nr 10, s. 1747–1759.
- [2] Głuszek A., Magiera J.: *Normalizacja obciążeń środowiska naturalnego w cyklu produkcji olejów napędowych*. Czasopismo Techniczne. Mechanika 2008, z. 2-M, [https://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i0/i5/i0/r1050/GluszekA\\_NormalizacjaObciazzen.pdf](https://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i0/i5/i0/r1050/GluszekA_NormalizacjaObciazzen.pdf) (dostęp: listopad 2014).
- [3] Guillén-Gosálbez G., Caballero J., Jiménez L.: *Application of life cycle assessment to the structural optimization of process flowsheets*. Industrial & Engineering Chemistry Research 2008, vol. 47, s. 777–789.
- [4] Lusselet C., Cherubini F., Oreggioni G.D., del Alamo Serano G., Becidan M., Hu X., Rørstad P., Hammer Strømman A.: *Norwegian Waste-to-Energy: Climate change, circular economy and carbon capture and storage*. Resources, Conservation & Recycling 2017, vol. 126, s. 50–61.
- [5] Pałuchowska M.: *Prace nad specyfikacją jakościową paliwa E10+*. Nafta-Gaz 2017, nr 10, s. 799–805, DOI: 10.18668/NG.2017.10.10.
- [6] Pieragostini C., Mussati M.C., Aguirre P.: *On process optimization considering LCA methodology*. Journal of Environmental Management 2012, vol. 96, s. 43–54.
- [7] Rogowska D.: *Renewable materials as feedstock for energy production and other applications*. Nafta-Gaz 2017, nr 10, s. 793–798, DOI: 10.18668/NG.2017.10.09.
- [8] Rogowska D.: *Wykorzystanie OZE w energetyce a zrównoważony rozwój*. Nafta-Gaz 2017, nr 8, s. 616–623, DOI: 10.18668/NG.2017.08.10.
- [9] Vega-Quezada C., Blancob M., Romeroc H.: *Synergies between agriculture and bioenergy in Latin American countries: A circular economy strategy for bioenergy production in Ecuador*. New Biotechnology 2017, vol. 39, s. 81–89.
- [10] Zhou Z., Zhao W., Chen X., Zeng H.: *MFCA extension from a circular economy perspective: Model modifications and case study*. Journal of Cleaner Production 2017, vol. 149, s. 110–125.

### Akty prawne i normatywne

- [11] Bourguignon D.: *Circular economy package: Four legislative proposals on waste*. Briefing, EU Legislation in Progress, European Parliamentary Research Service. January 2016.
- [12] Bourguignon D.: *Turning waste into a resource. Moving towards a „circular economy”*. Briefing, European Parliamentary Research Service, December 2014; [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2014/545704/EPRS\\_BRI\(2014\)545704\\_REV1\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2014/545704/EPRS_BRI(2014)545704_REV1_EN.pdf) (dostęp: lipiec 2017).
- [13] *Circular economy*, strona internetowa Komisji Europejskiej;



[https://ec.europa.eu/growth/industry/sustainability/circular-economy\\_pl](https://ec.europa.eu/growth/industry/sustainability/circular-economy_pl) (dostęp: lipiec 2017).

- [14] Dyrektywa 2003/30/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 8 maja 2003 r. w sprawie wspierania użycia w transporcie biopaliw lub innych paliw odnawialnych. Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej, Dz.U. L 123 z 17.05.2003, s. 42–46.
- [15] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów „Ku gospodarce o obiegu zamkniętym: program «zero odpadów» dla Europy” z dnia 2.07.2014 r. COM(2014)398 final; <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:52014DC0398> (dostęp: październik 2017).
- [16] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu

Regionów „Znaczenie przetwarzania odpadów w energię w gospodarce o obiegu zamkniętym” z dnia 26.01.2017 r. COM(2017)34 final (październik 2017).



Mgr inż. Delfina ROGOWSKA  
Starszy specjalista badawczo-techniczny, zastępca kierownika Zakładu Paliw i Procesów Katalitycznych. Biuro Systemów Certyfikacji Biomasy Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy ul. Lubicz 25 A, 31-503 Kraków  
E-mail: [delfina.rogowska@inig.pl](mailto:delfina.rogowska@inig.pl)

## OFERTA

### ZAKŁAD PALIW I PROCESÓW KATALITYCZNYCH

Zakres działania:

- opracowywanie, rozwijanie i wdrażanie technologii produkcji LPG, benzyn silnikowych, paliw lotniczych, olejów napędowych, biopaliw I i II generacji oraz olejów opałowych, prowadzenie nadzoru technologicznego nad opracowanymi i wdrożonymi technologiami;
- ocena i atestacja komponentów paliwowych, w tym biokomponentów I i II generacji oraz komponentów ze źródeł alternatywnych;
- opracowywanie technologii uszlachetniania paliw i biopaliw silnikowych oraz olejów opałowych i rozpuszczalników, dobór odpowiednich dodatków uszlachetniających;
- wykonywanie badań i ekspertyz dotyczących jakości paliw i biopaliw silnikowych, olejów opałowych, rozpuszczalników i ich komponentów oraz ocena zgodności ze specyfikacją;
- ocena skażenia mikrobiologicznego paliw w systemie produkcji i dystrybucji;
- ocena właściwości niskotemperaturowych olejów napędowych i opałowych;
- badania stabilności pozostałościowych olejów opałowych i kompatybilności ich komponentów;
- opracowywanie, rozwijanie i wdrażanie nowych wodorowych procesów katalitycznych, ocena testowa i procesowa katalizatorów stosowanych w przemyśle rafineryjnym w procesach zeoformingu, hydroodsiarczania, hydrorafinacji i katalitycznego odparafinowania;
- ocena oddziaływania na środowisko paliw, biopaliw i innych produktów pochodzących z przemysłu rafineryjnego i petrochemicznego w oparciu o analizę cyklu życia produktu (LCA).



**Kierownik:** dr inż. Jan Lubowicz  
**Adres:** ul. Łukasiewicza 1, 31-429 Kraków  
**Telefon:** 12 617 75 50  
**Faks:** 12 617 75 22  
**E-mail:** [jan.lubowicz@inig.pl](mailto:jan.lubowicz@inig.pl)

