

Polityka energetyczna

W wielu rolniczych regionach, przestarzała infrastruktura układów energetycznych oraz brak środków materialnych na nowe inwestycje powoduje cywilizacyjną i ekonomiczną zapaść. Zapewnienie dostaw energii z instalacji agroenergetycznych i utylizacyjnych pozwoliłoby odwrócić negatywne procesy, zredukowałoby negatywne zjawiska społeczne (zubożenie mieszkańców, powiększenie bezrobocia, emigrację) oraz umożliwiłoby zrównoważony rozwój lokalnej przedsiębiorczości, opartej na miejscowych zasobach przyrodniczych i miejscowych odnawialnych źródłach energii (OZE). Zdecydowane i skuteczne wsparcie rozwoju OZE może więc być sposobem na poprawę budżetów gospodarstw rolnych i innych przedsiębiorców zaangażowanych w produkcję energii oraz budowę i eksploatację systemów bio-agro-energetycznych³.

Wzrost wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE) jest bardzo ważny przede wszystkim ze względu na możliwości zwiększenia stopnia uniezależnienia się od dostaw energii z importu, dywersyfikacji źródeł dostaw, a także stwarzania warunków do rozwoju energetyki rozproszonej bazującej na lokalnie dostępnych surowcach. Odnawialna energetyka w Polsce ma szczególne znaczenie dla realizacji celów polityki energetycznej naszego kraju, co uwidocznione zostało w jednym z najważniejszych dokumentów strategicznych, tj: „Polityce energetycznej Polski do 2030 roku” przyjętej w 2009 roku przez Radę Ministrów⁴.

Dokumenty Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi oraz Ministerstwa Gospodarki przedstawiają rozwój i stosowanie Odnawialnych Źródeł Energii (OZE) jako cel strategiczny. Energetyce oraz sektorowi rolniczemu przypisuje się rolę wiodącą przy jego realizacji. Celem sektora rolniczego będzie inwestowanie i eksploatacja instalacji agroenergetycznych oraz stymulowanie gospodarstw rolnych do uruchomienia dodatkowych źródeł przychodów, które powinny poprawić rozwój obszarów wiejskich, podnosząc rozwój infrastruktury wsi oraz spowodować wzrost zatrudnienia w przedsiębiorstwach pracujących w otoczeniu rolnictwa. „Polityka Energetyczna Polski do 2030” zakłada, że do 2020 roku w każdej gminie powstanie instalacja biogazowa⁵.

Utylizacja pozostałości z przemysłu rolno-spożywczego oraz produktów ubocznych rolnictwa przez biogazownie rolnicze przyczynia się wydatnie i odgrywa ważną rolę w ochronie środowiska naturalnego. Biogazownie rolnicze mogą być przedmiotem inwestowania zarówno dla podmiotów z branży energetycznej oraz spółek zainteresowanych rozwojem inwestycji energetycznej, zakładów przemysłu rolno-spożywczego, zwłaszcza tych mających problem z utylizacją odpadów produkcyjnych, jak również, a może przede wszystkim stanowić dodatkowe źródło dochodów dla gospodarstw rolnych dając możliwości rozwojowe dla okolicznych rolników. Samorządy lokalne mogą być też inwestorem zainteresowanym rozwiązaniem problemów utylizacji odpadów produkcyjnych oraz problemów zaopatrzenia w energię⁶.

³ A. Myczko, *Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych*, Warszawa-Poznań, 2011, s. 7.

⁴ B. Biega, *Substraty do produkcji biogazu na przykładzie wybranych biogazowni rolniczych*, Uniwersytet Warszawski.

⁵ A. Myczko, *Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych*, Warszawa-Poznań, 2011, s. 7.

⁶ Z. Ginalski, *Substraty dla biogazowni rolniczych*, Centrum Doradztwa Rolniczego, Radom.

Wykorzystanie biogazu rolniczego w Polsce uzależnione jest od sposobu wdrażania Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych⁷.

Biomasa

Najstarsze i szeroko wykorzystywane odnawialne źródło energii to biomasa są to substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji. Pochodzą one z odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także przemysłu przetwarzającego ich produkty oraz odpady komunalne i przemysłowe, które ulegają biodegradacji. Biomasa jest używana do celów energetycznych w procesach bezpośredniego spalania biopaliw stałych (drewna, słomy), gazowych (w postaci biogazu) lub przetwarzania na paliwa ciekłe (oleje, alkohol)⁸. Biomasa to przede wszystkim odpady i pozostałości.

Do celów energetycznych można wykorzystać następujące postacie biomasy:

- słomę – zbożową, z roślin oleistych lub z roślin strączkowych oraz siano;
- drewno odpadowe w leśnictwie i przemyśle drzewnym oraz odpadowe opakowania drewniane;
- plony z plantacji roślin energetycznych;
- odpady organiczne – gnojowicę, osady ściekowe, osady ściekowe w przemyśle celulozowo-papierniczym, makulaturę, odpady organiczne z cukrowni, roszarni lnu, gorzelni, browarów itd.;
- biogaz z gnojowicy, osadów ściekowych i wysypisk komunalnych;
- biopaliwa płynne do celów transportowych, np. oleje roślinne, biodiesel, bioetanol z gorzelni i agrorafinerii.

Pozostałości i odpady uprawy niektórych roślin są celem produkcji, a nie ich formą uboczną tylko po to, aby uzyskać biomasę. Rośliny takie charakteryzują się bardzo niskimi wymaganiami glebowymi i dużym przyrostem rocznym np.: kukurydza, trzcina pospolita, wierzb wiciowa.

W Polsce roczny potencjał energetyczny biomasy, którą można zagospodarować, to ok. 4 mln ton odpadów drzewnych (chrust, trociny, kora, zrębki, pelety), ponad 20 mln ton słomy odpadowej, ok. 6 mln ton osadów ściekowych przemysłu celulozowo-papierniczego, spożywczego oraz miejskich odpadów komunalnych. W sumie daje to ok. 30 mln ton biomasy rocznie⁹.

Odpady roślinne

Pozostałości po zbiorach owoców i warzyw, żniwach (słoma) są dobrym surowcem do produkcji wysokiej jakości kompostów. Wstępne przygotowanie pozostałości po zbiorach do kompostowania i fermentacji wymaga jedynie zastosowania procesu rozdrabniania. W procesach fermentacji odpady te z reguły są wprowadzane jako składniki dodatkowe do fermentorów gnojowicy. Do fermentacji przeznaczają się pozostałości, takie jak: rośliny i ich części (np. liście, łodygi), zgniłe lub niskiej jakości owoce i warzywa oraz pozostałości z silosów. Gęstość nasypowa odpadów

⁷ Przewodnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych, Warszawa 03/2011.

⁸ D. Niedziółka, *Dylematy elektroenergetyki w Polsce*, Warszawa 2011, s. 54.

⁹ W.L. Lewandowski, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, Warszawa 2007, s. 327.

waha się w szerokich granicach, np. kaczany kukurydzy – śred. 200 kg/m³, słoma – śred. 135 kg/m³, łodygi kukurydzy – śred. 330 kg/m³, wybrakowane ziemniaki – śred. 915 kg/m³ ¹⁰.

Na świecie, a ostatnio i w Polsce do celów energetycznych wykorzystuje się ziarno zbóż, w tym głównie kukurydzy i owsa. Związane jest to z faktem, że ziarno ma niewielkie rozmiary, dlatego też łatwiej jest je transportować i magazynować niż drewno i słomę. Daje to duże możliwości techniczne pełnej automatyzacji procesu zadawania paliw do kotła. Ziarno spalane jest w specjalnych palnikach, wymagających dostarczenia odpowiedniej ilości powietrza oraz utrzymania odpowiednich temperatur spalania niż powszechne stosowane do biomasy¹¹.

Tabela 1. Charakterystyka najważniejszych obiektów pochodzenia roślinnego

Rodzaj odpadów	Zawartość wody %	Zawartość subst. organicznej % s.m.	Zawartość azotu, % s.m.	Iloraz C/n	Produkcja biogazu m ³ /kg s.m.o.	Zawartość metanu w gazie %
słoma	4-27 (12)	90-95	0,3-1,1 (0,7)	48-150 (80)	0,15-0,35	78
siano	8-14	90-93	0,7-3,6 (2,1)	15-40	0,50-0,58	53-55
odpady roślinne	30-40	90	-	100-150	0,20-0,50	b.d.
odpady owoców i warzyw	60-88 (80)	75-95	0,9-2,6 (1,4)	20-49 (35)	0,35-0,50	60-75
kiszonka traw	75-80	60-90	3,5-6,9	12-25	0,55-0,62	54-55
kukurydza kaczany łodygi	65-75 9-18 (15) (12)	85-95	- 0,4-0,8(0,6) 0,6-0,8	- 56-123(98) 60-73	0,61-0,64 - (0,45)	53 - ok. 80
kiszonka kukurydzy	65-80	85-95	1,1-2,0	10-25	0,45-0,70 (0,56)	50-55
wybrakowane ziemniaki	(78)	91-96	-	(18)	0,65-0,73	51-54
łęty ziemniaka	75	(87)	1,5	20-30 (25)	(0,55)	(75)
zboże	65-70	92-98	4	-	0,55-0,68	55

Źródło: A. Jędrzejczak, *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, Warszawa 2007, s. 29

Odchody zwierzęce

Działalność rolno-hodowlana, a w szczególności produkcja zwierzęca na skalę przemysłową zaliczana jest do głównych źródeł zanieczyszczeń środowiska naturalnego. W zależności od przyjętego systemu gospodarowania chów zwierząt gospodarskich generuje stałe (obornik) oraz płynne (gnojowica, gnojówka) odchody

¹⁰ A. Jędrzejczak, *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, Warszawa 2007, s. 29-30.

¹¹ I. Niedziółka, A. Zuchniarz, *Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego*, MOTROL, 2006, 8a, s. 332-337.

zwierzęce. Coraz popularniejszy staje się szczególnie w przypadku produkcji zwierzęcej na skalę masową, system bezściółkowy. W systemie tym odchody to tzw. gnojowica¹². Jest ona głównym substratem do produkcji biogazu rolniczego.

Gnojowica to mieszanina kału i moczu zwierząt wraz z wodą oraz resztek paszy. W zależności od sposobu karmienia i ilości zużytej wody stężenie substancji zawartych w gnojowicy jest różne¹³. Ilość kału i moczu determinowana jest przez szereg czynników zależnych od rodzaju zwierząt oraz od systemu ich chowu. Do najważniejszych należą gatunek, wiek, masa, ruch, różnice genetyczne, faza produkcji, przyzwyczajenia zwierząt itp. Istotne są również czynniki zewnętrzne, takie jak: jakość paszy, ilość zużywanej wody oraz warunki klimatyczne. Naturalne proporcje kału i moczu trzody chlewnej 40% i 60%, a u bydła wynoszą odpowiednio ok. 60% i 40%.

Wysokie uwodnienie gnojowicy powoduje, że odpad ten nadaje się przede wszystkim do fermentacji. Ilości gazu uzyskiwane z beztlenowego rozkładu gnojowicy są różne i kształtują się na poziomie od 0,01 do 2,13 m³ na sztukę hodowlaną na dobę lub od 0,17 do 0,60 m³/kg s.m.o.

Formy bezściółkowe odprowadzają gnojowicę o suchej masie 2-4% w przypadku trzody chlewnej i 5-7% dla bydła. Gnojowica z przemysłowej hodowli trzody i bydła charakteryzuje się niską zawartością suchej masy, od 3 do 12%. Zawartość suchej masy w odchodach zwierzęcych z małych gospodarstw, w których są one trzymane na słomie wchłaniającej ekskrementy, waha się od 10-30%. Podobną zawartość suchej masy – ok. 20% wykazują odchody kurcząt trzymany w dużych hodowlach rzędu kilkudziesięciu tysięcy sztuk¹⁴.

W przypadku produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego przepisy sanitarne określają rodzaj odpadów możliwych do zastosowania w biogazowniach. Zgodnie z Zarządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady nr 1774/2002 ustanawiającym przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego nie przeznaczonych do spożycia przez ludzi następuje podział produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego na trzy kategorie, które różnią się stopniem zagrożenia epidemiologiczno-sanitarnego¹⁵.

Proces fermentacji beztlenowej

Fermentacja jest procesem biologicznym, w którym mikroorganizmy beztlenowe przekształcając związki organiczne pozyskują energię potrzebną do życia. Produkty ich aktywności są specyficzne dla gatunków i decydują o nazwie rodzaju fermentacji. Wyróżniamy fermentację mlekową, która generuje powstawanie kwasu mlekowego, fermentację octową prowadzącą do tworzenia kwasu octowego, fermentację alkoholową, której produktem są alkohole, oraz fermentację metanową, która jest procesem tworzenia naturalnego metanu w przyrodzie. Proces fermentacji metanowej zachodzi przy utrzymaniu stałej odpowiedniej tempe-

¹² J. Bohdziewicz, M. Kuglarz, A. Kwarciak-Kozłowska, *Intensyfikacja fermentacji metanowej odchodów zwierzęcych w wyniku dodatku bioodpadów kuchennych*, Proceedings of ECOpole 2011, s. 191.

¹³ A. Curkowski, P. Mroczkowski i in., *Biogaz rolniczy – produkcja i wykorzystanie*, Mazowiecka Agencja Energetyczna, Warszawa 2009, s. 21.

¹⁴ A. Jędrzejczak, *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, Warszawa 2007, s. 31-32.

¹⁵ E. Głodek, *Przewodnik Biogazownie Utylizacyjne*, Opole 2010, s. 8-10.

ratury w wilgotnych siedliskach bogatych w materię organiczną, pozbawionych dostępu tlenu. W ekosystemach naturalnych i sztucznych, stworzonych przez człowieka, przykładem mogą być: przykryte zbiorniki gnojowicy, torfowiska, pola ryżowe, dna mórz, wysypiska śmieci, oraz żwacze przeżuwaczy. W warunkach odpowiednich do ciągłego odtwarzania się populacji bakterii metanotwórczych biogaz może uwalniać się nieprzerwalnie, a jego skład i ilość zależy od wielu czynników tworzących zespół warunków środowiska reakcji.

Wyróżniamy cztery fazy fermentacji beztlenowej, której końcowym produktem jest metan, przy udziale czterech grup mikroorganizmów, których każda wymaga odpowiednich dla siebie, ściśle określonych warunków środowiska reakcji.

I faza – hydrolityczna. Bakterie hydrolityczne z dolnego rozkładu złożonych związków organicznych (tj. węglowodany, białka i tłuszcze), za pomocą enzymów litycznych trawią substrat na drodze reakcji biochemicznych. Dzięki ich pracy otrzymujemy proste związki organiczne, takie jak aminokwasy, kwasy tłuszczowe i gliceryna oraz cukry, a porcja dodanej biomasy zmienia się w pulpę.

II faza – kwasowa. Do tej fazy trafia produkcja z fazy I. Bakterie kwasowe przerabiają aminokwasy, kwasy tłuszczowe i cukry na kwasy organiczne m.in. octowy, propionowy, masłowy oraz pierwsze porcje wodoru i dwutlenku węgla, niewielkie ilości alkoholu i kwasu mlekowego. Produkty tej fazy zmieniają odczyn pH, warunki środowiska całej mieszaniny oraz potencjał redukcyjno-oksydacyjny i alkaliczny, potencjał buforowy LKT/OWN (potencjał mieszaniny będący wynikiem proporcji zawartości Lotnych Kwasów Tłuszczowych i Ogólnego Węgla Nieorganicznego). Stabilność tej fazy decyduje o stabilności procesu.

III faza – octowa. Przepływ materii przesuwają produkty fazy II do środowiska zasiedlonego przez bakterie octowe, których metabolizm pozwala przekształcić lotne kwasy tłuszczowe w prekursorów biogazu, tj. wodór, kwas octowy i dwutlenek węgla. Prawidłowość tej fazy zależy od stężenia wodoru w środowisku, dlatego szybkie pochłanianie wodoru przez bakterie metanowe pozwala na prawidłowe zabezpieczenie przebiegu procesu.

IV faza – metanowa. W ostatniej fazie produkcji archebakterie metanogenne tworzą metan i dwutlenek węgla, używając wodoru i kwas octowy. Bakterie tej fazy są najbardziej wrażliwe na zmiany w środowisku i zakłócenia w poprzednich fazach, dlatego warunki w komorze fermentacyjnej systemu jednoetapowego dostosowane są do wymagań tej grupy.

W procesach technologicznych instalacji jednoetapowych stabilności pracy instalacji zależy od prawidłowego przepływu materii i wahań warunków w mikrośrodowiskach zasiedlonych przez poszczególne grupy bakterii, a wydajność pracy zależy od szybkości rozkładu substratów i tworzenia produktów pomiędzy wszystkimi etapami. W instalacji jednoetapowej wszystkie opisane fazy zachodzą równocześnie w całej przestrzeni jednego fermentatora¹⁶.

Parametry środowiska

Tlen to niepożądany gaz w instalacji biogazowej – do prawidłowego jej funkcjonowania konieczne jest zapewnienie szczelności wszystkich elementów technologicznych oraz możliwie najefektywniejsze odpowietrzanie porcji dziennego

¹⁶ A. Myczko, *Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych*, Warszawa–Poznań 2011, s.10-11.

wsadu. Rozruch technologiczny i dochodzenie do maksymalnej wydajności biogazowni trwa tak długo, jak i szybko, bakterie warunkowo beztlenowe zużyją cały tlen obecny w instalacji i rozpuszczony w mieszaninie fermentacyjnej. Mimo że części bakterii fazy I i II w fermentacji metanowej może przeżyć w obecności tlenu, jednak bakterie fazy octowej i metanowej są bezwzględnie beztlenowe.

Woda. Zawartość wody w metodzie fermentacji mokrej powinna wynosić ok. 85-92% świeżej masy. Jest ona głównym składnikiem środowiska życia mikroorganizmów i środowiskiem reakcji biochemicznych¹⁷.

Temperatura. W zależności od temperatury, w której prowadzi się fermentację, oraz od związanego z nią rodzaju bakterii biorących udział w procesie, różni się¹⁸:

- fermentację psychrofilową, prowadzoną przez bakterie psychrofilne, aktywne w temperaturze od 5 do 25°C;
- fermentację mezofilową z udziałem bakterii mezofilnych, aktywnych w temperaturze od 25 do 45°C;
- fermentację termofilową, powodowaną przez bakterie termofilne, aktywne w temperaturze od 45 do 60°C.

Fermentacja mezofilowa lub mieszana termo- i mezofilowa z rozdziałem faz to najczęściej stosowana z ww. fermentacji. Szczególnie kiedy po higienizacji otrzymujemy substrat o wysokiej temperaturze lub gorącą wodę procesową, warto wtedy zastosować komorę wstępną z bakteriami termofilnymi. Ze względu na niską wydajność psychrofilne instalacje są nieopłacalne¹⁹.

Składniki pokarmowe – mikroorganizmy, którym trzeba regularnie dostarczać pożywienie, hodowane są w komorach fermentacyjnych. Prawidłowy i wydajny proces fermentacji uzależniony jest od jakości i prawidłowego zbilansowania dostarczonego substratu. Nie wystarcza odpowiedni zasób węglowodanów, białka i tłuszczu, równie ważne są mikroelementy i pierwiastki śladowe, a ten składnik, który wyczerpie się najszybciej limituje aktywność bakterii i spowalnia wydajność fermentacji. Ważnym elementem bilansu składników jest stosunek C:N (węgla do azotu), gdyż w procesie fermentacji azot organiczny z substratu przekształcany jest w azot amonowy, który częściowo wykorzystywany jest do syntezy białka nowo powstających komórek bakterii. Ponadto przy nadmiarze azotu tworzy się amoniak, który już w niewielkich stężeniach hamuje rozwój bakterii, natomiast za dużo węgla, a za mało azotu powoduje obniżenie ilości metanu w wyniku zakłócenia przemiany węgla.

Odczyn pH – o wartości pH decydują obecne w cieczy osadowej słabe zasady i słabe kwasy. Związki te kształtują pojemność buforową układu i pozwalają na utrzymanie pH w zakresie 6,8-7,4, który jest optymalny dla większości przemian beztlenowych. Odczyn środowiska istotnie wpływa na wydajność i stabilność tworzenia metanu. Wpływa na rozpuszczalność i formy występowania związków zarówno organicznych, jak i nieorganicznych. Decyduje również o prawidłowym rozwoju mikroorganizmów wywołujących fermentację, zwłaszcza metanogenów. Już małe zmiany pH powodują zaburzenia w ich namnażaniu²⁰. Odczyn pH ustala

¹⁷ Tamże, s. 12.

¹⁸ A. Jędrzejczak, *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, Warszawa 2007, s. 93.

¹⁹ A. Myczko, *Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych*, Warszawa-Poznań 2011, s.12.

²⁰ A. Jędrzejczak, *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, Warszawa 2007, s.93.

się samoistnie w zbilansowanej mieszaninie fermentacyjnej dzięki równowadze zasadowych i kwasowych produktów reakcji beztlenowych. Jednak równowaga ta jest bardzo niestabilna, a na zmianę wpływa nie tylko każda kolejna porcja substratów, ale również tempo pracy poszczególnych grup bakterii, gdyż:

- bakterie hydrolityczne i kwasotwórcze są acidofilne – optimum w zakresie 4,5-6,3 pH, a produkty ich działalności zakwaszają środowisko reakcji. Mogą przeżyć w bardziej zasadowym pH jednak ich aktywność się obniży;
- bakterie octowe i metanowe są neutrofile – optimum w zakresie 6,8-7,5 pH, nie są w stanie przetrwać szybkiego obciążenia pH, dlatego odczyn mieszaniny fermentacyjnej utrzymuje się w zakresie neutralnym – obojętnym, spowalniając fazę I i II, lub stosuje się instalacje dwufazowe.

Poziom inhibitorów – inhibicja to zjawisko spowolnienia lub całkowitego, odwracalnego lub nieodwracalnego zahamowania procesu. Inhibitorem w produkcji biogazu mogą być zarówno czynniki fizyczne (czyli przekroczenie zakresu parametrów opisanych powyżej), jak parametry techniczne bioreaktora i technologiczne procesu oraz substancje chemiczne dostarczane do bioreaktora wraz z substratem lub takie, które powstają jako produkty reakcji na poszczególnych etapach przebiegu procesu fermentacji. Również podawanie substratu w zbyt dużych porcjach lub za często może działać hamująco na fermentację²¹.

Biogazownie

Biogazownia to zespół urządzeń i budynków, który w ściśle zaprojektowanym łańcuchu technologicznym powoduje fermentację biomasy w jej wnętrzu. Jest to instalacja, w której następuje przetwarzanie surowców organicznych w biogaz.

Biogazownie dzielimy na dwie grupy ze względu na rodzaj biomasy użytej do zasilania biogazowni: biogazownie i biogazownie rolnicze.

Biogazownie rolnicze to zespoły budynków i urządzeń, które zasilane materiałami pochodzenia rolniczego i/lub przemysłu rolno-spożywczego w procesie fermentacji produkują biogaz. Biogaz jest spalany w kotłach dla uzyskania ciepła lub spalany w kogeneratorach uzyskując w ten sposób prąd elektryczny i ciepło²².

Kiszonka z kukurydzy oraz gnojowica to typowy wsad w biogazowniach rolniczych. Stosunek kiszonki do gnojowicy wynosi 3:1, tzn. 75% stanowi kiszonka i 25% kukurydza. Wysoka wydajność produkcji i stabilność w procesie stanowi dużą zaletę tego procesu.

Typowa biogazownia rolnicza przetwarza biomasę występującą w rolnictwie (gnojowica, gnojówka, kiszonki, pomiot kurzy, zboża itp.). Biogazownie tego typu są w tej chwili budowane w Niemczech w ilości kilkuset rocznie, a ogólnie liczba niemieckich instalacji przekracza już 3500.

Biogazownia rolnicza najczęściej składa się ze:

- zbiorników fermentacyjnych, przykrytych szczelną membraną,
- zbiorników wstępnych na biomasę, niekiedy również hali przyjęć,
- zbiorników pofermentacyjnych lub laguny,

²¹ A. Myczko, *Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych*, Warszawa–Poznań 2011, s.12.

²² M. Józwiak, *Biogazownie rolnicze – fakty i mity*, Warszawa, s. 19-20.

- układu kogeneracyjnego (silnik gazowy plus generator elektryczny) produkującego energię elektryczną i ciepłą, zainstalowanego w budynku technicznym lub w komorze,
- zbiorników pofermentacyjnych lub laguny,
- instalacji sanitarnych, zabezpieczających, elektrycznych, łącznie z układami sterującymi, które integrują wszystkie elementy w funkcjonalną całość.

Istotna jest wielkość zbiorników fermentacyjnych, która w zależności od technologii, wielkości zainstalowanej mocy, rodzaju stosowanej biomasy itp. wynosi od kilkuset do nawet 10 tysięcy metrów sześciennych. Dla biogazowni 500 kWh zbiorniki będą miały objętość ok. 3 do 4 tys. m³, a więc zbiornik o objętości 3 400 m³ może mieć wysokość 6 m i średnicę 27 m i zajmie powierzchnię 570 m².

Ze względu na wielkość mocy wytwórczej biogazownie dzielimy na:

- 1) mikrobiogazownie do 40kW
- 2) małe biogazownie do 200kW
- 3) duże powyżej 200kW

Wielkość biogazowni określa się najczęściej mocą zainstalowaną układu kogeneracyjnego, czyli mocą maksymalną, wyrażoną w kW (kilowatach). Typowa moc zainstalowana to 100-1400 kW, ostatnio coraz częściej jest to ok. 500 kW – a więc moc wystarczająca dla wykorzystania w 5 tys. zwykłych żarówek 100W (lub 25 tys. żarówek energooszczędnych emitujących tę samą ilość światła)²³.

Tabela 2. Liczba przedsiębiorstw energetycznych oraz instalacji wpisanych do rejestru biogazowni rolniczych

Liczba przedsiębiorstw energetycznych wpisanych do rejestru biogazowni rolniczych wg stanu na dzień			
1 stycznia 2011 r.	1 stycznia 2012 r.	1 stycznia 2013 r.	31 grudnia 2013 r.
4	10	21	35
w tym liczba instalacji ujętych w rejestrze biogazowni rolniczych			
8	16	28	42

Źródło: www.arr.gov.pl

Etapy realizacji budowy biogazowni rolniczej

Budowa biogazowni to proces złożony i wieloetapowy. W Polsce budowa biogazowni rolniczych jest procesem ciągle rozwijającym się i nie występuje ujednolicony tok postępowania inwestorskiego²⁴.

Najważniejszym elementem w całym procesie inwestycyjnym jest dobór właściwej lokalizacji. Stanowi ona podstawę sukcesu całego przedsięwzięcia. Właściwa lokalizacja to zarówno wysokie przychody, jak i niskie koszty projektu.

- a) Ocena lokalizacji właściwie dobrana decyduje powodzeniu i opłacalności inwestycji. W pierwszej kolejności konieczne jest przeanalizowanie stanu prawnego działki, na której ma być realizowane przedsięwzięcie. Istotne jest

²³ M. Józwiak, *Biogazownie rolnicze* v2, s.1-2.

²⁴ W. Romaniuk, A. Karbowy, M. Łukaszuk, *Wymagania formalno-prawne projektowania i budowy biogazowni rolniczych*, „Problemy Inżynierii Rolniczej”, 4, 2008, s. 161-171.

także zlokalizowanie sąsiednich działek oraz czy zachowana jest bezpieczna odległość od sąsiadów. Należy też zanalizować, czy dostępna powierzchnia gruntu pod inwestycję jest wystarczająca. Dla małych biogazowni wystarczy działka o powierzchni do 1,5 ha. Należy zadbać o odizolowanie biogazowni z działką za pomocą specjalnych pasów zieleni, dlatego też powierzchnia działki musi być odpowiednia do danej inwestycji. Wybór technologii produkcji, rodzaj wykorzystywanych substratów oraz rozwiązania w zakresie dostaw substratów i odprowadzania masy pofermentacyjnej zależą od wielkości i wymiarów działki²⁵. Poniżej wymieniono wybrane zagadnienia, które należy rozważyć już na etapie identyfikacji zakresu projektu.

- Możliwość nabycia praw do terenu (wypis i wyrys z miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego oraz wypis z księgi wieczystej) i szacunek kosztów z tym z tym związanych (własność, dzierżawa).
- Analiza dostępności surowca.
- Analiza możliwości zawartości umowy o dzierżawę pod infrastrukturę liniową, gdy przechodzi ona przez inne, nie należące do inwestora tereny.
- Ocena możliwości przyłączenia do sieci elektroenergetycznej lub dystrybucyjnej gazowej i wydania warunków przyłączeniowych przez regionalny zakład energetyczny lub operatora gazowego.
- Sporządzenie cyfrowej mapy terenu. O sporządzenie cyfrowej mapy terenu należy zwrócić się do firmy geodezyjnej. Pomiaru wykonywane są na miejscu a następnie po obróbce w odpowiednim programie wysyłane są do zamawiającego.
- Ocena możliwości sprzedaży nadmiaru ciepła wyprodukowanego w kogeneracji. Szczególnie korzystne jest zagwarantowanie odbioru ciepła w okresie letnim przez odbiorcę przemysłowego np. mleczarnię lub producenta rolnego np. suszenie ziaren zbóż.
- Identyfikacja odległości od głównego punktu zasilającego (GPZ) lub gazociągu i możliwości uzyskania warunków przyłączenia do sieci. Koszt budowy kilometra linii średniego napięcia to kilkadziesiąt tysięcy złotych, dlatego tak ważne ekonomicznie jest umiejscowienie biogazowni jak najbliżej GPZ. Inną sprawą jest fakt, czy dystrybutor dysponuje wolnymi mocami przyłączeniowymi dla danego GPZ. Wiele takich punktów zajętych jest już przez inne źródła np. farmy wiatrowe
- Jeżeli nieruchomość przeznaczona pod biogazownię nie posiada zjazdów lub posiada je w miejscach niespełniających potrzeb inwestycji, należy wystąpić do zarządcy drogi o pozwolenie na zjazdy z drogi publicznej na działki przeznaczone pod inwestycję. Dla dużych biogazowni nośność nawierzchni dróg dojazdowych powinna umożliwiać przejazd pojazdom o masie powyżej 15 t. Dla wielu inwestycji konieczne okazuje się wybudowanie nowych nawierzchni, co wiąże się z dodatkowymi kosztami.
- Ograniczenie negatywnego oddziaływania na otoczenie.

²⁵ A. Curkowski, A. Oniszk-Popławska, G. Wiśniewski, M. Zowski, *Mała biogazownia rolnicza*, Fundacja Instytut na rzecz Ekorozwoju, Warszawa 2011.

- Ocena ilości przefermentowanej biomasy i możliwości wykorzystania nawozowego głównie pod kątem identyfikacji przyszłych odbiorców nawozu, obróbki oraz przechowywania.
- Ocena ilości przefermentowanej biomasy i możliwości wykorzystania nawozowego głównie pod kątem identyfikacji przyszłych odbiorców nawozu, obróbki oraz przechowywania.
- Forma prawna.
- Uzyskanie niezbędnych pozwoleń.
- Studium wykonalności.
- Uzyskanie akceptacji lokalnej społeczności.
- Budowa instalacji i rozruch biogazowni – zazwyczaj budowa biogazowni trwa kilka miesięcy. Szereg kontroli i formalności trzeba przejść przed oddaniem biogazowni do eksploatacji m.in. kontrola inspekcji nadzoru budowlanego (kwestie zgodności inwestycji z projektem i z prawem budowlanym), inspekcja Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w zakresie ochrony środowiska, a zwłaszcza zgodności inwestycji z decyzją środowiskową oraz kontrola przeprowadzona przez Straż Pożarną i Urząd Dozoru Technicznego, co związane jest z budową instalacji gazowej
- Zawarcie niezbędnych umów²⁶.

Biogaz

Biogaz jest mieszaniną składającą się głównie z metanu i dwutlenku węgla, produkowanych przez mikroorganizmy z rozkładu substancji organicznych w warunkach beztlenowych. Skład biogazu zależy od procesu technologicznego i zastosowanych substratów. Powstały biogaz składa się w 50-75% z metanu i 25-45% z dwutlenku węgla, a także z małych ilości siarkowodoru, tlenu, azotu i wodoru. Typowe zawartości poszczególnych składników w biogazie przedstawia tabela 3.

Procentowy udział metanu w biogazie stanowi o wartości opałowej tego paliwa. Im większy jego udział, tym większa wartość kaloryczna biogazu. Zawartość metanu zależy od składu fermentowanego materiału wsadowego. Przyjmuje się, że biogaz o zawartości 65% metanu ma zazwyczaj wartość kaloryczną 23 MJ/m³.

Tabela 3. Typowe zawartości poszczególnych składników w biogazie

Składnik	Zawartość
metan	50-75 %
dwutlenek węgla	25-45 %
siarkowódor	20-20 000 ppm
wodór	< 1 %
tlenek węgla	0-2,1 %
azot	< 2 %
tlen	< 2%
inne	śladowe ilości

Źródło: opracowanie własne

²⁶ A. Myczko, *Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych*, Warszawa–Poznań 2011, s. 47-56.

W biogazie występuje także w niewielkich ilościach siarkowodor, który jest produktem rozkładu białek. Stwarza on szereg problemów technicznych: może powodować korozję rurociągów, armatury i zbiorników metanowych, dlatego niezbędne jest jego usunięcie. Inną kłopotliwą domieszką biogazu jest para wodna, która może skraplać się w rurociągach i powodować ich niedrożność. Pozostałe domieszki biogazu występują w ilościach śladowych i nie wpływają znacząco na właściwości biogazu²⁷.

W przyrodzie w zależności od miejsca powstawania wyróżniamy biogaz:

- rolniczy,
- oczyszczalni ścieków,
- błotny lub bagienny,
- składowiskowy.

Podział ten jest umowny, jednak precyzuje miejsce jego powstania i jakiego substratu użyto do produkcji. Instalacja do wytworzenia biogazu w zakładzie rolnym wymaga innej technologii oraz innego wyposażenia technicznego, niż biogazownie na składowisku odpadów czy też wykorzystujące osady ściekowe.

W biogazowniach rolniczych jako surowiec do produkcji biogazu można wykorzystać:

- odpady z produkcji roślinnej (odpady zbożowe, odpady z pasz)
- odpady z produkcji spożywczej (odpady warzyw, wyłoki owoców, odpady tłuszczu i serów, odpady z produkcji żelatyny i skrobi, wywar pogorzelniany, wysłodziny browarniane),
- odpady z produkcji zwierzęcej (gnojowica, obornik, suche odchody),
- rośliny energetyczne z upraw celowych (zboża, w tym kukurydza, rośliny okopowe, rzepak, lucerna),
- odpady poubojowe kategorii K2 i K3²⁸.

Substraty, mające zdolność samoczynnego biogazowania, które w swoim składzie zawierają odpowiedni bilans składników pokarmowych oraz odpowiednią ilość bakterii metanogennych, nazywamy monosubstratami. Monosubstraty o szczególnych parametrach mikrobiologicznych, m.in. gnojowica krów mlecznych czy osad ściekowy, które są bogate w mikroorganizmy właściwe dla przebiegu wszystkich faz procesu fermentacji, określamy mianem substratów inokulujących, potocznie zwanych zaszczepiającymi. Natomiast te materiały, które wymagają współfermentacji, nazywamy kosubstratami, ich głównym zadaniem jest dociążenie mieszaniny fermentacyjnej suchą masą oraz zwiększanie wydajności procesu.

Ze względu na źródło pochodzenia – miejsce pozyskiwania, wyróżniamy następujące kategorie:

- odpady utylizacyjne rzeźne i tłuszczowe, komunalne,
- odpady z produkcji rolniczej i przetwórstwa, czyli przetworzone pozostałości nie nadające się do spożycia przez ludzi, podlegające utylizacji na drodze przemian biologicznych, tj. kompostowania lub zbiogazowania. W tej grupie mamy wywary, wycierki, wysłodki, wodę procesową,
- z upraw celowych – to rośliny pokarmowe lub paszowe, ale przeznaczone do wykorzystania energetycznego, np. buraki cukrowe, kiszonka z kukurydzy,

²⁷ A. Curkowski, P. Mroczkowski i inni, *Biogaz rolniczy - produkcja i wykorzystanie*, Warszawa 2009.

²⁸ Z. Ginalski, *Substraty dla biogazowni rolniczych*, CDR O/Radom.

- z upraw energetycznych – rośliny nie spożywcze, przeznaczone do wykorzystania energetycznego, np. miskant, spartina,
- pozostałości – czyli nieprzetworzone części roślin i materiały organiczne, powstające w trakcie produkcji rolniczej lub przemysłowej, nie nadające się do spożycia np. łęty ziemniaków, nać marchwiowa, kaczany kalafiora, brokułów i kapusty; plewy zbożowe, pestki i gniazda nasienne. Do tej kategorii zaliczamy również nawozy naturalne powstające w hodowli zwierząt inwentarskich.

Ze względu na cechy funkcyjne wyróżniamy substraty:

- rozcieńczające, sucha masa nie przekracza 8%, a ich funkcją jest rozszerzenie mieszaniny fermentacyjnej, np. gnojowica, mleko, soki owocowe, serwatka, woda procesowa lub technologiczna, itp.
- zagęszczające, sucha masa jest wyższa niż 8%. Pozwalają dociążyć rzadkie mieszaniny fermentacyjne zarówno suchą masę, jak i masę organiczną, np. słoma, kiszonki, pozostałości produkcji rolniczej i przemysłu spożywczego,
- dodatki stabilizujące proces, to z reguły substancje chemiczne, które podawane w stosunkowo niewielkich ilościach pozwalają utrzymać parametry biochemiczne mieszaniny na właściwym poziomie. Między innymi stabilizują pH, regulują potencjały buforowe i metanotwórcze, obniżają inhibicyjność, obniżają pienistość mieszaniny,
- zwiększające wydajność, to substraty dobierane ze względu na szczególne właściwości, np. wysoka zawartość białka, tłuszczu lub węglowodanów, które poprawiając uzysk biogazu i zawartości metanu lub redukują inhibitory.

Pod względem cech technologicznych wyróżniamy substraty:

- łatwo fermentujące – ich stosowanie nie powoduje trudności technologicznych, a proces fermentacji jest stabilny i łatwy do sterowania; to surowce, które w bezpiecznych ilościach nadają się na paszę dla bydła. Do substratów łatwych możemy zaliczyć odpowiednio rozdrobnione pozostałości roślinne produkcji rolniczej i większość pozostałości przemysłu rolno-spożywczego oraz odchody zwierząt inwentarskich,
- trudno fermentujące i niebezpieczne – w przypadku utylizacji tych surowców w biogazowniach rolniczych należy zachować zasadę nie więcej niż 6-10% masy odpadów w stosunku do masy całej mieszaniny fermentacyjnej, chyba że zastosowana technologia gwarantuje stabilność procesu. Do tej grupy zaliczamy substraty z kategorii II i III odpadów rzeźnych, obornik kurzy, szczególnie suchy kurzeniec.
- inokulujące – to substraty, w których obecne są odpowiednie grupy bakterii fermentacji metanowej. Substraty takie nadają się do zaszczipiania mieszanin fermentacyjnych, do zwiększania populacji bakterii w komorze fermentacyjnej, a przede wszystkim do rozruchu technologicznego nowych instalacji. Najlepszymi substratami tej kategorii są gnojowice krów mlecznych, bydła, świń, fermentujące osady ściekowe, do tej grupy zaliczamy również stabilizowaną treść żwacza przeżuwaczy,
- adhezyjne – to substraty średnio rozdrobnione o dużej zawartości celulozy, które łatwo unoszą się w mieszaninie fermentacyjnej. Ich rolą jest tworzenie unoszących się w strefie aktywnej „platform” do których aglomeraty bakterii octowych i metanowych mogą przywierać, aby nie opadać na dno zbiornika. Bakterie metanowe

i octowe nie wykazują pełnej aktywności metabolicznej jeśli nie są przytwierdzone do cząsteczek swobodnie pływających we właściwych strefach fermentacji²⁹.

Korzyści i zagrożenia płynące z eksploatacji biogazowni

Korzyści:

- Nowe perspektywy dla obszarów rolnych (usługi, uprawa roślin energetycznych) przy kilkukrotnie wyższej efektywności tych upraw w porównaniu do np. biopaliw i generacji.
- Korzystanie z odnawialnych źródeł energii przy wykorzystaniu wilgotnej biomasy i odpadów rolniczych, spożywczych i leśnych.
- Produkcja „zielonej” energii w biogazowni jest stabilniejsza niż energia wiatru.
- Zerowy bilans emisji dwutlenku węgla (nie licząc zagadnień transportowych).
- Szerokie spektrum wykorzystania nośników energii wytwarzanych z biogazu (prąd, ciepło, gaz - biometan, paliwo transportowe).
- Możliwość budowy tzw. kogeneracji rozproszonej, stabilizującej sieć energetyczną w obszarach wiejskich.
- Zdolność do generowania miejsc pracy zarówno w rolnictwie, jak i w przemyśle i budownictwie na skalę większą niż w innych technologiach OZE.

Zagrożenia:

- Stosunkowo wysokie nakłady inwestycyjne jak na technologie rolniczą.
- Wymagany jest dostęp do dużych areałów pod uprawy roślin energetycznych, jak i pod rozlewanie substancji pofermentacyjnej.
- Uciążliwa procedura podczas przygotowania inwestycji.
- Lokalny wzrost transportu.
- Niektóre substraty podlegają sezonowości, czyli są dostępne okresowo, co wymaga dobrego przygotowania logistycznego.
- Zagrożenia eksploatacyjne: możliwość eksplozji, uduszenia się, wystąpienia korozji, niskotemperaturowej, pojawienia się różnego typu odorów (tylko przy niewłaściwym odsiarczaniu lub popełnionych błędach w procesie fermentacji).
- Niedopasowanie technologii do przetwarzanych substratów³⁰.

Podsumowanie

Biogazowe technologie umożliwiają produkcję wysokoenergetycznego biogazu, pozwalają zarówno na utylizację wielu uciążliwych odpadów (odpady poubojowe, odpady z rolnictwa, odpady z gorzelnii, odpady owocowo-warzywne) oraz umożliwiają produkcję nawozów naturalnych z pofermentu³¹. Brak stałego wsparcia funkcjonowania istniejących biogazowni z funduszy krajowych i UE oznacza

²⁹ A. Myczko, *Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych*, Warszawa–Poznań 2011, s.16-17.

³⁰ M. Józwiak, *Biogazownie rolnicze – fakty i mity*, Warszawa.

³¹ B. Biega, *Substraty do produkcji biogazu na przykładzie wybranych biogazowni rolniczych*, Uniwersytet Warszawski.

duże koszty ich utrzymania ze środków własnych może spowodować ich nierentowność. Okres zwrotu inwestycyjnego w przypadku biogazowni trwa od 6 do 10 lat.

Wymienia się wiele pozytywnych aspektów inwestowania w biogazownie. Podkreśla się, że oprócz korzyści w postaci redukcji emisji gazów cieplarnianych do otoczenia i wpływu na poprawę bezpieczeństwa energetycznego, pobudzą one przede wszystkim rozwój lokalnej przedsiębiorczości i zaktywizują gospodarczo wieś poprzez tworzenie kolejnych miejsc pracy dla społeczności gospodarczej branży rolniczej³².

Bibliografia

- Biega B., *Substraty do produkcji biogazu na przykładzie wybranych biogazowni rolniczych*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa.
- Curkowsk A., P. Mroczkowski i in., *Biogaz rolniczy – produkcja i wykorzystanie*, Mazowiecka Agencja Energetyczna, Warszawa 2009.
- Curkowski A., Oniszk–Popławska A., Wiśniewski G., Zowski M., *Mała biogazownia rolnicza*. Fundacja Instytut na rzecz Ekorozwoju, Warszawa 2011.
- Ginalski Z., *Substraty dla biogazowni rolniczych*, Centrum Doradztwa Rolniczego, Radom
- Głodek E., *Przewodnik - biogazownie utylizacyjne*, Opole 2010.
- Jędrzejczak A., *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, Warszawa 2007.
- Jóźwiak M., *Biogazownie rolnicze – fakty i mity*, Warszawa.
- Lewandowski W.M., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, Warszawa 2007
- Myczko A., *Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych*, Warszawa-Poznań 2011.
- Niedziółka D., *Dylematy elektroenergetyki w Polsce*, Warszawa 2011.
- Niedziółka I., Zuchniarz A., *Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego*, MOTROL, 2006.
- Przewodnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych*, Warszawa 03/2011
- Romaniuk W., Karbowy A., Łukaszuk M., *Wymagania formalno prawne projektowania i budowy biogazowni rolniczych*, „Problemy Inżynierii Rolniczej”, 4/2008.
- Zapałowska A., *Perspektywy rozwoju biogazowni na Podkarpaciu w oparciu o fundusze Unii Europejskiej*, Rzeszów.
- www.arr.gov.pl

³² A. Zapałowska, *Perspektywy rozwoju biogazowni na Podkarpaciu w oparciu o fundusze Unii Europejskiej*, Rzeszów, s.249.