Marzena Rydzewska-Włodarczyk¹, Emilia Drożłowska², Marcin Sobieraj³

¹Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Ekonomiczny
Zakład Ekonomii i Rachunkowości
e-mail: mrydzewska@zut.edu.pl

²Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Ekonomiczny
Studenckie Koło Naukowe Rachunkowości „FIFO”
e-mail: emiliadrozlowska@gmail.com

³DGS Business Services Sp. z o.o. w Szczecinie
e-mail: sobieraj.m90@gmail.com

Wybrane zagadnienia identyfikacji, wyceny i kalkulacji kosztów produkcji biopaliw trzeciej generacji

Kody JEL: D24, M41

Słowa kluczowe: mikroalgi, biopaliwa, biodiesel, koszty produkcji, kalkulacja kosztów

Streszczenie. Ustawiczny wzrost zapotrzebowania na różnego rodzaju energię przyczynia się do poszukiwania alternatywnych jej źródeł i surowców. W artykule przedstawiono wyniki badań związanych z identyfikacją, wyceną i kalkulacją kosztów produkcji biopaliw przy wykorzystaniu mikroalg. Treść artykułu stanowi charakterystyka procesów produkcji biodiesla i biometanu z mikroalg, na podstawie której zostały wyodrębnione koszty poszczególnych faz i procesów produkcji tych biopaliw oraz sformułowane zasady kalkulacji kosztów ich produkcji. Podjęte w artykule rozważania mogą stanowić podstawę do analizy i oceny kosztów produkcji oraz wyników finansowych przedsiębiorstw wytwarzających biopaliwa na bazie mikroalg.

Wprowadzenie

Rozwój gospodarczy wiąże się ze wzrastającym zapotrzebowaniem na energię. Alternatywę dla nieodnawialnych surowców energetycznych, takich jak węgiel, ropa naftowa czy gaz ziemny, stanowi szeroko dostępna biomasa. Produkowane z niej paliwa mogą mieć postać biopaliw stałych, ciekłych lub gazowych. Biopaliwa znajdują coraz szersze zastosowanie gospodarcze. Podkreśla się również znaczenie ich wykorzystania

dla ochrony i poprawy stanu środowiska naturalnego. Mimo różnych problemów związanych z powszechnym ich stosowaniem badania prowadzone nad optymalizacją procesów produkcji biopaliw wskazują, że w przyszłości zastąpią one paliwa konwencjonalne.

Produkcja biopaliw – jak każda produkcja – jest związana z powstawaniem kosztów. Ich pomiar i wycena umożliwiają kalkulację kosztów, a w efekcie analizę ich poziomu i zmian oraz podejmowanie działań optymalizacyjnych w tym zakresie. Złożoność i odmienność procesów produkcji biopaliw z wykorzystaniem różnego rodzaju biomasy powoduje konieczność prowadzenia odrębnej analizy kosztów produkcji biopaliw z zastosowaniem poszczególnych surowców. W związku z tym w artykule przedstawiono wyniki badań prowadzonych nad kosztami produkcji biopaliw z mikroalg. Do wyboru tego surowca do produkcji biopaliw przyczyniła się wydajność otrzymywanego z niego oleju oraz produktywność uzyskiwanego biodiesla. Celem artykułu jest przedstawienie zasad identyfikacji kosztów poszczególnych faz i procesów produkcji biopaliw z mikroalg oraz zasad kalkulacji kosztów produkcji biometanu i biodiesla. Podjęte rozważania mogą stanowić podstawę do analizy i oceny kosztów produkcji oraz wyników finansowych przedsiębiorstw wytwarzających biopaliwa na bazie mikroalg.

1. Charakterystyka biopaliw

Biopaliwem nazywa się każde paliwo powstałe w wyniku przetwarzania biomasy, czyli surowców wytworzonych z organizmów żywych, to jest zwierzęcych, roślinnych lub mikroorganizmów (Klimiuk, Pawłowska, Pokój, 2012, s. 82). W związku z tym biopaliwa zalicza się do grupy paliw naturalnych. Z analizy opracowań literaturowych wynika, że można wyróżnić trzy podstawowe ich rodzaje, to jest paliwa¹:

- a) stałe, do których zaliczyć można słomę (w postaci bel, kostek, brykietów), granulat trocinowy lub słomiany (tzw. pellet), drewno, siano i inne przetworzone odpady roślinne;
- b) ciekłe, w grupie których wyróżnia się biobenzyny otrzymywane w drodze fermentacji alkoholowej węglowodanów do etanolu, fermentacji butylowej biomasy do butanolu lub zestryfikowanych w biodiesel olejów roślinnych, na przykład olej rzepakowy;
- c) gazowe, gdzie wyodrębnia się biogazy powstałe w wyniku fermentacji bez-tlenowej ciekłych i stałych odpadów rolniczej produkcji zwierzęcej oraz gazy drzewne powstałe w procesie zgazowania biomasy.

¹ Podział biopaliw ze względu na ich stan skupienia jest zawarty w aneksie nr 1 do Komunikatu Komisji Europejskiej nr 34 z 2006 r. *Strategia UE na rzecz biopaliw*. SEC (2006) 34 końcowy. W dokumencie tym wprowadzono po raz pierwszy również takie pojęcia, jak pierwsza i druga generacja biopaliw (por. s. 5–6).

Inne kryterium podziału biopaliw pozwala wyodrębnić biopaliwa (Klimiuk i in., 2012, s. 84):

- a) konwencjonalne (pierwszej generacji), które są produkowane z cukru, skrobi lub oleju roślinnego;
- b) ulepszone (drugiej generacji) – produkowane z trwałego surowca, przy czym trwałość surowca jest określana między innymi z perspektywy jego dostępności, wpływu na emisję gazów cieplarnianych oraz wpływu na bioróżnorodność i zużycie terenu;
- c) trzeciej generacji, czyli biopaliwa produkowane z glonów oraz innych mikroorganizmów.

Obecnie są podejmowane badania nad czwartą generacją biopaliw, a propozycja jej wydzielenia wynika z konieczności zamknięcia bilansu dwutlenku węgla lub eliminacji jego oddziaływania na środowisko. Technologie produkcji biopaliw czwartej generacji powinny uwzględniać procesy CCS (*carbon capture and storage*), czyli wychwyty i składowania węgla na etapie ich wytwarzania. W związku z tym do produkcji paliw czwartej generacji mają służyć rośliny o zwiększonej, w tym nawet zmodyfikowanej genetycznie, asymilacji dwutlenku węgla w czasie uprawy (Biernat, 2012, s. 1179).

Biopaliwa posiadają szereg zalet, które mogą skłaniać do upowszechniania ich stosowania i zastępowania tradycyjnych paliw wytwarzanych na bazie surowców kopalnych (ropy, gazu ziemnego i innych). Przede wszystkim są bardziej przyjazne dla środowiska, emitując mniej zanieczyszczeń. Wzrost ich zastosowania mógłby także determinować większe zapotrzebowanie na rośliny energetyczne i inne surowce wymagane do ich produkcji, a tym samym pobudzać produkcję rolniczą. Co więcej, z uwagi na to, że surowce do ich produkcji można wyhodować, biopaliwa mogą być podstawą budowy bezpieczeństwa energetycznego w porównaniu do ograniczonych zasobów wykorzystywanych jako surowce do produkcji standardowych paliw.

2. Charakterystyka alg jako surowca do produkcji biopaliw trzeciej generacji

Algi to „grupa najczęściej samożywnych roślin plechowych, występujących głównie w wodach morskich i słodkich” (Illman, Scragg, Shales, 2000)². Charakteryzują się zróżnicowaniem pod kątem wielkości, ponieważ zakwalifikować do tej grupy można małe organizmy jednokomórkowe (mikro), jak i wielokomórkowe (makro). Ciało alg stanowi jednorodną lub zbudowaną z mało zróżnicowanych komórek plecha wielkości od kilku mikrometrów do kilku metrów, mogąca przybierać kształt przypominający liście lub łodygi.

² Algi można też zdefiniować jako eukariotyczne fotosyntetyzujące mikroorganizmy, które szybko rosną, znoszą ostre warunki hodowli, posiadają prostą budowę komórkową (Mata, Martins, Caetano, 2010, s. 217–232). Są grupą organizmów plechowych, najczęściej samożywnych, żyjących w środowisku wodnym lub miejscach wilgotnych.

Algi są bogatym źródłem takich pierwiastków, jak cynk, fluor, fosfor, magnez, żelazo, wapń oraz jod. Przez wzgląd na swoje właściwości posiadają szerokie zastosowanie między innymi w przemyśle: spożywczym, na przykład do produkcji suplementów diety, zagęstników i stabilizatorów, kosmetycznym, jako składnik kremów, balsamów, masek, lub farmaceutycznym, na przykład w inżynierii tkankowej i jako nośnik leków. Algi znajdują ponadto zastosowanie w rolnictwie (Chojnacka, Saeid, Michalak, 2012, s. 1235 i n.; *Innowacyjne wykorzystanie alg*, 2014; Górka, 2011, s. 5) oraz w procesach bioremediacji środowisk zanieczyszczonych (Munoz, Guieyesse, 2006). Obecnie, mimo że pomysł wykorzystania mikroalg jako surowca do produkcji paliwa nie jest nowy (Nagle, Lemke, 1990), są prowadzone intensywne badania nad wykorzystaniem mikroalg również w produkcji biomasy na cele energetyczne oraz do produkcji biopaliw trzeciej generacji (Zabochnicka-Świątek, Bień, Ligienza, 2010). O opłacalności wykorzystania tych mikroorganizmów do produkcji bioenergii świadczy głównie wyższa w odniesieniu do innych roślin energetycznych wydajność i produktywność otrzymywanego paliwa (por. tab. 1).

Tabela 1. Porównanie wybranych cech soi, rzepaku, palmy oraz mikroalg w kontekście produkcji biodiesla

Surowiec	Zawartość oleju (% w/w)	Wydajność oleju (l/ha/rok)	Wykorzystanie terenu (m ² /rok/kg biodiesla)	Produktywność biodiesla (kg/ha/rok)
Soja	18	636	18	562
Rzepak	41	974	12	862
Palma	36	5366	2	4747
Mikroalgi	30	58 700	0,2	51 927
	70	136 900	0,1	121 104

Źródło: Dąbrowski, Bednarski (2012), s. 23 oraz Frąc, Jezierska-Tys, Tys (2009), s. 634.

Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 1, algi cechuje stosunkowo wysoka zawartość oleju, co przekłada się na jego wydajność (do blisko 140 000 l/ha/rok), która jest ponadto odwrotnie proporcjonalna do powierzchni, którą należy wykorzystać do hodowli glonów (0,2–0,1 m²/rok/kg). Biodiesel wytwarzany z alg ma również najwyższą produktywność (od 51 927 do 121 104 kg/ha/rok). Wyniki zaprezentowanej analizy porównawczej są bezpośrednią przesłanką badania kosztów produkcji biopaliw z mikroalg.

3. Proces hodowli mikroalg oraz otrzymywania na ich bazie wybranych biopaliw

W zależności od rodzaju wykorzystywanych składników komórkowych z mikroalg można otrzymać (Zabochnicka-Świątek, Bień, Ligienza, 2010): 1) biometan produkowany

przez beztlenowe trawienie biomasy alg; 2) biodiesel powstający z oleju pozyskanego z alg; 3) bioetanol produkowany w procesach fermentacji i destylacji. Produkcja biopaliwa jest jednak złożona i składa się z wielu procesów i czynności. Ich kolejność oraz strukturę przedstawiono na rysunku 1.

Rysunek 1. Schemat procesu produkcji biopaliw trzeciej generacji z uwzględnieniem bioremediacji CO₂

Źródło: Och, Łaska (2013), s. 478, za: Dragone, Fernandes, Vicente, Teixeira (2010).

Jak wykazano na rysunku 1, proces produkcji paliwa rozpoczyna się od wyhodowania mikroalg, które następnie muszą zostać przetworzone. Hodowlę mikroalg poprzedzić należy przygotowaniem podłoża zawierającego pierwiastki biogenne. Idealnym medium hodowli glonów mogą być też ścieki komunalne oraz poprodukcyjne, przykładowo z przemysłu spożywczego (Czekała, Lewicki, Janczak, 2013). W dalszej kolejności należy pozyskać organizmy do hodowli mikroalg, przy czym proces hodowli może być prowadzony³: w otwartych stawach lub w bioreaktorach. Dotychczas najpopularniejszą metodą hodowli alg jest ich hodowla w stawach, czyli płytkich zbiornikach, które tworzą zamknięte pętle recykulacyjne⁴. Stawy są też uważane za najefektywniejszy system z uwagi na stosunkowo niskie koszty ich założenia i utrzymania (Lundquist, Woertz, Quinn, Benemann, 2010). W Polsce hodowla tą metodą jest prowadzona jedynie w okresie od kwietnia do października (Dąbrowski, Bednarski, 2012). Proces wzrostu alg polega na ciągłym ich przemieszczaniu, po to aby zapobiegać ich przywieraniu do ścianek basenu⁵. Czas wzrostu alg przy użyciu tej metody szacuje się na około 7–10 dni.

Druga metoda hodowli surowca do produkcji biopaliw wykorzystuje bioreaktory⁶. Są to urządzenia, które umożliwią pełną kontrolę procesu hodowli oraz stałe monitorowanie substratów i produktów reakcji. Produktywność uzyskana z fotobioreaktora jest

³ Szerzej na temat metod: Molina Grima, Acien Fernandez, Garcia Camacho, Chisti (1999), s. 231–247; Sanchez Miron, Contreras Gomez, Garcia Camacho, Molina Grima, Chisti (1999), s. 249–270.

⁴ Jest to metoda popularna w krajach azjatyckich (Larkum, Ross, Kruse, Hankamer, 2012). Warto dodać, że stawy nadają się zarówno do hodowli mikroalg, jak i większych organizmów, takich jak listownica.

⁵ Schemat budowy stawu do hodowli mikroalg zob. Jorquera, Kiperstok, Sales, Embiruçu, Ghirardi (2010).

⁶ Przykład budowy bioreaktora zob. <http://innpoland.pl>.

większa niż w przypadku stawu hodowlanego, jednak wiąże się z większymi nakładami inwestycyjnymi, które wynikają głównie z drogiego elementów konstrukcyjnych. Hodowlę można, podobnie jak w wypadku stawów, prowadzić na zewnątrz, korzystając z naturalnego oświetlenia, albo w warunkach doświadczalnych z wykorzystaniem różnych źródeł światła (Molina Grima, Acién Fernandez, Garcia Camacho, Chisti, 1999). Po upływie określonego czasu hodowli glony nadają się do zbioru. Proces ten wykonywany może być za pomocą wielu technik, jednak poleca się metodę biologicznej lub chemicznej flokulacji ze względu na ograniczone ryzyko uszkodzenia surowca. Metoda ta zakłada dodanie do roztworu alg chemicznego odczynnika, który powoduje ich osadzanie się na ściankach (basenu lub reaktora) oraz umożliwia ich zebranie za pomocą odpowiednich sieci (Larkum, Ross, Kruse, Hankamer, 2012).

Dalsze procesy produkcji biopaliwa są zróżnicowane w zależności od rodzaju uzyskiwanego produktu. W wypadku biometanu zebrane glony należy poddać procesowi fermentacji. Wymaga to ich umieszczenia w specjalnie wydzielonych fermentatorach, co prowadzi do wydzielania się gazu (biopaliwa). Powstały gaz jest transportowany (za pomocą sprężarek) do przeznaczonych na ten cel specjalnych zbiorników, tak zwanych lagun.

Z kolei produkcja biodiesla przebiega odmiennie od produkcji biometanu. Po zbiorze mikroalg zostają poddane procesowi suszenia przy użyciu specjalnej aparatury, na przykład suszarki rozpyłowej. Alternatywą dla mechanicznego suszenia glonów jest wykorzystanie naturalnej energii słonecznej. Proces ten generuje stosunkowo niewielkie koszty, jednak jest bardziej czasochłonny. Po wysuszeniu glonów następuje zniszczenie ich komórek z użyciem ultradźwięków. W tym procesie możliwe jest uzyskanie oleju (Behera i in., 2014). Ostatnią fazą produkcji biodiesla jest transestryfikacja. Jest to proces chemiczny przeprowadzany z użyciem metanolu i katalizatora oraz zastosowaniem wysokiej temperatury. Otrzymane w ten sposób paliwo musi zostać poddane oczyszczeniu (Radziemska i in., 2009).

Znajomość procesów technologicznych niezbędnych do uzyskania wybranych rodzajów biopaliw pozwala na podjęcie problematyki ich identyfikacji, pomiaru oraz wyceny.

4. Identyfikacja kosztów produkcji biopaliw trzeciej generacji

Kalkulacja kosztów produkcji biopaliw przy wykorzystaniu mikroalg wymaga identyfikacji procesów wytwarzania biomasy i paliwa, ustalenia nakładów czynników produkcji i ich kosztów ponoszonych w ramach poszczególnych procesów pozyskania surowca i jego przetworzenia w paliwo, co zostało przedstawione w tabelach 3–5.

Tabela 3. Procesy, nakłady i koszty produkcji biomasy (mikroalg) do produkcji biopaliwa

Etap (faza) produkcji	Procesy	Nakłady	Koszty
Hodowla mikroalg	Przygotowanie podłoża	Surowce	Zużycie materiałów
	Zakup organizmów		
	Wzrost alg (stawy)	Materiały (woda), energia elektryczna, robocizna, praca maszyn (na doświetlenie i napędzanie)	Zużycie energii
			Zużycie materiałów
			Amortyzacja
			Wynagrodzenia
			Narzuty na wynagrodzenia
	Wzrost alg (bioreaktor)	Materiały (CO ₂ , woda), energia elektryczna, praca maszyn, robocizna	Zużycie materiałów
			Zużycie energii
			Amortyzacja
			Wynagrodzenia
			Narzuty na wynagrodzenia
Zbiór plonu	Zakup odczynników i sit	Materiały i wyposażenie	Zużycie materiałów
	Mechaniczne odławianie	Robocizna	Wynagrodzenia
			Narzuty na wynagrodzenia

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Procesy, nakłady i koszty produkcji biometanu na bazie mikroalg

Etap (faza) produkcji	Procesy	Nakłady	Koszty
Fermentacja	Przeniesienie glonów do fermentatorów	Robocizna	Wynagrodzenia
			Narzuty na wynagrodzenia
	Fermentowanie glonów	Samoczynny proces	–
Magazynowanie gotowego biogazu	Transport biogazu do zbiorników (laguny)	Robocizna, energia elektryczna, praca maszyn (sprężarki)	Wynagrodzenia
			Narzuty na wynagrodzenia
			Zużycie energii
			Amortyzacja
			Inne koszty, usługi obce

Źródło: opracowanie własne.

Wykazane w tabelach 3–5 etapy i procesy produkcji biopaliwa wskazują na konieczność zużycia różnych czynników produkcji, co powoduje powstawanie kosztów, które można poddać klasyfikacji w celu ustalenia struktury, a w dalszej kolejności wyceny kosztów i kalkulacji kosztu wytworzenia biopaliwa.

Jak wynika z tabeli 3, początek procesu produkcji biopaliwa wymaga poniesienia nakładów związanych z nabyciem alg i podłoża do ich hodowli. Stanowią one materiały podstawowe, których zużycie wycenić należy w cenie zakupu lub nabycia. Hodowla alg obejmuje procesy ich wzrostu, co w zależności od zastosowanej technologii powoduje

głównie zużycie pracy ludzkiej, pracy maszyn, energii elektrycznej i wody. Mikroalgi podlegają zbiorowi, co wymaga zaangażowania materiałów pomocniczych (odczynniki), narzędzi (sita) oraz pracy ludzkiej podczas odławiania. Zbiór glonów generuje więc takie koszty, jak: zużycie materiałów, wynagrodzenia i narzuty na wynagrodzenia.

Tabela 5. Procesy i koszty produkcji biodiesla na bazie mikroalg

Etap (faza) produkcji	Procesy	Nakłady	Koszty
Suszenie glonów	Suszenie z użyciem suszarki rozpyłowej	Robocizna, praca maszyn (suszarki), energia elektryczna	Wynagrodzenia
			Narzuty na wynagrodzenia
			Amortyzacja
			Zużycie energii
	Suszenie z wykorzystaniem energii słonecznej	Samoczynny proces ^a	–
		Robocizna	Wynagrodzenia Narzuty na wynagrodzenia
Niszczenie struktur komórek	Transport glonów do odpowiedniej aparatury	Robocizna	Wynagrodzenia Narzuty na wynagrodzenia
	Oddziaływanie ultradźwiękiem na struktury komórkowe glonów	Praca maszyn	Amortyzacja Zużycie energii
Transestryfikacja	Transport oleju do separatora	Praca maszyn (pomp elektrycznych)	Amortyzacja Zużycie energii
	Zakup metanolu	Materiały	Zużycie materiałów
	Zakup katalizatora	Materiały	
	Proces chemiczny transestryfikacji	Praca maszyn	Amortyzacja Zużycie energii
	Oczyszczanie biodiesla (automatyczne)	Woda	Zużycie materiałów
		Energia elektryczna	Zużycie energii
		Praca maszyn	Amortyzacja

^a Proces wymaga minimalnych nakładów pracy ludzkiej.

Źródło: opracowanie własne.

Przedstawione w tabelach 4 i 5 kolejne etapy procesu produkcji biopaliw powodują powstanie różnych kosztów – są to głównie koszty zużycia materiałów i energii, wynagrodzeń z narzutami i zużycia środków trwałych. Wartość zużytych materiałów wycenić należy na podstawie cen ich nabycia/zakupu. Z kolei zużycie energii elektrycznej ustalić należy na podstawie ilości zużytych jednostek mocy (W) i cen jednostkowych jej zakupu lub kosztu wytworzenia. Wynagrodzenia stanowią wartościowe wyrażenie

pracy ludzkiej, a ich pomiar może być dokonany na podstawie liczby roboczogodzin, co po przemnożeniu przez wartość stawki za godzinę pracy pozwala uzyskać wartość nakładów pracy ludzi. Do tak ustalonego kosztu wynagrodzeń należy doliczyć wartość pozapłacowych obciążeń publicznoprawnych. Koszty eksploatacji maszyn wyraża się za pomocą amortyzacji, kosztów zużycia energii elektrycznej lub paliwa do ich napędu oraz innych kosztów, jak zużycia materiałów (części zapasowe, smary) czy usługi obce (koszty remontów).

Omówione procesy produkcji pozwalają na zidentyfikowanie poszczególnych rodzajów kosztów ponoszonych na wybranych etapach produkcji biopaliwa. Ich znajomość (zarówno procesu, jak i charakteru kosztów) może się okazać kluczowa w odniesieniu do ich optymalizacji. Przykładem redukcji może być wykorzystanie energii naturalnej w procesie suszenia glonów, który pomimo iż jest bardziej czasochłonny, pozwala zredukować koszt zużycia energii związany z eksploatacją mechanicznej suszarki. Z kolei wiedza w zakresie alternatyw dla standardowego podłoża (pożywki) dla glonów, z którym związane będą koszty zakupu surowca, pozwala na wykorzystanie do wzrostu alg ścieków komunalnych, co znacząco pozwoli zredukować koszty ze względu na niższą cenę ich nabycia.

Hodowla glonów powoduje też powstanie produktu ubocznego, czyli gliceryny. Z uwagi na swoje właściwości i możliwości zastosowania może być ona sprzedana, a uzyskane w ten sposób przychody zwiększą wynik z działalności operacyjnej producenta. Warto też zaznaczyć, że koszt produkcji biopaliwa należy zwiększyć o koszt utylizacji niesprzedanej gliceryny.

5. Kalkulacja kosztów produkcji biopaliw z mikroalg

Przebieg produkcji biopaliwa oraz identyfikacja kosztów poszczególnych etapów tej produkcji dają podstawy do podjęcia próby ustalenia kosztu jednostkowego wytworzenia biopaliwa. Zarówno z rysunku 1, jak i treści tabel 4 i 5 wynika możliwość wytwarzania w ramach procesu produkcyjnego więcej niż jednego produktu finalnego (biodiesel oraz biometan). Widać też, że w ramach produkcji są wyraźnie wyodrębnione jej etapy (fazy). Takie założenie może wskazywać na zasadność zastosowania metody kalkulacji fazowej, która może być przeprowadzona metodą (Kiziukiewicz, 2004):

- a) półfabrykatową – polegającą na ustalaniu kosztu wytworzenia wyrobu gotowego narastająco, przy uwzględnianiu kosztu wytworzenia półfabrykatów pobranych do dalszego przerobu z poprzednich faz;
- b) bezpółfabrykatową – polegającą na ustalaniu kosztu wytworzenia wyrobu gotowego jako sumy udziałów kosztów wytworzenia wszystkich faz.

W odniesieniu do procesów produkcji biopaliw ujętych w tabelach 3–5 podjęta została próba przedstawienia procedury kalkulacji kosztów ich produkcji metodą półfabrykatową (por. tab. 6 i 7).

Tabela 6. Kalkulacja fazowa metodą półfabrykatową procesu hodowli mikroalg i otrzymywania biometanu

Pozycja kalkulacyjna	Koszt		Razem
	Faza I – hodowla i zbiór mikroalg	Faza II – fermentacja i magazynowanie	
Materiały	Zużycie materiałów	–	Suma pozycji
Robocizna	Wynagrodzenia Narzuty na wynagrodzenia	Wynagrodzenia Narzuty na wynagrodzenia	Suma pozycji
Inne koszty	Zużycie energii Amortyzacja	Zużycie energii	Suma pozycji
Razem	Koszt A	Koszt B	Koszt faz ogółem (A + B)
Półfabrykat/ Produkt gotowy	Biomasa (kg)	Biogaz (m ³)	x

Źródło: opracowanie własne.

Półfabrykatem procesu hodowli i zbioru mikroalg (fazy I) będzie biomasa. Na tym etapie wycena kosztu wytworzenia biomasy (surowca do dalszego przerobu w produkcji biogazu – K_{jb}) wymaga obliczenia ilorazu sumy kosztów bezpośrednich i pośrednich hodowli i zbioru mikroalg oraz ilości wytworzonej biomasy, co przedstawia wzór 1.

$$K_{jb} = \frac{\text{koszty fazy I, tj. koszt A (zł)}}{\text{ilość biomasy (kg)}}. \quad (1)$$

Przy założeniu przekazania całości wyprodukowanej biomasy do następnej fazy produkcji, w której jest wytwarzany biogaz, wycena kosztów jednostkowych wytworzenia gotowego produktu (K_{gj}) może być ustalona według następującej formuły (por. wzór 2):

$$K_{gj} = \frac{\text{suma kosztów fazy I i II, tj. koszt A + koszt B (zł)}}{\text{objętość wytworzonego biogazu (m³)}}. \quad (2)$$

Z kolei w przypadku przekazania do dalszego przerobu jedynie części biomasy (półfabrykatu) wartość zapasu półfabrykatu – biomasy (R_{kr}) – należy ustalić jako (por. wzór 3) iloczyn ilości biomasy i kosztu jednostkowego jej wytworzenia (K_{jb}) i o tę wartość pomniejszyć koszty wytworzenia biogazu w fazie II.

$$R_{kr} = \text{ilość jednostek biomasy stanowiących zapas półfabrykatów (kg)} \times K_{jb}. \quad (3)$$

W wypadku użycia jednego rodzaju mikroalg do produkcji jednocześnie dwóch rodzajów biopaliwa, to jest biodiesla i biometanu, konieczna jest wycena biomasy, która zostanie zużyta w następnych fazach produkcji poszczególnych wyrobów gotowych.

Podobną procedurę kalkulacji kosztów można zastosować w wypadku produkcji biodiesla (por. tab. 7). W tym przypadku półfabrykatami będą wyhodowane mikroalgi i sucha masa, która zostanie uzyskana w procesie suszenia glonów.

Tabela 7. Kalkulacja fazowa metodą półfabrykatową produkcji biodiesla z mikroalg

Pozycja kalkulacyjna	Koszty				Razem
	Faza I – hodowla i zbiór mikroalg	Faza II (Suszenie mikroalg)		Faza III – niszczenie struk- tur komórek, transestryfikacja, oczyszczanie	
		Faza II.1 – z zastosowa- niem energii słonecznej	Faza II.2 – z użyciem suszarki		
Materiały	Zużycie mate- riałów	–	–	Zużycie mate- riałów	Suma pozycji
Robocizna	Wynagrodzenia Narzuty na wynagrodzenia	Wynagrodzenia Narzuty na wynagrodzenia	Wynagrodzenia Narzuty na wynagrodzenia	Wynagrodzenia Narzuty na wynagrodzenia	Suma pozycji
Inne koszty	Amortyzacja Zużycie energii	–	Amortyzacja Zużycie energii	Amortyzacja Zużycie energii	Suma pozycji
Razem	Koszt A	Koszt B	Koszt C	Koszt D	Koszty faz ogółem (A + B + D) lub A + C + D)
Wytworzony półfabrykat/ produkt	Biomasa (kg)	Sucha masa (kg)	Wyciąg rozpyło- wy (kg)	Biodiesel (l)	x

Źródło: opracowanie własne.

W zależności od technologii suszenia biomasy koszt jednostkowy uzyskanej suchej masy może być wyceniany z zastosowaniem wzorów 4, gdy sucha masa jest uzyskiwana w wyniku suszenia z wykorzystaniem odnawialnej energii słonecznej, lub 5, gdy do suszenia mikroalg jest używana suszarka.

$$K_j = \frac{\text{suma kosztów fazy I i II.1, tj. koszt A + koszt B (zł)}}{\text{ilość wytworzonej suchej masy (kg)}} \quad (4)$$

lub

$$K_j = \frac{\text{suma kosztów fazy I i II.2, tj. koszt A + koszt C (zł)}}{\text{ilość wytworzonego wyciągu rozpyłowego (kg)}} \quad (5)$$

W fazie III następuje wytworzenie gotowego biopaliwa (suma kosztów powstałych w procesach jego wytworzenia z półfabrykatu została oznaczona jako D). W tym przypadku jego koszt jednostkowy zostanie ustalony w sposób przedstawiony we wzorze 6 lub 7.

$$K_j = \frac{\text{suma kosztów fazy I, II.1 i III, tj. koszt A + koszt B + koszt D (zł)}}{\text{objętość wytworzonego biodiesla (l)}} \quad (6)$$

lub

$$K_j = \frac{\text{suma kosztów fazy I, II. 2 i III, tj. koszt A + koszt C + koszt D (zł)}}{\text{objętość wytworzonego biodiesla (l)}} \quad (7)$$

Podsumowanie

Podjęte w artykule rozważania dają podstawę do stwierdzenia, że rosnące zapotrzebowanie na paliwa oraz zalety biopaliw, w tym wynikające z szerokich możliwości ich zastosowania, mogą powodować w przyszłości upowszechnienie ich produkcji. Z uwagi na właściwości mikroalg oraz stosunkowo wysoką wydajność oleju z nich otrzymywanego (w porównaniu do innych roślin energetycznych) można sadzić, że stanowią one istotną alternatywę jako surowiec do produkcji biopaliw. W związku z tym konieczna jest identyfikacja kosztów procesów produkcji biopaliw i określenie procedur kalkulacji kosztów produkcji. Jak wykazano, proces hodowli oraz pozyskiwania biopaliwa z glonów jest złożony i generuje różne rodzaje kosztów. Ich identyfikacja i klasyfikacja stanowią podstawę kalkulacji kosztów wytworzenia biopaliwa. Są również przesłanką do optymalizacji kosztów i wyniku z działalności operacyjnej z uwagi na możliwość zastosowania alternatywnych metod produkcji.

Bibliografia

- Behera, S., Singh, R., Arora, R., Sharma, N.K., Shukla, M., Kumar, S. (2014). Scope of Algae as Third Generation Biofuels. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2, s. 90. Pobrane z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4324237/> (1.02.2017).
- Biernat, K. (2012). Perspektywy rozwoju technologii biopaliwowych w świecie do 2050 roku. *Chemik*, 66 (11), 1178–1189.
- Chojnacka, K., Saeid, A., Michalak, I. (2012). Możliwości zastosowania biomasy alg w rolnictwie. *Chemik*, 66 (11), 1235–1248.
- Czekała, W., Lewicki, A., Janczak, D. (2013). Przegląd instalacji do przemysłowej produkcji alg na biomasę. *Technika Rolnicza i Leśna*, 3, 11–13.
- Dąbrowski, W., Bednarski, W. (2012). Perspektywy zastosowania oleju z alg w produkcji biodiesla. *Nauki Inżynierskie i Technologie*, 4 (7), 19–34.
- Dragone, G., Fernandes, B., Vicente, A.A., Teixeira, J.A. (2010). Third Generation Biofuels from Microalgae. W: A. Méndez Vilas (red.), *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*, 2, 1355–1366.
- Frać, M., Jezierska-Tys, S., Tys, J. (2009). Algi – energia jutra (biomasa, biodiesel). *Acta Agrophysica*, 13 (3), 627–638.
- Górka, W. (2011). *Na bazie morskich alg*. 5. Pobrane z: <http://sadinform.pl/artykuly-2011/52011/263-na-bazie-morskich-alg.html> (20.02.2017).
- Illman, A.M., Scragg, A.H., Shales, S.W. (2000). Increase in Chlorella Strains Calorific Values When Grown in Low Nitrogen Medium. *Enzyme and Microbial Technology*, 27 (8), 631–635.

- Innowacyjne wykorzystanie alg* (2014). Farmer.pl. Pobrane z: <http://www.farmer.pl/produkcja-roslinna/ochrona-roslin/innowacyjne-wykorzystanie-alg,50126.html> (1.02.2017).
- Jorquera, O., Kiperstok, A., Sales, E.A., Embiruçu, M., Ghirardi, M.L. (2010). Comparative Energy Life-cycle Analyses of Microalgal Biomass Production in Open Ponds and Photobioreactors. *Bioresource Technology*, 101 (4), 1406–1413.
- Kiziukiewicz, T. (red.) (2004). *Rachunkowość zarządcza*. Wrocław: Ekspert.
- Klimiuk, E., Pawłowska, M., Pokój, T. (2012). *Biopaliwa. Technologie dla zrównoważonego rozwoju*. Warszawa: PWN.
- Komunikat Komisji Europejskiej nr 34 z 2006 r. *Strategia UE na rzecz biopaliw*. SEC (2006)34 końcowy.
- Larkum, W.D., Ross, I.L., Kruse, O., Hankamer, B. (2012). Selection, Breeding and Engineering of Microalgae for Bioenergy and Biofuel Production. *Trends in Biotechnology*, 30 (4), 198205.
- Lundquist, T.J., Woertz, I.C., Quinn, N.W.T., Benemann, J.R. (2010). *A Realistic Technology and Engineering Assessment of Algae Biofuel Production*. Energy Biosciences Institute. Pobrane z: http://ebiweb.org/program_project/realistic-technology-and-engineering-assessment-algae-biofuel-production-completed (6.01.2017).
- Mata, T., Martins, A., Caetano, N. (2010). Microalgae for Biodiesel Production and Other Applications: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 217–232.
- Molina Grima, E., Acien Fernandez, G., Garcia Camacho, F., Chisti, Y. (1999). Photobioreactors: Light Regime, Mass Transfer, and Scaleup. *Journal of Biotechnology*, 70, 231–247.
- Munoz, R., Guieysse, B. (2006). Algal-Bacterial Processes for the Treatment of Hazardous Contaminants: A Review. *Water Research*, 40, 2799–2815.
- Nagle, N., Lemke, P. (1990). Production of Methyl – Ester Fuel from Microalgae. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 24, 355–361.
- Och, B., Łaska, G. (2013). *Mikroalgi substratem do produkcji biopaliw*. Pobrane z: <http://www.eko-dok.pl/2013/55.pdf>.
- Radziemska, E., Lewandowski, W., Szukalska, E., Tynek, M., Pustelnik, A., Ciunel, K. (2009). Biopaliwa z rzepaku. Przygotowanie surowca do otrzymywania biodiesla w warunkach gospodarstwa rolnego oraz pilotowanie metanolizy. *Chemia. Dydaktyka. Ekologia. Metrologia*, 14 (1–2), 79–84.
- Sanchez Miron, A., Contreras Gomez, A., Garcia Camacho, F., Molina Grima, E., Chisti, Y. (1999). Comparative Evaluation of Compact Photobioreactors for Large – Scale Monoculture of Microalgae. *Journal of Biotechnology*, 70, 249–270.
- Zabochnicka-Świątek, M., Bień, J., Ligienza, A. (2010). *Wykorzystanie biomasy mikroalg do produkcji biopaliw płynnych*. Pobrane z: <http://www.plan-rozwoju.pcz.pl/dokumenty/konferencja/artykuly/18.pdf> (6.01.2017).

**THE SELECTED ISSUES OF IDENTIFICATION, VALUATION
AND CALCULATION OF PRODUCTION COSTS
OF THIRD GENERATION BIOFUELS**

Keywords: microalgae, biofuels, biodiesel, production costs, cost calculation

Summary. Continuing increase in demand for various types of energy contributes to search for alternative sources and raw materials. The article presents the results of studies related to identification, valuation and calculation of costs production of biofuels using microalgae. The content of the article is composed of characteristic of production processes of biodiesel and biomethane from microalgae, on the basis on which have been identified costs of each phases and processes of production of these biofuels and formulated costing and production principles. Taken in consideration of the article can be the basis for the analysis and assessment of production costs and the financial results of companies that produce biofuels based on microalgae.

Translated by Marcin Sobieraj

Cytowanie

Rydzewska-Włodarczyk, M., Drożdowska, E., Sobieraj, M. (2017). Wybrane zagadnienia identyfikacji, wyceny i kalkulacji kosztów produkcji biopaliw trzeciej generacji. *Ekonomiczne Problemy Usług*, 2 (127), 229–242. DOI: 10.18276/epu.2017.127-21.