

DOI: 10.5604/01.3001.0015.7769

Alicja Czarkowska

Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej we Wrocławiu

e-mail: aczarkowska@fos.wroc.pl

Marek Czarkowski

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Witelona w Legnicy

Wydział Nauk Społecznych i Humanistycznych

e-mail: marek.czarkowski@gsuite.pwsz.legnica.edu.pl

Wykorzystanie technologii energetyki biogazowej w systemie bezpieczeństwa energetycznego

STRESZCZENIE

Wytwarzanie energii elektrycznej oraz ciepłej z biogazu rolniczego stanowi obecnie jedną z najkorzystniejszych metod pozyskiwania energii odnawialnej. Inwestycje w energetykę biogazową na obszarze Polski na dzień dzisiejszy nie znajdują powszechnego zastosowania. Powodem, dla którego Polska w dalszym ciągu jest za liderem produkcji energii z biogazu w Unii Europejskiej, tj. Niemcami, pomimo porównywalnych warunków geograficznych, są przeszkody związane z przepisami prawnymi, uwarunkowaniami społecznymi, a także problemami związanymi ze źródłami finansowania. Celem niniejszego artykułu jest poszerzenie wiedzy w zakresie wytwarzania oraz wykorzystania energii biogazowej pochodzącej z surowców odnawialnych. W artykule przedstawiono możliwe formy finansowania inwestycji w tego rodzaju źródła energii odnawialnej oraz zaprezentowano perspektywy i uwarunkowania rozwoju, a więc korzyści wpływające na środowisko, społeczeństwo i gospodarkę oraz bariery utrudniające ich rozwój.

Słowa kluczowe: biogaz, biomasa, energia odnawialna, biogazownie rolnicze, Dolny Śląsk, energetyka biogazowa, polityka ekoenergetyczna, rozkład materii organicznej, fermentacja metanowa.

Wstęp

Wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną spowodowany szybkim rozwojem gospodarczym, ograniczone zasoby paliw kopalnych (węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropa naftowa, gaz ziemny), rosnąca świadomość ekologiczna społeczeństwa oraz nadmierne zanieczyszczenie środowiska naturalnego spowodowały w ostatnich latach duże zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii (OZE).

Energia ze źródeł odnawialnych stanowi bowiem alternatywę dla konwencjonalnych, pierwotnych, nieodnawialnych nośników energii. Ich zasoby uzupełniają się w naturalnych

procesach, co praktycznie pozwala traktować je jako niewyczerpalne. Wykorzystywanie OZE w znacznym stopniu zmniejsza szkodliwe oddziaływanie energetyki na środowisko naturalne, głównie przez ograniczenie emisji szkodliwych substancji, w tym gazów cieplarnianych. Rynek odnawialnych źródeł energii charakteryzuje się dużą dynamiką zmian zarówno pod względem struktury produkcji, wolumenu wytworzonej energii, jak i stosowanych instrumentów prawno-ekonomicznych wpływających na ich atrakcyjność i konkurencyjność względem paliw kopalnych.

Produkcja i wykorzystanie biogazu ma szczególną pozycję wśród odnawialnych źródeł energii, ponieważ można go wykorzystać do jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej. Biogaz może być także użyteczny jako paliwo dla środków transportu i jako substytut gazu ziemnego. Produkcja biogazu nie podlega sezonowości i wahaniom związanym z pogodą, a biogaz może być generowany z pozostałości płodów rolnych i resztek poźniwnych, frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych itp. To właśnie rozwój instalacji biogazowych przetwarzających biomasę pochodzenia rolniczego powinien być propagowany na najbliższe lata z uwagi na potrzebę zagospodarowania odpadów oraz duży potencjał rolnictwa energetycznego¹. W Polsce panują bowiem doskonałe warunki klimatyczne do produkcji roślinności energetycznej. Ponadto znaczna powierzchnia kraju wykorzystywana jest do uprawy roli, co stanowi znaczny potencjał odpadów zwierzęcej produkcji rolnej, które mogą znaleźć rynek zbytu dla biogazowni².

Produkcja i wykorzystanie biogazu zapewnia korzyści środowiskowe i społeczno-ekonomiczne dla społeczeństwa jako całości, a także dla rolników zaangażowanych w wytwarzanie biogazu³. Produkcja energii z biogazu zwiększa potencjał lokalnych gospodarek, zapewnia dodatkowe miejsca pracy na obszarach wiejskich i zwiększa siłę nabywczą ludności na poziomie regionalnym. To poprawia standard życia i przyczynia się do rozwoju gospodarczego i społecznego. Biogazownie rolnicze służą ochronie środowiska m.in. przez spadek emisji metanu i gazów cieplarnianych, ułatwiają również zagospodarowanie odpadów wyprodukowanych na terenie gminy. Biogazownie rolnicze wpisują się więc w prowadzoną obecnie krajową i europejską politykę proekologiczną, a także mają istotne znaczenie dla lokalnego rynku energetycznego⁴.

Wytwarzanie biogazu rolniczego

Biogaz rolniczy pozyskuje się w procesie beztlenowej fermentacji substratów, którymi mogą być biomasa pochodząca z upraw energetycznych, pozostałości z produkcji roślinnej i odchodów zwierzęcych lub biomasa pochodząca z odpadów w rzeźniach, browarach i pozostałych branżach żywnościowych. Przed wykorzystaniem biogazu na cele energetyczne biogaz

¹ M. Paterson et al., *Implementation Guide For Small-Scale Biogas Plants*, Germany, BioEnergy Farm II Publication, KTBL, 2015, s. 6.

² *Biogaz jako odnawialne źródło energii*, „Nowa Energia”, <https://nowa-energia.com.pl/2010/09/17/biogaz-jako-odnawialne-zrodlo-energii-2/>, dostęp 8 października 2021; *Rodzaje substratów*, „Biogaz Zeneris”, <http://www.biogaz.com.pl/index.php/home/66-substraty>, dostęp: 10 października 2021 r.

³ M. Paterson et al., op cit.

⁴ W. Gostomczyk, *Stan i perspektywy rozwoju rynku biogazu w UE i Polsce – ujęcie ekonomiczne*, „Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego” 2017, tom 17, s. 48–64.

musi zostać oczyszczony z domieszek, które mogłyby spowodować uszkodzenia urządzeń wykorzystujących biogaz do produkcji energii. Dodatkowym produktem może być nawet z przefermentowanej gnojowicy, który jest zazwyczaj bardzo przydatny do nawożenia.

Ogólnie substratem określa się substancję biorącą udział w reakcji chemicznej, w wyniku której powstają produkty o odmiennych właściwościach. Substratami wykorzystywanymi w procesie fermentacji metanowej mogą być prawie wszystkie organiczne odpady produkcji rolnej. Poszczególne substraty różnią się od siebie m.in. szybkością rozkładu oraz wydajnością produkcji metanu. Substraty, które mogą być fermentowane samodzielnie, czyli wykazują w swoim składzie odpowiedni bilans składników pokarmowych oraz wymaganą ilość bakterii metanogennych, nazywane są monosubstratami, zaliczane są do tej grupy nawozy naturalne, tj. gnojowica i obornik. Natomiast kosubstraty to materiały dodawane w odpowiedniej proporcji do mieszaniny fermentacyjnej, która nie fermentuje samodzielnie, wymaga inokulacji, zaś przykładem są: kiszonka kukurydzy, trawy, wysłodziny browarniane⁵. Zgodnie z ustawą – Prawo energetyczne do substratów wykorzystywanych w fermentacji metanowej zalicza się: surowce rolnicze, produkty uboczne rolnictwa, płynne lub stałe odchody zwierzęce, produkty uboczne lub pozostałości z przetwórstwa produktów pochodzenia rolniczego lub biomasy leśne⁶.

Podstawą funkcjonowania biogazowni są substraty, których najważniejszą cechą jest stosunek kosztów pozyskania do wydajności. Odpowiedni dobór materiałów wsadowych biogazowni ma decydujące znaczenie dla rentowności inwestycji. Z uwagi na aspekty ekonomiczne przewóz biomasy na większe odległości może być uzasadniony w przypadku, gdy jest ona przetworzona do postaci w formie brykietów czy granulatów⁷. O doborze substratów w istotnej mierze decyduje:

- dostępność w danej lokalizacji,
- gwarancja ilości i składu w długiej perspektywie czasowej,
- skład chemiczny, a zwłaszcza stosunek C/N (węgla do azotu),
- zawartość suchej masy (12–15% w mieszaninie),
- jednostkowa wydajność biogazu,
- koszt pozyskania,
- odległość (koszty transportu),
- ryzyko środowiskowe i konieczność higienizacji,
- możliwość konserwacji i przechowywania⁸.

⁵ A. Głaszczka, W. Wardal, W. Romaniuk, T. Domasiewicz, *Biogazownie rolnicze*, Warszawa, Oficyna Wydawnicza Multico, 2010, str. 36–41; A. Myczko, *Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych. Poradnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych*, Wydawnictwo ITP, Warszawa–Poznań 2011, str. 16–18.

⁶ Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne (Dz.U. 2021 poz. 716).

⁷ A. Zapałowska, *Perspektywy rozwoju biogazowni na Podkarpaciu w oparciu o fundusze Unii Europejskiej*, „Nierówności społeczne a wzrost gospodarczy” 2012, nr 27, Rzeszów, Uniwersytet Rzeszowski, str. 241–251.

⁸ E. Den Boer, R. Szpadt, *Biogazownia szansą dla rolnictwa i dla środowiska*, prezentacja z konferencji regionalnej: Biogazownie szansą dla rolnictwa i środowiska, Wrocław, Politechnika Wroclawska, 2013.

Odpady z chowu zwierząt

Odpady z hodowli zwierząt są kluczowym substratem wykorzystywanym do produkcji biogazu. Procesowi fermentacji poddawane są zarówno obornik, gnojowica, jak i kurzeniec. Najistotniejszą rolę odgrywa w tym procesie gnojowica, czyli mieszanina odchodów zwierzęcych oraz wody, ponieważ obornik bydła i trzody chlewnej jest prawie w całości stosowany jako nawóz organiczny. W formie surowej gnojowica również stanowi nawóz naturalny, jednak ze względu na odór jest uciążliwa przy stosowaniu, natomiast przefermentowanie eliminuje tę uciążliwość⁹.

Odchody zwierzęce i gnojowica wykazują niski stosunek węgla organicznego do azotu i w związku z tym podczas ich fermentacji stężenie amoniaku może osiągać poziom toksyczny dla metanogenów. Aby zapewnić odpowiednie proporcje C/N zaleca się współfermentację (kofermentacja) gnojowicy/odchodów zwierzęcych wraz z biomasą roślinną (kiszonki, zielonki) lub z odpadami z przemysłu rolno-spożywczego w dużych biogazowniach rolniczych, natomiast w małych przedsiębiorstwach zaleca się stosowanie odpadów z produkcji zwierzęcej jedynie z roślinami energetycznymi¹⁰. Charakterystyka odpadów z produkcji zwierzęcej została przedstawiona w tabeli 1.

Tabela 1. Energetyczność odpadów pochodzących z hodowli i chowu zwierząt

Pochodzenie	Rodzaj odpadu	Produkcja biogazu		Zawartość metanu w wytworzonym biogazie
		m ³ /t św.m.	m ³ /t s.m.o.	%
bydło	gnojowica	20–30	200–500	50–55
	obornik	40–50	210–300	50–60
trzoda chlewna	gnojowica	20–35	300–700	50–70
	obornik	55–65	270–450	55–60
drób	odchody	70–90	250–450	60–65

Źródło: opracowanie na podstawie E. Den Boer, R. Szpadt, op. cit.

Biomasa z upraw polowych i użytków zielonych

Rośliny, które będą przeznaczone do produkcji biogazu rolniczego, powinny dostarczać odpowiedni plon suchej masy z jednostkowej powierzchni upraw, posiadać substancje organiczne ulegające biodegradacji oraz charakteryzować się łatwością w przechowywaniu i magazynowaniu. Najpowszechniej stosowaną rośliną uprawną do wytwarzania biogazu jest kukurydza, wykorzystuje się również ruń łąkową, trawy z upraw polowych, rośliny zbożowe,

⁹ E. Klimiuk, M. Pawłowska, T. Pokój, *Biopaliwa – technologie dla zrównoważonego rozwoju*, Wydawnictwo PWN, Warszawa 2012, str. 125–166; *Rodzaje substratów*, „Biogaz Zeneris”, <http://www.biogaz.com.pl/index.php/home/66-substraty>, dostęp: 10 października 2021 r.

¹⁰ E. Klimiuk, M. Pawłowska, T. Pokój, op. cit.

sorgo, rośliny okopowe (głównie buraki cukrowe i pastewne) oraz bulwy topinamburu¹¹. Charakterystykę biomasy z produkcji roślinnej przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Energetyczność biomasy pochodzącej z produkcji roślinnej

Pochodzenie	Rodzaj odpadu	Produkcja biogazu		Zawartość metanu w wytworzonym biogazie
		m ³ /t św.m.	m ³ /t s.m.o.	%
Biomasa z produkcji roślinnej	kiszonka z kukurydzy	170–200	450–700	50–55
	kiszonka z żyta	170–220	550–680	50–55
	burak cukrowy	170–180	800–850	50–55
	burak pastewny	75–100	620–850	50–55
	liście buraka	50–70	550–600	48–55
	kiszonka z traw	170–200	550–620	54–55
	kiszonka z sorga	105–145	520–590	50–54

Źródło: opracowanie na podstawie E. Den Boer, R. Szpadt, op. cit.

Biomasa z produkcji roślinnej powinna być w odpowiedni sposób zakonserwowana poprzez jej ukiszenie i zmagazynowanie, z tego względu że biogazownia rolnicza powinna pracować minimum 8000 godzin rocznie (333 dni), a substraty pochodzenia roślinnego powstają tylko w okresie wegetacyjnym¹².

Biomasę roślinną wykorzystuje się głównie w postaci kiszonek, które przygotowywane są z siewki. W przypadku traw są one najpierw poddawane częściowemu wysuszeniu do zawartości suchej masy 30–40%, a dopiero potem kierowane do kiszenia. W fermentacji metanowej stosuje się także podsuszone substraty roślinne, w których zawartość suchej masy określana jest na poziomie około 90%, które przez poddaniem do komór powinny być rozdrobnione, a w dalszej kolejności rozcieńczone do uzyskania suchej masy na wymaganym poziomie¹³.

Odpady i produkty uboczne z przetwórstwa rolno-spożywczego

Odpady produkcji rolno-spożywczej stanowią w masie fermentacyjnej najmniejszy procent. Tabela 3 przedstawia charakterystykę odpadów i produktów ubocznych z przetwórstwa rolno- -spożywczego i poubojowego.

¹¹ *Rodzaje substratów*, „Biogaz Zeneris”, <http://www.biogaz.com.pl/index.php/home/66-substraty>, dostęp: 10 października 2021 r.

¹² E. Klimiuk, M. Pawłowska, T. Pokój, op. cit.

¹³ Ibidem.

Tabela 3. Energetyczność wybranych odpadów pochodzących z przemysłu rolno-spożywczego i uboju

Pochodzenie	Rodzaj odpadu	Produkcja biogazu		Zawartość metanu w wytworzonym biogazie
		m ³ /t św.m.	m ³ /t s.m.o.	%
Odpady z przemysłu rolno-spożywczego	wywarz gorzelniany	30–42	400–700	58–65
	młóto z browaru	100–130	580–750	58–60
	wytłoki z owoców lub warzyw	75–250	250–550	65–75
	melasa	250–350	350–480	70–75
	wysłodki	60–75	250–350	70–75
	wycierka ziemniaczana	80–90	650–750	50–65
	serwatka	15–22	420–600	50–55
Odpady poubojowe	treść żołądków trzody	20–60	250–450	60–70
	treść żołądków przeżuwaczy	20–60	200–400	58–62
	osad poflotacyjny	35–280	900–1200	60–75
	krew	50–70	300–450	50–55

Źródło: opracowanie na podstawie E. Den Boer, R. Szpadt, op. cit.

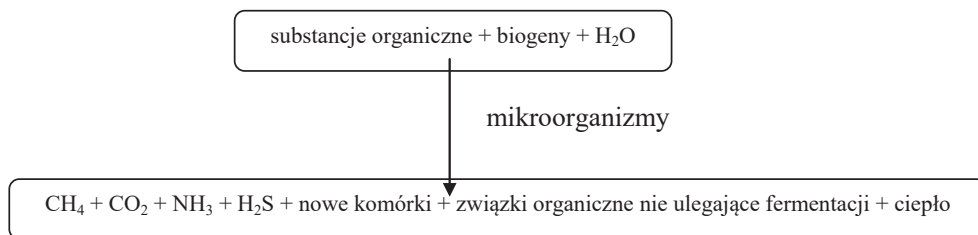
W niektórych rozwiązaniach technologicznych mogą w ogóle nie znaleźć zastosowania. Natomiast w przypadku biogazowni gorzelnianych lub przy zakładach mleczarskich mogą one stanowić podstawowy substrat do produkcji biogazu. Ta kategoria substratu wykorzystywana jest w produkcji biogazu przede wszystkim z powodu aspektów ekonomicznych, wynikających z otrzymywania przez biogazownię opłaty za przyjęcie odpadu do utylizacji. Najistotniejszą rolę odgrywają odpady poubojowe, gdyż ich utylizacja jest jednocześnie i zyskowna, i zwiększająca potencjał energetyczny masy substratów¹⁴.

Fermentacja metanowa jako biotechnologia

Fermentacja metanowa jest złożonym procesem biochemicznym, który zachodzi bez dostępu tlenu z udziałem mikroorganizmów, podczas którego substraty organiczne przekształcone zostają w metan i dwutlenek węgla¹⁵.

¹⁴ Rodzaje substratów..., op. cit.

¹⁵ E. Klimiuk, M. Pawłowska, T. Pokój, op. cit.



Ryc. 1. Schemat procesu fermentacji metanowej

Źródło: opracowanie własne.

Podstawowym produktem fermentacji metanowej jest biogaz, w którego skład wchodzi:

- metan (60–70%),
- dwutlenek węgla (30–40%),
- siarkowodór,
- amoniak,
- inne, tj. wodór, azot i tlenek węgla zazwyczaj w stężeniu poniżej 1%¹⁶.

Związki organiczne nie ulegające fermentacji oraz biomasa stanowią produkt uboczny w postaci odpadów pofermentacyjnych, zwanych również pofermentem, które po spełnieniu określonych wymogów mogą być stosowane jako nawóz organiczny. W związku z tym materia organiczna z odpadów pofermentacyjnych może zostać włączona w cykl zamkniętego obiegu węgla w przyrodzie¹⁷.

Proces fermentacji odpadów organicznych pochodzenia rolniczego przebiega przy udziale mikroorganizmów należących do trzech głównych grup troficznych, w skład których wchodzi:

- bakterie heterotroficzne, dzięki którym zachodzi hydroliza związków wielkocząsteczkowych, a następnie fermentacja produktów hydrolizy do małowcząsteczkowych kwasów organicznych i alkoholi,
- bakterie acetogenne, które wykorzystują jako substraty krótkołańcuchowe kwasy (propionowy i masłowy), niektóre długołańcuchowe kwasy tłuszczowe i inne substancje organiczne oraz protony jako akceptory elektronów, a produktami tej fazy są kwas octowy oraz wodór i dwutlenek węgla,
- bakterie metanogenne, które wytwarzają metan z kwasu octowego lub wodoru i dwutlenku węgla¹⁸.

Oprócz przedstawionych grup metabolicznych w procesie fermentacji metanowej można wyróżnić również następujące mikroorganizmy:

- bakterie homoacetogenne, które wytwarzają kwas octowy z wodoru i dwutlenku węgla,
- oraz bakterie redukujące siarkę¹⁹.

Podczas hydrolizy następuje kilka procesów, jednym z nich jest depolimeryzacja polisacharydów, tj. skrobi, celulozy czy hemicelulozy do cukrów prostych przy udziale hydrolaz. Następuje również degradacja białek, w wyniku której powstają proste peptydy oraz aminokwasy z udziałem proteaz. Kolejnym procesem jest hydroliza lipidów za pomocą lipaz,

¹⁶ A. Kowalczyk-Juśko, *Substraty do produkcji biogazu [w:] Biogaz w Polsce. Raport 2020*, Wydawca Biomass Media Group sp. z o.o., 2020.

¹⁷ E. Klimiuk, M. Pawłowska, T. Pokój, op. cit.

¹⁸ Ibidem.

¹⁹ Ibidem.

której produktami są glicerol oraz długołańcuchowe kwasy tłuszczowe. Kinetyka reakcji zależy od wielu czynników, m.in. od rodzaju i struktury związków, rozmiarów cząsteczek oraz warunków środowiskowych, w tym temperatury i odczynu pH²⁰.

W etapie drugim, zwanym fazą kwaśną lub też acydogenezą, następuje rozkład rozpuszczonych w wodzie związków do krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych (masłowy, propionowy), alkoholi, aldehydów, dwutlenku węgla oraz wodoru²¹.

Trzecim etapem, najistotniejszym przy produkcji metanu, jest octanogeneza lub acenogeneza, w którym zachodzi rozkład wyższych kwasów organicznych do kwasu octowego, dwutlenku węgla i wodoru²².

Etap czwarty procesu nazywany jest metanogenezą. W fazie tej metan zostaje wytwarzany z kwasu octowego, wodoru, dwutlenku węgla, mrówczanu, metanolu, metyloaminy i siarczku dimetylowego. Bakterie metanogenne charakteryzują się powolnym tempem wzrostu oraz wrażliwością na czynniki środowiskowe, tj. temperaturę, odczyn, duże stężenie amoniaku lub siarkowodoru, co w konsekwencji wpływa na wzrost lub spadek produkcji metanu²³.

Technologie fermentacji metanowej stosowane w biogazowniach rolniczych mogą różnić się od siebie mechanizmem procesu fermentacji oraz wymogami prowadzenia procesów biologicznych w skali technicznej. Biogazownie rolnicze zazwyczaj bazują na technologii jednostopniowej, wykorzystując fermentację mokrą, a w mniejszym stopniu fermentację suchą. Dwustopniowy proces fermentacji realizowany jest szczególnie w przypadku dozowania dużej ilości odpadów tłuszczowych, gdy podczas ich rozkładu przez bakterie środowisko zostaje nadmiernie zakwaszone. Stosowany jest również, gdy substratami są substancje trudno rozkładalne, takie jak celuloza, hemiceluloza i lignina²⁴.

W procesie fermentacji metanowej, tak jak i w przypadku procesów biologicznych zachodzących w przyrodzie, warunki środowiskowe odgrywają istotną rolę w ich wydajności i produktywności. W przypadku fermentacji czynniki środowiskowe w znaczącym stopniu wpływają na wydajność produkcji biogazu oraz na stopień neutralizacji wsadu. Wyróżnić można ich dwa rodzaje: fizyczne (temperatura i mieszanie) oraz chemiczne (odczyn pH, potencjał redox, zawartość tlenu oraz stosunek węgla do azotu C/N)²⁵.

Biorąc pod uwagę konieczność unieszkodliwiania odpadów rolniczych i przemysłu rolno-spożywczego z punktu widzenia ochrony środowiska, a także naturalne ich pochodzenie oraz skład chemiczny, najbardziej przydatnymi i ekonomicznymi metodami degradacji tych odpadów są metody biotechnologiczne, które pozwalają na przekształcenie odpadów organicznych w energię i cenne produkty, takie jak: pasza, nawozy itp. Rola, jaką może odgrywać fermentacja związana z wytworzeniem bioenergii (metanu), jest zatem potrójna. Po pierwsze, jest to metoda przekształcenia energii zawartej w płodach rolnych w użyteczne paliwo (biogaz), które może być gromadzone i transportowane. Po drugie, jest to metoda recyklingu odpadów organicznych w stabilne polepszacze gleby, cenny płynny nawóz i energię.

²⁰ Ibidem; R. Ślęzak, *Procesy zachodzące na składowiskach odpadów*, Politechnika Łódzka, Łódź 2011.

²¹ E. Klimiuk, M. Pawłowska, T. Pokój, op. cit.

²² Ibidem.

²³ Ibidem.

²⁴ *Przewodnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych*, Ministerstwo Gospodarki, Instytut Energii Odnawialnej, Warszawa 2011; A. Jędrzak, *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2007.

²⁵ A. Głaszczka, W. Warda, op. cit.

Po trzecie, jest to metoda inertyzacji odpadów, której celem jest obniżenie niekorzystnego oddziaływania na środowisko. W wielu krajach fermentacja beztlenowa jest istotnym elementem kompleksowego, zintegrowanego systemu zagospodarowania odpadów²⁶.

Choć polski rynek biogazu jest wciąż bardzo słabo rozwinięty na tle Europy, to jednak dysponuje bardzo nowoczesnymi, rodzimymi technologiami fermentacji, które są w stanie w wysoko wydajny sposób przetwarzać niezwykle szeroką gamę biomasy ubocznej z rolnictwa i bioodpadów. Wzrost wykorzystania produktów ubocznych i odpadów z rolnictwa i przetwórstwa w polskich biogazowniach przyczyni się do zwiększenia produkcji biogazu bez ograniczania zasobów gruntów niezbędnych do zachowania bezpieczeństwa żywnościowego kraju. Równocześnie następować będzie rozwój wytwarzania biopaliwa II generacji, racjonalne zagospodarowanie produktów ubocznych i odpadów oraz harmonizacja branży biogazowej z ideą gospodarki o obiegu zamkniętym²⁷.

Systemy wytwarzania biogazu rolniczego

Instalacje do produkcji biogazu rolniczego mogą się różnić od siebie doborem poszczególnych elementów ciągu technologicznego, które zależne są od lokalnych uwarunkowań, takich jak rodzaj i właściwości wykorzystywanych substratów, sposób wykorzystania biogazu oraz metoda zagospodarowania masy pofermentacyjnej. Rodzaj, ilość i jakość stosowanych substratów (zawartość suchej masy, produktywność metanu, pochodzenie) ma wpływ na wielkość produkcji biogazu, objętość zbiorników, wielkość urządzeń i instalacji oraz na moc agregatów do produkcji energii elektrycznej i ciepła²⁸. Ze względu na wielkość stosowanej mocy możemy wyróżnić:

- mikrobiogazownie – biogazownie rolnicze do 40 kWel, funkcjonujące przy gospodarstwie rolnym, które można podłączyć do wiejskiej sieci niskiego napięcia,
- małe biogazownie rolnicze – moc elektryczna do 200 kWel,
- duże biogazownie rolnicze (powyżej 500 kWel) o charakterze lokalnym,
- instalacje regionalne (głównie instalacje komunalne)²⁹.

W skład biogazowni rolniczej wchodzi cztery bloki technologiczne:

- przygotowanie substratów, na których wyposażenie składają się: silosy do zakiszania biomasy produkcji roślinnej, zbiorniki magazynujące i przygotowujące odchody zwierzęce, instalacja do higienizacji,
- przetwarzanie substratów i produkcja biogazu za pomocą: podajników kiszzonek, fermentatorów, zamkniętych komór do magazynowania odpadów pofermentacyjnych,
- oczyszczanie i wzbogacanie biogazu oraz wytwarzanie energii przy użyciu: instalacji oczyszczania biogazu, instalacji przetwarzania biogazu na dostępne formy energii (agregat kogeneracyjny),
- zagospodarowanie odpadów pofermentacyjnych dzięki instalacji odwadniania odpadów pofermentacyjnych, przym do kompostowania³⁰.

²⁶ A. Kowalczyk-Juśko, op. cit.

²⁷ S. Ledakowicz, L. Krzystek, *Wykorzystanie fermentacji metanowej w utylizacji odpadów z przemysłu rolno-spożywczego*, „Biotechnologia” 2005, nr 3(70), Łódź, s. 165–183.

²⁸ *Przewodnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych...*, op. cit.

²⁹ E. Den Boer, R. Szpadt, op. cit.

³⁰ E. Klimiuk, M. Pawłowska, T. Pokój, op. cit.

W przypadku gdy substratem są odpady pochodzenia zwierzęcego, to są one przetrzymywane w wydzielonym zbiorniku i poddawane higienizacji przed dostarczeniem do komory fermentacyjnej. Kiszonkę najczęściej bezpośrednio podaje się do komory fermentacji za pomocą specjalnych podajników, co eliminuje konieczność stosowania zbiorników wyrównawczych³¹.

Poferment

Masa pofermentacyjna, która w całości zostanie przefermentowana, tzw. poferment, może być stosowana jako pełnowartościowy nawóz. Wiąże się to nie tylko z wykorzystaniem substratów, ale również z poprawą opłacalności ekonomicznej biogazowni. Masa pofermentacyjna – zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów – klasyfikowana jest jako „przefermentowane odpady z beztlenowego rozkładu odpadów zwierzęcych i roślinnych” o kodzie 19 06 06 oraz „ciecze z beztlenowego rozkładu odpadów zwierzęcych i roślinnych” z kodem 19 06 05³².

Aby wykorzystać poferment w rolnictwie, należy spełnić wymogi zawarte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 20 stycznia 2015 r. w sprawie procesu odzysku R10, co oznacza obróbkę na powierzchni ziemi przynoszącą korzyści dla rolnictwa lub poprawę jakości środowiska³³. Poferment musi spełniać określone wymagania normowane w Ustawie o odpadach z dnia 14 grudnia 2012, w Ustawie o nawozach i nawożeniu z dnia 10 lipca 2007 roku oraz w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu oraz warunki sanitarne przewidziane w przepisach weterynaryjnych³⁴. Jeśli do produkcji biogazu oprócz nawozów naturalnych i produktów roślinnych stosowane są inne substancje, to wykorzystanie pofermentu musi być każdorazowo poprzedzone analizą gleby na zawartość metali ciężkich. Za wykonanie analiz odpadów i gleby, określenie ich dawki oraz prawidłowe stosowanie odpowiedzialny jest wytwórca odpadu. Według przepisów ustawy o odpadach, po spełnieniu niezbędnych warunków w zakresie ochrony środowiska oraz życia i zdrowia ludzi, poferment z biogazowni rolniczej może uzyskać także status produktu ubocznego. Decyzję ważną przez 10 lat podejmuje marszałek województwa po konsultacji z Wojewódzką Inspekcją Ochrony Środowiska, a wykorzystanie pofermentu jako produktu ubocznego może być przeprowadzone na podstawie umowy z odbiorcą³⁵.

Nawozy naturalne, tj. gnojowica, obornik czy gnojówka są odpowiedzialne za emisję dwutlenku węgla i metanu. Jednym ze sposobów ograniczenia strat metanu, ale również azotu, jest unieszkodliwianie nawozów naturalnych w biogazowni rolniczej. Masa pofermentacyjna powstająca podczas procesu fermentacji, podobnie jak np. gnojowica, posiada

³¹ Ibidem.

³² Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2020 poz. 10).

³³ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 stycznia 2015 r. w sprawie procesu odzysku R10 (Dz.U. 2015 poz. 132).

³⁴ Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2009 nr 224 poz. 1804); Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2021 poz. 76); Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2021 poz. 779).

³⁵ M. Matyka, P. Skowron, *Poferment – możliwości wykorzystania i zastosowanie [w:] Biogaz w Polsce. Raport 2020*, Wydawca Biomass Media Group sp. z o.o., 2020.

wiele wartościowych makro- i mikroelementów, jednak w przeciwieństwie do nawozów mineralnych charakteryzuje ją:

- zwiększona zawartość N-NH₄ łatwo dostępnego dla roślin, wpływa to na zmniejszenie zapotrzebowania na nawozy mineralne, na spadek ryzyka związanego z migracją azotanów do wód gruntowych oraz zapobiega w znaczący sposób procesowi eutrofizacji,
- nie zawiera, a jeśli zawiera, to tylko w niewielkich ilościach, patogeny i nasiona chwastów, co skutkuje mniejszym zużyciem środków ochrony roślin,
- mniejszy stosunek C/N,
- większa zawartość substancji organicznej w prefermentowanej masie pochodzącej ze źródeł innych niż nawozy naturalne,
- brak nieprzyjemnych odorów,
- brak emisji gazów, tj. SO₂, NO_x, CH₄³⁶.

Poferment może być stosowany jako nawóz tylko w określonych przez ustawodawcę terminach, dlatego też należy magazynować go w zbiornikach lub lagunach przez okres do ok. 6 miesięcy, gdzie proces fermentacji nadal będzie zachodzić, choć z mniejszą wydajnością. Pokrycie tych zbiorników gazoszczelną membraną pozwoli zwiększyć o 3–4% całkowitą produkcję biogazu. Zbiorniki na masę pofermentacyjną, w których jest odzyskiwany dodatkowy biogaz, nazywane są komorami wtórnej fermentacji³⁷.

Możliwości zagospodarowania masy pofermentacyjnej:

- rozproszanie na polach lub łąkach bez wcześniejszego przetworzenia z zachowaniem wymogów Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie procesu odzysku R10³⁸,
- separacja na frakcję stałą, która może być poddawana certyfikacji i sprzedawana jako nawóz, spalana jako paliwo stałe lub wykorzystywana jako dodatek do pasz, i frakcję płynną, która wykorzystywana może być do rozlewania na polach zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie procesu odzysku R10 lub zwracana do procesu jako ciecz technologiczna³⁹,
- separacja, a następnie wzbogacanie, gdzie frakcja stała wzbogacana jest koncentratem z kolejnych etapów oczyszczania, a w dalszej kolejności poddawana certyfikacji i sprzedawana jako nawóz, natomiast frakcja stała poddawana jest oczyszczaniu, w następujących procesach:
 - flokulacji – wytrącanie agregatów substancji rozpuszczonych, a potem ich odwirowanie,
 - ultrafiltracja – membrana zatrzymuje pozostałości substancji odżywczych, cząstek kolidowych i drobnoustrojów,
 - odwrócona osmoza – oddzielone substancje rozpuszczone wraz z koncentratem z ultrafiltracji wzbogacają frakcję stałą,
 - woda po oczyszczaniu ma jakość wody pitnej⁴⁰.

³⁶ I. Łucka, A. Kołodziej, *Rolnicze wykorzystanie masy pofermentacyjnej z biogazowni rolniczej* [w:] *Wykorzystanie biomasy w energetyce – aspekty ekonomiczne i ekologiczne*, Zachodniopomorski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Barzkowicach, Koszalin 2011, s. 277–304.

³⁷ I. Łucka, A. Kołodziej, op. cit.; *Przewodnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych...*, op. cit.

³⁸ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 stycznia 2015 r. w sprawie procesu odzysku R10 (Dz.U. 2015 poz. 132).

³⁹ A. Jędrzak, op. cit.

⁴⁰ A. Kowalczyk-Juško, *Nawozowe wykorzystanie pozostałości pofermentacyjnej na przykładzie badań IUNG, wykonywanych m.in. na zlecenie biogazowni rolniczej w Dębowej Kłodzie oraz Poldanoru,*

Biogaz

Powstały biogaz, który gromadzony jest w komorach fermentacji metanowej, a przy większych inwestycjach w wydzielonych do tego zbiornikach, po oczyszczeniu i wzbogaceniu przekształcany jest w energię elektryczną i ciepło. Może służyć również do zasilania sieci gazu ziemnego lub jako biopaliwo. Instalacja biogazu wyposażona jest w pochodnię, służącą do spalania jego nadwyżek, w urządzenia bezpieczeństwa, takie jak mechaniczne, hydrauliczne i elektryczne zabezpieczenia przed nad- i podciśnieniem gazu, oraz w liczniki oceniające ilość powstałego biogazu⁴¹.

Oczyszczanie biogazu opiera się w głównej mierze na usuwaniu wody, cząstek stałych oraz siarkowodoru, dzięki czemu można uzyskać parametry pozwalające na funkcjonowanie urządzeń technicznych przetwarzających go w energię w sposób prawidłowy⁴².

W wyniku obecności wody w biogazie może dochodzić do przyspieszenia korozji metalowych elementów instalacji oraz do spadku wartości opałowej. W małych biogazowniach w celu odwadniania stosowane są filtry gruboziarniste, przegrody mikroporowate, cyklony oraz łapacze wilgoci, które wraz z wodą usuwają również cząstki stałe. W większych instalacjach, gdzie wymagany jest wyższy stopień usunięcia wody, wykorzystuje się metody adsorpcyjne, które stosowane są również w przypadku biogazu wprowadzanego do sieci gazu ziemnego oraz wykorzystywanego jako biopaliwo. W metodzie jako adsorbenty używane są żele krzemionkowe albo tlenki glinu, a instalacja bazuje na kolumnach adsorpcyjnych, które pracują w cyklach sorpcja–regeneracja. Do odwadniania wykorzystuje się też metody absorpcyjne z powszechnie stosowanym glikolem etylenowym. Zużyty glikol regeneruje się przez odparowanie w temperaturze 200°C⁴³.

Obecność siarkowodoru w biogazie jest nieunikniona, jednak jego stężenie może kształtować się na różnym poziomie i zależy od substratów poddawanych fermentacji. Konieczność jego usuwania wynika z silnych właściwości korozyjnych, które posiada, co może prowadzić do uszkodzeń elementów komór fermentacyjnych, przewodów odprowadzających biogaz, zbiorników magazynujących i urządzeń służących do spalania gazu. Siarkowodor może być również trucizną dla katalizatorów i być niebezpieczny dla środowiska po spaleniu do dwutlenku siarki⁴⁴.

Wzbogacanie (uszlachetnianie) biogazu polega na usuwaniu dwutlenku węgla. Stosowane jest w przypadku, gdy biogaz musi wykazywać wyższe standardy jakości, czyli wtedy, gdy wykorzystywany jest jako biopaliwo lub do zasilania sieci gazu ziemnego⁴⁵.

2011, [https://www.minrol.gov.pl/pol/content/download/40149/222513/file/A.Kowalczyk-Jusko% 20-%20 Nawozowe%20wykorzystanie%20pozostalosci%20pofermentacyjnych.pdf](https://www.minrol.gov.pl/pol/content/download/40149/222513/file/A.Kowalczyk-Jusko%20-%20Nawozowe%20wykorzystanie%20pozostalosci%20pofermentacyjnych.pdf), dostęp: 11 wrzesień 2021 r.

⁴¹ E. Klimiuk, M. Pawłowska, T. Pokój, op. cit.

⁴² Ibidem.

⁴³ E. Klimiuk, M. Pawłowska, T. Pokój, op. cit.; J. Cebula, *Wybrane metody oczyszczania biogazu rolniczego i wysypiskowego*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012.

⁴⁴ J. Cebula, op. cit.

⁴⁵ Ibidem.

Możliwości wykorzystania biogazu rolniczego

Biogaz rolniczy wykorzystywany jest głównie do:

- wytwarzania energii elektrycznej i energii cieplnej w skojarzeniu – kogeneracja rozproszona (CHP – *combined heat and power*),
- wytwarzania energii cieplnej w kotłach,
- uzdatniania do biometanu i zatłaczania do sieci gazu ziemnego lub wykorzystania jako paliwo do pojazdów⁴⁶.

Konwersja biogazu rolniczego w energię jest nie tylko zyskownym przedsięwzięciem, ale również jest jednym z najlepszych sposobów jego unieszkodliwiania oraz ochrony środowiska przed jego odorem. Ze względów energetycznych, ekologicznych i ekonomicznych najkorzystniejszym rozwiązaniem – i tym samym najczęściej stosowanym w Polsce – jest bezpośrednie wykorzystanie biogazu do wytwarzania energii w skojarzeniu. Alternatywnym sposobem wykorzystania biogazu poza miejscem jego wytworzenia jest jego włączanie, po uprzednim oczyszczeniu, do sieci gazowej⁴⁷.

Na podstawie charakterystyki sektora rolnego w Polsce typów preferowanej produkcji oraz występującego zróżnicowania składu wytwarzanego nawozu organicznego pochodzenia zwierzęcego w zależności od grup zwierząt można stwierdzić, że nawozy naturalne pochodzenia zwierzęcego mogą stanowić znaczne źródło substratów do produkcji biogazu rolniczego. Potencjał ekonomiczny Polski uwzględniający możliwości produkcyjne roślinności energetycznej, odpadów przemysłowych i rolniczych wskazano na 6,6 mld metrów sześciennych⁴⁸. Zestawiając te możliwości z łącznym importem gazu PGNiG, który w 2019 roku wyniósł 14,85 mld metrów sześciennych, można szacować, że produkcja krajowa w Polsce mogłaby zaspokoić ponad jedną trzecią zapotrzebowania na tego rodzaju surowiec energetyczny⁴⁹.

Produkcja energii elektrycznej i cieplnej w kogeneracji

Biogaz pozyskany po procesie fermentacji kierowany jest do modułu kogeneracyjnego (CHP), gdzie energia chemiczna biogazu poddawana jest konwersji na energię elektryczną i ciepłą. Wytworzona energia zużywana jest na potrzeby technologiczne biogazowni, energia elektryczna wykorzystywana jest np. do zasilania pompy, mieszadła, dmuchawy, aparatury kontrolno-pomiarowej, oświetlenia, natomiast energia ciepła stosowana jest do podgrzewania komór fermentacyjnych. Ponadto wyprodukowana energia zaspokoić może potrzeby własne przez zasilanie swoich zakładów, budynków czy ferm, z których dostarczane są substraty. Zapotrzebowanie biogazowni na energię elektryczną stanowi ok. 10% jej ogólnej produkcji, natomiast w przypadku energii cieplnej ok. 25–40% zużywane jest na potrzeby własne. W przypadku gdy instalacja kogeneracyjna przez pewien okres nie pracuje, urządzeniem

⁴⁶ E. Den Boer, R. Szpadt, op. cit.

⁴⁷ *Przewodnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych...*, op. cit.

⁴⁸ *Ibidem*.

⁴⁹ PGNiG: *mniej gazu z Rosji, rośnie import LNG*, „PGNiG”, 27 stycznia 2020, <https://pgnig.pl/aktualnosci/-/news-list/id/pgnig-mniej-gazu-z-rosji-rosnie-import-lng/newsGroupId/10184?changeYe ar=2020¤tPage=1>, dostęp: 12 października 2021 r.

spalającym biogaz jest pochodnia gazowa. Fazy postępu są zazwyczaj krótkotrwałe i sporadyczne i związane są z pracami konserwacyjnymi, np. wymiana oleju, wymiana filtrów, pomiar luzów, sprawdzanie rozrządu itd. Nadmiar energii może być sprzedawany odbiorcom zewnętrznym na podstawie umów cywilno-prawnych, np. nadwyżka energii elektrycznej może być włączana do krajowego systemu elektroenergetycznego, natomiast energia ciepła odsprzedawana lokalnemu operatorowi⁵⁰.

Technologią umożliwiającą udoskonalenie kogeneracji i wzrostu współczynnika skojarzenia jest trigeneracja, która wytwarza nie tylko energię elektryczną oraz ciepłą, ale również chłód, przez dołączenie do układów kogeneracyjnych odpowiednio skonfigurowanych chłodziarek absorpcyjnych. W systemach ciepłowniczych, w okresie letnim, przyczynia się do poprawy ekonomiki produkcji energii elektrycznej i ciepłej w skojarzeniu przy niskim zapotrzebowaniu odbiorców na ciepło i istniejącym zapotrzebowaniu na chłód użytkowy. W odpowiednio zaprojektowanych technologiach jest to najbardziej efektywne rozwiązanie energetyczne dostępne na świecie⁵¹.

Włączanie biometanu do sieci dystrybucyjnej gazowej

Biogazownie rolnicze lokalizowane są zazwyczaj na obszarach rolniczych oraz w znacznej odległości od terenów zabudowanych, dlatego też możliwości wykorzystywania energii ciepłej są w dużym stopniu ograniczone. Metodą zwiększającą efektywność wykorzystania biogazu oczyszczonego do postaci biometanu jest włączanie go do sieci dystrybucyjnej gazowej i przesył do miejsc, które umożliwią produkcję energii elektrycznej i ciepłej w agregatach kogeneracyjnych lub też stosowanie jako paliwo do samochodów. Ważne jest, aby biometan przed włączeniem do gazociągu poddany był technologiom oczyszczania i wzbogacania i spełniał kryteria przedstawione w tabeli 4⁵².

Szczególnie istotne jest usunięcie siarkowodoru i pary wodnej, ponieważ ich obecność wpływa negatywnie na system dystrybucji gazu ziemnego. W związku z tym jakość biometanu włączanego do sieci gazowej nie może odbiegać od parametrów jakościowych innych rodzajów paliw gazowych transportowanych tą siecią. W przeciwnym wypadku pogorszy się jakość paliw gazowych w sieci, co negatywnie wpłynie na ostatecznych odbiorców, na ich bezpieczeństwo oraz funkcjonowanie urządzeń i instalacji przyłączonych do sieci⁵³.

⁵⁰ Przewodnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych..., op. cit.; *Produkcja energii biogazowni rolniczej*, „Agroenergetyka”, 3 stycznia 2010, <http://agroenergetyka.pl/?a=article&id=531>, dostęp: 2 października 2021 r.

⁵¹ *O kogeneracji/trójgeneracji*, Gs Energia, http://www.gsenergia.pl/222/o_kogeneracji_trojgeneracji, dostęp: 1 października 2021 r.; R. Szpadt, *Dolny Śląsk – Odzysk energii z odpadów, przegląd na tle innych krajów regionu Morza Bałtyckiego (Szwecji, Finlandii, Estonii i Litwy)*, prezentacja w ramach projektu: REMOWE – Regional Mobilizing of Sustainable Waste-to-Energy Production, Wrocław 2012.

⁵² Przewodnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych..., op. cit.

⁵³ Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 5 maja 2014 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii (Dz.U. 2014 poz. 671).

Tabela 4. Zestawienie paliw nieodnawialnych z odnawialnymi, tj. gazu ziemnego oraz biogazu i biometanu wg parametrów energetycznych

	Nieodnawialny surowiec energetyczny	Surowiec energetyczny odnawialny wyprodukowany w wyniku procesów chemicznych	
	Gaz ziemny	Biogaz	Biometan
Wartość kaloryczna	9–11 kWh/m ³	5,5–7,7 kWh/m ³ (w zależności od wsadu w biogazowni)	10,2–10,9 kWh/m ³

Źródło: opracowanie na podstawie *Przewodnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych*, Ministerstwo Gospodarki, Instytut Energii Odnawialnej, Warszawa 2011.

Perspektywy i uwarunkowania rozwoju biogazowni rolniczych na Dolnym Śląsku

Na terenie Dolnego Śląska, a w szczególności na Nizinie Śląskiej, potencjał dla produkcji biogazu jest wyższy niż w przypadku innych obszarów kraju. Biorąc pod uwagę korzystne nasłonecznienie i odpowiednią ilość opadów, wegetacja roślin w województwie dolnośląskim odbywa się w tempie porównywalnym z wegetacją roślin występującą w rejonach świata znacznie lepiej nasłonecznionych, ale za to bardziej suchych. W związku z tym stwarza to na Dolnym Śląsku relatywnie atrakcyjne warunki dla konkurencyjnej produkcji biogazu⁵⁴.

Najlepsze efekty fermentacji metanowej otrzymuje się przy zastosowaniu kofermentacji biomasy z produkcji roślinnej i odchodów zwierzęcych. Kofermentacja jest procesem bez-tlenowej biodegradacji mieszaniny z dwu lub więcej substratów pozwalającym na wyższy uzysk biogazu niż w przypadku stosowania fermentacji jednoskładnikowej⁵⁵. Na Dolnym Śląsku większy potencjał energii z biogazu można uzyskać z biomasy roślinnej, co spowodowane jest głównie dużym udziałem gruntów ornych, zwłaszcza w powiatach złotoryjskim, jaworskim, świdnickim, południowej części legnickiego, średzkiego, wrocławskiego, dzierzoniowskiego, ząbkowickiego, strzelińskiego i południowej części oławskiego, gdzie udział ten stanowi powyżej 80% powierzchni. Województwo dolnośląskie charakteryzuje się największą rolniczą produkcją roślinną w Polsce, jednak potencjał nie jest w pełni wykorzystywany, ponieważ np. produkcja kukurydzy na ziarno jest jedną z największych w Polsce, natomiast zbiory kukurydzy na kiszonkę, która może być substratem w biogazowni, należą do jednych z najmniejszych w kraju, co świadczy o niestandardowym wykorzystaniu tej rośliny. Na terenie Dolnego Śląska uprawia się również bardzo duże ilości rzepaku i rzepiku, które stanowią 13,6% zasiewów i zajmują na tle kraju pierwsze miejsce pod względem zbiorów⁵⁶.

⁵⁴ B. Derski, *Biogazownie rolnicze na Dolnym Śląsku: ekonomiczne, prawne i społeczne uwarunkowania powstawania i funkcjonowania biogazowni rolniczych na Dolnym Śląsku*, praca dyplomowa, Uniwersytet Ekonomiczny, Wrocław 2010; H. Klimczak, *Analizy przestrzenne w badaniach warunków gospodarowania na obszarach wiejskich województwa dolnośląskiego*, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2008, str. 9–13.

⁵⁵ A. Kowalczyk-Juško, op. cit.

⁵⁶ *Bank Danych Lokalnych*, Główny Urząd Statystyczny, <http://www.stat.gov.pl>, dostęp: 2 czerwca 2021 r.; B. Derski, op. cit.; Strategia Rozwoju Województwa Dolnośląskiego do 2020 roku, załącznik do uchwały nr XLVIII/649/2005 Sejmiku Województwa Dolnośląskiego z dnia 30 listopada 2005 roku.

Najniekorzystniejszymi warunkami dla powstawania biogazowni rolniczych charakteryzują się tereny góryste pasma Sudetów oraz północno-zachodnia część województwa (m.in. Bory Dolnośląskie). Niesprzyjające warunki występują również w powiatach milickim i w północnej części oleśnickiego⁵⁷.

Wykorzystanie substratów pochodzenia zwierzęcego w województwie dolnośląskim odznacza się warunkami przeciętnymi lub mniej niż przeciętnymi na tle Polski. Dolny Śląsk jest również jednym z najmniejszych producentów bydła, zajmuje 14. miejsce w stosunku do innych województw, trzody chlewnej, gdzie plasuje się na 13. miejscu, i drobiu – 11. miejsce. Największe stada krów występują w powiatach górowskim, trzebnickim, oleśnickim, legnickim, złotoryjskim, jaworskim, średzkim, świdnickim oraz strzebińskim, natomiast znaczne hodowle trzody chlewnej znajdują się w powiatach wrocławskim, ząbkowickim, oleśnickim, złotoryjskim, jaworskim i świdnickim. Tym samym można stwierdzić, że obszary te w dużym stopniu odpowiadają terenom intensywnej produkcji biomasy roślinnej, a ponadto w tych regionach występuje dobrze rozwinięta infrastruktura gazowa i ciepłownicza.

W związku z powyższym inwestorzy zainteresowani budową biogazowni rolniczych na terenie województwa dolnośląskiego powinni brać pod uwagę następujące 3 obszary⁵⁸:

- na południe od Wrocławia, gminy występujące na Nizinie Śląskiej, a zwłaszcza: Udanin, Kostomłoty, Kąty Wrocławskie, Kobierzyce, Żórawina, Siechnice, Borów i Domaniów;
- okolice Legnicy, zwłaszcza gminy wiejskie: Chojnów, Złotoryja, Chocianów, Lubin, Kunice, Krotoszyce, Legnickie Pole;
- na północy województwa, gminy graniczące z Wielkopolską: Góra, Wąsosz, Żmigród i Milicz.

Korzyści dla środowiska, społeczeństwa i gospodarki

Biogazownie rolnicze mogą przynosić korzyści dla krajowej gospodarki, dla lokalnej społeczności oraz powodować poprawę stanu środowiska.

Najważniejszym aspektem środowiskowym jest utylizacja odpadów z jednoczesną produkcją energii z biogazu, który jest odnawialnym źródłem energii. OZE jako alternatywa dla tradycyjnych pierwotnych i nieodnawialnych źródeł energii przyczynia się do zmniejszenia zużycia surowców kopalnych oraz emisji związków powstających podczas ich spalania. Oddziaływanie na środowisko w fazie budowy, eksploatacji i likwidacji instalacji bazujących na OZE jest również dużo mniejsze niż w przypadku technologii konwencjonalnych. Wykorzystanie nawozów naturalnych, czyli odpadów w formie nieprzefermentowanej, przyczynia się do emisji znacznych ilości metanu do atmosfery. Produkcja biogazu rolniczego wskutek fermentacji metanowej powoduje spadek emisji metanu i innych gazów cieplarnianych, w tym CO₂. Powstający poferment, czyli w całości przefermentowany materiał, może zostać wykorzystany jako nawóz o znacznie lepszych właściwościach niż odpady nieprzefermentowane. Biogazownie umożliwiają również redukcję emisji odorów, które wydzielane są podczas nawożenia pól nawozem naturalnym⁵⁹.

⁵⁷ H. Klimczak, op. cit.

⁵⁸ B. Derski, op. cit.; R. Szpadt, op. cit.

⁵⁹ B. Biega, *Polityka energetyczna a biogazownie rolnicze w województwie dolnośląskim* [w:] *Nowe trendy w naukach przyrodniczych*, Wrocław, CreativeTime, 2012, s. 60–69; *Korzyści z produkcji*

Biogazownie rolnicze stwarzają ogromną szansę dla rozwoju gmin i rolnictwa. Są źródłem dochodów zarówno dla mieszkańców, jak i dla gminy jako jednostki samorządowej. Dla lokalnej społeczności powstanie biogazowni może przynieść nowe miejsca pracy. Lokalne firmy wykonawcze i budowlane mogą podjąć współpracę z generalnym wykonawcą inwestycji biogazowej, a lokalne firmy transportowe zajmować się zbiorem plonów, transportem i zakiszaniem. Dzięki biogazowniom może nastąpić również rozwój rynku rolnego. Rolnicy, dostarczając substraty, otrzymywać będą stałe, gwarantowane dochody i będą mogli pozyskiwać wartościowy i bezzapachowy nawóz, a tym samym nastąpi eliminacja odorów, spowodowanych przez nawozy naturalne. Mieszkańcom pobliskich terenów będzie dostarczana tańsza energia cieplna. Dla lokalnych samorządów budowa biogazowni rolniczych również może przynosić korzyści, m.in. przez wpływy z tytułu podatków i opłat, wzrost zagospodarowania nieużytków oraz wykorzystanie nadwyżek produkcji rolnej. Do innych korzyści na rzecz gminy i wynikających z funkcjonowania biogazowni należy polepszenie wizerunku gminy jako gminy nowoczesnej i innowacyjnej, a tym samym możliwości pozyskania nowych inwestorów. Ważnym aspektem w rozwoju branży biogazowniczej jest edukacja społeczeństwa w tym zakresie, np. przez wprowadzenie ogólnopolskiej kampanii edukacyjnej i informacyjnej⁶⁰.

Biogazownie rolnicze mogą przyczyniać się również do wzrostu bezpieczeństwa energetycznego gminy i są sposobem zagospodarowania odpadów powstałych na jej terenie, a w konsekwencji redukują powierzchnię składowisk i ograniczają stosowanie innych metod unieszkodliwiania. Zasoby oraz struktura agrarna decydują o znacznym potencjale dla produkcji energii z biogazu, przyczyniając się do możliwości włączenia rolników w aktywną przynależność do innych sektorów gospodarki. Istotne jest więc, żeby polityka energetyczna dążyła w kierunku wsparcia rozwoju biogazowni rolniczych⁶¹.

Korzyści ekonomiczne z produkcji biogazu wynikają głównie z przychodów z tytułu sprzedaży wytworzonej energii elektrycznej. Innymi źródłami dochodów jest sprzedaż uzyskanej nadwyżki energii cieplnej, pofermentu jako nawozu oraz pobieranie opłat z tytułu przyjęcia do utylizacji odpadów organicznych. W przypadku gdy biogazownia wymaga zapotrzebowania na dodatkowe ciepło wykorzystywane do procesów technologicznych, to zużywa nadmiar wytworzonej energii cieplnej i nie ponosi już żadnych wydatków na zakup paliwa pierwotnego. Gdy biogazownia posiada pola uprawne wymagające nawożenia, to wtedy również nie ponosi kosztów związanych z zakupem nawozów mineralnych, gdyż sama wytwarza nawóz o lepszych właściwościach⁶².

biogazu, *Biogazownie rolnicze*, <http://biogazownierolnicze.pl/technologie/1391/korzysci-z-produkcji-biogazu>, dostęp: 23 października 2021 r.; *Korzyści z produkcji i wykorzystania biogazu dla inwestorów*, „IOZE hydro”, <http://ioze.pl/energetyka-biogazowa/korzysci-z-produkcji-i-wykorzystania-biogazu-dla-inwestorow>, dostęp: 23 października 2021 r.

⁶⁰ B. Biega, op. cit.; E. Den Boer, R. Szpadt, op. cit.

⁶¹ A. Pilarska, K. Pilarski, K. Dobrzański, *Wpływ rozwoju biogazowni w Polsce na dywersyfikację źródeł dochodów w rolnictwie*, „Technika Rolnicza, Ogrodnicza, Leśna” 2014, nr 1, Poznań, s. 10–12.

⁶² B. Biega, op. cit.; *Korzyści z produkcji biogazu...*, op. cit.; *Korzyści z produkcji i wykorzystania biogazu dla inwestorów...*, op. cit.

Bariery utrudniające rozwój biogazowni rolniczych

Obowiązujące przepisy prawne sprawiają, że budowa biogazowni rolniczych staje się długookresowym i skomplikowanym przedsięwzięciem, a przyłączenie do sieci energetycznej wymaga dużych środków finansowych oraz znacznego nakładu czasu. Aby można było rozpocząć budowę inwestycji – oprócz uzyskania niezbędnych pozwoleń – należy również zdobyć akceptację lokalnej społeczności, która zazwyczaj jest negatywnie nastawiona do powstania takiego przedsięwzięcia. Wynika to z nieświadomości korzyści, jakie mogą być osiągnięte poprzez produkcję i wykorzystanie biogazu⁶³.

Występuje również szereg innych niekorzystnych czynników, które są przeszkodą dla rozwoju biogazowni rolniczych. Zaliczyć można do nich przede wszystkim bariery natury prawnej, technologicznej, organizacyjnej oraz ekonomicznej. Ograniczenia mające charakter prawny spowodowane są w głównej mierze brakiem odpowiednich lub w małym stopniu sprzyjających uregulowań prawnych, które określają procedury prawno-administracyjne dotyczące wdrażania technologii i lokalizacji inwestycji. Kolejną barierą prawną są problemy wynikające z niepewności inwestorów wobec systemu wsparcia dla inwestycji biogazowych czy też trudności z finansowaniem projektów biogazowych. Znaczne nakłady wynikające z przygotowania przedsięwzięcia oraz koszty związane z budową biogazowni, które kształtują się na poziomie 4–5 mln euro/1 MW, mają w dużym stopniu wpływ na ograniczenie rozwoju tej branży energetyki odnawialnej. Kolejną barierą jest brak rzetelnych informacji związanych z efektywnością energetyczną i ekonomiczną budowy instalacji biogazowej oraz z wyborem najkorzystniejszej technologii, w zależności od stosowanych substratów, z określeniem odpowiedniej wydajności. Ograniczona jest również liczba projektantów, generalnych wykonawców, specjalistycznych firm budowlanych oraz technologów wyspecjalizowanych w projektowaniu, budowie oraz w eksploatacji biogazowni rolniczych. Kolejną komplikacją mogą być problemy wynikające z dostępności i przepustowości sieci elektroenergetycznej na terenach wiejskich. Przedsiębiorstwa energetyczne z powodów technicznych mogą odmówić wydania warunków przyłączenia lub wyznaczyć główny punkt zasilający (stację transformatorową) w znacznej odległości, w rezultacie wkład w budowę linii będzie tak duży, że zniweczy on realizację całej inwestycji⁶⁴.

Aby rynek biogazowni rolniczych mógł się rozwijać, niezbędne jest stworzenie warunków eliminujących bariery organizacyjne, prawne, technologiczne oraz ekonomiczne. Istotne zatem jest podejmowanie działań zmierzających do podnoszenia świadomości ekologicznej społeczeństwa, kształcenia specjalistów zajmujących się OZE oraz optymalizacja procesu produkcji biogazu poprzez prowadzenie badań i transfer wiedzy. Sektor biogazowy nie będzie się intensyfikował bez odpowiedniego wsparcia ze strony instytucji państwowych, dlatego konieczne jest dofinansowanie w postaci dotacji i pożyczek. Rozwiązaniem problemów branży biogazowej może być również wdrożenie programów

⁶³ M. Powąłka, A. Klepacka, J. Skudlarski, E. Golisz, *Aktualny stan sektora biogazu rolniczego w Polsce na tle krajów Unii Europejskiej*, „Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego” 2013, tom 13 (XXVIII), zeszyt 3, Warszawa, Wydawnictwo SGGW, str. 203–212.

⁶⁴ B. Biega, op. cit.; M. Powąłka, A. Klepacka, J. Skudlarski, E. Golisz, op. cit.

demonstracyjnych – pilotażowych, które wykażą racjonalność i skuteczność proponowanej technologii oraz zasadność ekonomiczną inwestycji, budując zaufanie wśród rolników, inwestorów oraz całej społeczności⁶⁵.

Zakończenie

Polska należy do krajów o dużym potencjale energetycznym, szczególnie w zakresie produkcji biogazu, który porównywalny jest do potencjału biogazowego Niemiec (lidera w Unii Europejskiej w produkcji biogazu). Produkcja biogazu w naszym kraju z roku na rok wzrasta, jednak nie jest to zadowalający poziom. W kraju na dzień 31 grudnia 2020 r. do rejestru wytwórców biogazu rolniczego wpisanych było 99 przedsiębiorstw energetycznych, w tym 116 instalacji biogazowych⁶⁶ o łącznej wydajności instalacji do produkcji biogazu 325,395 mln m³ i łącznej mocy układu energii elektrycznej 689,118 MWe, natomiast na dzień 27 maja 2021 r. rejestr powiększył się o kolejne 4 przedsiębiorstwa (4 instalacje).

Sektor odnawialnych źródeł energii w Polsce dysponuje obecnie indywidualną ustawą o OZE. Biorąc pod uwagę wymogi unijne przekładające się na politykę energetyczną Polski, tendencje europejskie w sektorze energetycznym, ogromny potencjał produkcji biogazu/biometanu w Polsce oraz sprzyjające regulacje prawne dla biogazu, należy oczekiwać, że jego rola będzie z roku na rok coraz większa.

Obszar Dolnego Śląska charakteryzuje się korzystnymi warunkami do rozwoju biogazowni rolniczych z tego względu, że posiada duże możliwości pozyskiwania substratów pochodzenia rolniczego (głównie biomasy roślinnej) oraz regiony o dobrze rozwiniętej infrastrukturze gazowej i ciepłowniczej, pozwalające na sprzedaż uzyskanej energii do istniejących już sieci. W artykule wskazano również obszary o najdogodniejszych warunkach do budowy biogazowni rolniczych.

Inwestycje w biogazownie są złożonym i długookresowym przedsięwzięciem, co wynika ze skomplikowanej procedury prawno-administracyjnej dotyczącej wdrażania technologii i położenia inwestycji. Pierwszym etapem projektowym biogazowni rolniczych jest identyfikacja jego zakresu przez wybór najkorzystniejszych rozwiązań dla konkretnej lokalizacji. Aby można było rozpocząć budowę inwestycji, oprócz uzyskania niezbędnych pozwoleń (tytułu prawnego do inwestycji, decyzji środowiskowej i lokalizacyjnej, pozwolenia na budowę oraz umowy realizacyjnej), należy również uzyskać akceptację lokalnej społeczności, która zazwyczaj jest negatywnie nastawiona do powstania takiego przedsięwzięcia.

Biogaz rolniczy powstaje w procesie fermentacji metanowej zachodzącym w warunkach beztlenowych z udziałem mikroorganizmów, podczas którego substraty organiczne przekształcone zostają w metan i dwutlenek węgla. Substratami w biogazowniach rolniczych mogą być: odpady z chowu zwierząt, biomasa z upraw polowych i użytków zielonych lub też odpady i produkty uboczne z przetwórstwa rolno-spożywczego. Zazwyczaj stosowana jest kofermentacja, która polega na mieszanii substratów pochodzących z różnych źródeł. Odpowiedni dobór substratów wsadowych ma kluczowe znaczenie dla rentowności przedsięwzięcia. Biogazownie rolnicze zazwyczaj bazują na technologii jednostopniowej, wykorzystując

⁶⁵ Ibidem.

⁶⁶ P. Banasik et al., *Raport. Biogaz w Polsce 2020*, Wydawca Biomass Media Group sp. z o.o., Poznań 2020, s. 39.

fermentację mokrą w warunkach mezofilowych, gdzie dostawa substratów odbywa się w sposób ciągły. Typowa instalacja biogazowa składa się z układu przygotowania i podawania substratów, komory fermentacyjnej, zbiornika magazynowego dla przefermentowanego substratu, zbiornika biogazu i agregatu kogeneracyjnego. W procesie fermentacji powstaje nie tylko biogaz, ale również poferment, który można stosować jako pełnowartościowy nawóz, jeśli spełnia określone wymagania normowane w aktach prawnych. Powstały biogaz poddawany jest technologiom oczyszczania, w których usuwana jest woda, cząstki stałe oraz siarkowodor, aby mógł zostać przekształcany w energię elektryczną i ciepłą. A dodatkowo podlega metodom wzbogacania, w których eliminowany jest dwutlenek węgla, w przypadku gdy ma służyć do zasilania sieci gazu ziemnego lub jako biopaliwo.

Budowa biogazowni rolniczej jest kosztownym przedsięwzięciem, w związku z czym oprócz środków własnych niezbędne jest pozyskiwanie dofinansowania, jeśli jest dostępne, ze środków krajowych czy też unijnych w postaci dotacji, kredytów lub dopłat do kredytów. Kolejnymi źródłami finansowania mogą być bankowe kredyty komercyjne lub też oferty leasingowe.

Biogazownie rolnicze niosą ze sobą wiele korzyści na różnych płaszczyznach życia. Produkcja biogazu odbywa się w sposób przyjazny dla środowiska: przez redukcję emisji metanu i innych gazów cieplarnianych emitowanych do atmosfery, utylizację odpadów roślinnych i zwierzęcych powstałych w gospodarstwach rolnych, powstawanie nawozu o znacznie lepszych właściwościach niż odpady nieprzefermentowane, aktywizację lokalnego rynku, promocję gminy oraz dywersyfikację źródeł energii i uniezależnienie się od paliw kopalnych. Główną barierą sektora biogazu w Polsce były niestabilne przepisy prawne, co skutecznie przyhamowało procesy inwestycyjne i finansowanie takich przedsięwzięć przez banki. Brak akceptacji lokalnej społeczności, źródeł finansowania, efektywności energetycznej i ekonomicznej, wyboru odpowiedniej technologii oraz braku wystarczającego zaplecza techniczno-technologicznego również determinowały rozwój sektora biogazu rolniczego w Polsce. Należy więc podejmować działania w celu usunięcia tych barier występujących na różnych podłożach, m.in. przez wprowadzanie ogólnopolskich kampanii edukacyjnych i informacyjnych, optymalizację procesu produkcji biogazu, odpowiednie wsparcia ze strony instytucji państwowych oraz wdrożenie programów demonstracyjnych.

Największy wpływ na rozwój rynku biogazowego i nowe inwestycje mają regulacje prawne, a obecna stabilna sytuacja prawno-finansowa dla nowych inwestycji, miejmy nadzieję, będzie sprzyjać wzrostowi liczby biogazowni. Biorąc pod uwagę wymogi unijne przekładające się na politykę energetyczną Polski, tendencje europejskie w sektorze energetycznym, ogromny potencjał produkcji biogazu/biomietanu w Polsce oraz dobry klimat polityczny i legislacyjny dla biogazu, należy oczekiwać, że rola biogazu będzie z roku na rok coraz większa⁶⁷.

Od kilkunastu lat suwerenność energetyczna Polski jest ograniczona przez import dużych ilości ropy naftowej oraz gazu ziemnego. Rozwiązaniem tej niekorzystnej sytuacji jest rozwój energetyki odnawialnej, w szczególności energii z biogazu, opartej na krajowych zasobach. Sektor biogazu i biomietanu ma być jednym z kluczowych elementów wspierających transformację energetyczną, której kierunki wyznaczono w przyjętej Polityce Energetycznej Polski do 2040 (PEP 2040). W PEP 2040 przewiduje się wzrost znaczenia biomasy, biogazu, geotermii w ciepłownictwie systemowym oraz pomp ciepła w ciepłownictwie indywidualnym. Podpisany 13 października 2020 r. „List intencyjny o ustanowieniu partnerstwa

⁶⁷ P. Banasik et al., op. cit., s. 43–51.

na rzecz rozwoju sektora biogazu i biometanu oraz zawarcia porozumienia sektorowego” jest krokiem do podjęcia wspólnych działań na rzecz rozwoju rynku w biogazowni i biometanowni w Polsce, które mają mieć duże znaczenie dla transformacji gospodarki w kierunku niskoemisyjnym i poprawy jakości powietrza oraz przyczynić się do dywersyfikacji źródeł energii i podniesienia bezpieczeństwa energetycznego naszego kraju, redukcji gazów cieplarnianych, a także wzrostu udziału OZE w finalnym zużyciu energii brutto w Polsce⁶⁸.

Bibliografia

- Banasik P. et al., *Raport. Biogaz w Polsce 2020*, Wydawca Biomass Media Group sp. z o.o., Poznań 2020, s. 39–51.
- Bank Danych Lokalnych, Główny Urząd Statystyczny, <http://www.stat.gov.pl>, dostęp: 2 czerwca 2021 r.
- Biega B., *Polityka energetyczna a biogazownie rolnicze w województwie dolnośląskim* [w:] *Nowe trendy w naukach przyrodniczych*, CreativeTime, Wrocław 2012, s. 60–69.
- Biogaz jako odnawialne źródło energii*, „Nowa Energia”, <https://nowa-energia.com.pl/2010/09/17/biogaz-jako-odnawialne-zrodlo-energii-/>, dostęp: 8 października 2021 r.
- Biogaz rolniczy – produkcja i wykorzystanie*, Mazowiecka Agencja Energetyczna, grudzień 2009, http://www.mae.com.pl/files/poradnik_biogazowy_mae.pdf, dostęp: 15 października 2021 r.
- Biogazownia rolnicza – od czego zacząć?*, „Magazyn Biomasa”, 17 września 2021, <https://magazynbiomasa.pl/biogazownia-rolnicza-od-czego-zaczac-sprawdz>, dostęp: 7 września 2021 r.
- Cebula J., *Wybrane metody oczyszczania biogazu rolniczego i wysypiskowego*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012.
- Den Boer E., Szpadt R., *Biogazownia szansą dla rolnictwa i dla środowiska*, prezentacja z konferencji regionalnej: Biogazownie szansą dla rolnictwa i środowiska, Wrocław, Politechnika Wrocławska, 2013.
- Derski B., *Biogazownie rolnicze na Dolnym Śląsku: ekonomiczne, prawne i społeczne uwarunkowania powstawania i funkcjonowania biogazowni rolniczych na Dolnym Śląsku*, praca dyplomowa, Wrocław, Uniwersytet Ekonomiczny, 2010.
- Energia Plus*, NFOŚiGW w Warszawie, <http://nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/energia-plus/nabor-ii-wnioskow-2020-2021>, dostęp: 2 października 2021 r.
- Filipiak I., *Finansowanie inwestycji biogazowych* [w:] *Biogaz w Polsce. Raport 2020*, Wydawca Biomass Media Group sp. z o.o., 2020.
- Głaszczka A., Wardal W., Romaniuk W. Domasiewicz T., *Biogazownie rolnicze*, Oficyna Wydawnicza Multico, Warszawa 2010, str. 36–41.
- Gostomczyk W., *Stan i perspektywy rozwoju rynku biogazu w UE i Polsce – ujęcie ekonomiczne*, „Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego” tom 17, 2017, s. 48–64.

⁶⁸ Ibidem.

- Jędrzak A., *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- Klimczak H., *Analizy przestrzenne w badaniach warunków gospodarowania na obszarach wiejskich województwa dolnośląskiego*, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2008.
- Klimiuk E., Pawłowska M., Pokój T., *Biopaliwa-technologie dla zrównoważonego rozwoju*, Wydawnictwo PWN, Warszawa 2012.
- Korzyści z produkcji biogazu. Biogazownie rolnicze*, <http://biogazownierolnicze.pl/technologie/1391/korzysci-z-produkcji-biogazu>, dostęp: 23 października 2021 r.
- Korzyści z produkcji i wykorzystania biogazu dla inwestorów*, IOZE hydro, <http://ioze.pl/energetyka-biogazowa/korzysci-z-produkcji-i-wykorzystania-biogazu-dla-inwestorow>, dostęp: 23 października 2021 r.
- Kowalczyk-Juśko A., *Nawozowe wykorzystanie pozostałości pofermentacyjnej na przykładzie badań IUNG, wykonywanych m.in. na zlecenie biogazowni rolniczej w Dębowej Kłodzie oraz Poldanoru*, 2011, <https://www.minrol.gov.pl/pol/content/download/40149/222513/file/A.Kowalczyk-Jusko%20-%20Nawozowe%20wykorzystanie%20pozostalosci%20pofermentacyjnych.pdf>, dostęp: 11 wrzesień 2021 r.
- Kowalczyk-Juśko A., *Substraty do produkcji biogazu [w:] Biogaz w Polsce. Raport 2020*, Wydawca Biomass Media Group sp. z o.o., 2020.
- Ledakowicz S., Krzystek L., *Wykorzystanie fermentacji metanowej w utylizacji odpadów z przemysłu rolno-spożywczego*, „Biotechnologia” 2005, nr 3(70), Łódź, str. 165–183.
- Łucka I., Kołodziej A., *Rolnicze wykorzystanie masy pofermentacyjnej z biogazowni rolniczej [w:] Wykorzystanie biomasy w energetyce. Aspekty ekonomiczne i ekologiczne*, Koszalin, Zachodniopomorski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Barzkowicach, 2011, str. 277–304.
- Maciąg K., *Urządzenia dla biogazowni – dobór w oparciu o doświadczenie*, Centrum Elektroniki Stosowanej CES, Bydgoszcz 2013.
- Matyka M., Skowron P., *Poferment – możliwości wykorzystania i zastosowanie [w:] Biogaz w Polsce. Raport 2020*, Wydawca Biomass Media Group sp. z o.o., 2020.
- Myczko A., *Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych. Poradnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych*, Wydawnictwo ITP, Warszawa–Poznań 2011.
- O kogeneracji/trójgeneracji*, „Gs Energia”, http://www.gsenergia.pl/222/o_kogeneracji_trojgeneracji, dostęp: 1 października 2021 r.
- Ochrona atmosfery*, WFOŚiGW we Wrocławiu, https://wfosigw.wroclaw.pl/zloz-wniosok/oa-ochrona-atmosfery/w_62,informacje, dostęp: 5 października 2021 r.
- Paterson M. et al., *Implementation Guide For Small-Scale Biogas Plants*, BioEnergy Farm II Publication, KTBL, Germany 2015, s. 6.
- PGNiG: mniej gazu z Rosji, rośnie import LNG*, „PGNiG”, 27 stycznia 2020, <https://pgnig.pl/aktualnosci/-/news-list/id/pgnig-mniej-gazu-z-rosji-rosnie-import-lng/newsGroupId/10184?changeYear=2020¤tPage=1>, dostęp: 12 października 2021 r.
- Produkcja energii biogazowni rolniczej*, „Agroenergetyka”, 3 stycznia 2010, <http://agroenergetyka.pl/?a=article&id=531>, dostęp: 2 października 2021 r.

- Pilarska A., Pilarski K., Dobrzański K., *Wpływ rozwoju biogazowni w Polsce na dywersyfikację źródeł dochodów w rolnictwie*, „Technika Rolnicza, Ogrodnicza, Leśna” 2014, nr 1, Poznań, str. 10–12.
- Powałka M., Klepacka A., Skudlarski J., Golisz E., *Aktualny stan sektora biogazu rolniczego w Polsce na tle krajów Unii Europejskiej*, „Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego” 2013, tom 13, zeszyt 3, (XXVIII), Warszawa, Wydawnictwo SGGW, str. 203–212.
- Przewodnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych*, Ministerstwo Gospodarki, Instytut Energii Odnawialnej, Warszawa 2011.
- Rodzaje substratów. Biogaz Zeneris*, <http://www.biogaz.com.pl/index.php/home/66-substraty>, dostęp: 10 października 2021 r.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 5 maja 2014 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii (Dz.U. 2014 poz. 671).
- Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2020 poz. 10).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 stycznia 2015 r. w sprawie procesu odzysku R10 (Dz.U. 2015 poz. 132).
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2009 nr 224 poz. 1804).
- Sprawdzona technologia-kogeneracja*, „Energ”, http://www.energ.pl/produkty_uslugi/kogeneracja/technologie, dostęp: 25 października 2021 r.
- Strategia Rozwoju Województwa Dolnośląskiego do 2020 roku, załącznik do uchwały nr XLVIII/649/2005 Sejmiku Województwa Dolnośląskiego z dnia 30 listopada 2005 roku.
- Szpadt R., *Dolny Śląsk – Odzysk energii z odpadów, przegląd na tle innych krajów regionu Morza Bałtyckiego (Szwecji, Finlandii, Estonii i Litwy)*, prezentacja w ramach projektu: REMOWE – Regional Mobilizing of Sustainable Waste-to-Energy Production, Wrocław 2012.
- Ślęzak R., *Procesy zachodzące na składowiskach odpadów*, Politechnika Łódzka, Łódź 2011.
- Trigeneracja*, Centrum Elektroniki Stosowanej CES, <http://www.kogeneracjaces.pl/technologie/trigeneracja.html>, dostęp: 1 października 2021 r.
- Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne (Dz.U. 2021 poz. 716).
- Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2021 poz. 76).
- Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2021 poz. 779).
- Zapałowska A., *Perspektywy rozwoju biogazowni na Podkarpaciu w oparciu o fundusze Unii Europejskiej* [w:] „Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy” 2012, nr 27, Rzeszów, Uniwersytet Rzeszowski, str. 241–251.

SUMMARY

Alicja Czarkowska, Marek Czarkowski

The use of biogas energy technology in the energy security system

Electricity and heat production from agricultural biogas is currently one of the most beneficial methods of obtaining renewable energy. Investments in biogas power engineering in Poland are not widespread at the moment. The obstacles connected with legal regulations, social conditions as well as problems connected with the sources of financing are the reasons why Poland is still behind the leader in biogas energy production in the European Union, i.e. Germany, despite its comparable geographical conditions. The aim of this article is to broaden the knowledge of production and use of biogas energy from renewable resources. The article presents possible forms of financing investments in this type of renewable energy source and presents perspectives and conditions of its development, i.e. benefits affecting the environment, society and economy as well as barriers hindering their development.

Key words: biogas, biomass, renewable energy, agricultural biogas plants, Lower Silesia, biogas energy, eco-energy policy, decomposition of organic matter, methane fermentation.

Data wpływu artykułu: 17.11.2021 r.

Data akceptacji artykułu: 06.12.2021 r.