

ACTA AGROPHYSICA MONOGRAPHIAE



BIOGAZ – WYTWARZANIE
I MOŻLIWOŚCI JEGO WYKORZYSTANIA

Dariusz Wiącek, Jerzy Tys

Instytut Agrofizyki
im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
w Lublinie

2015 (1)

ISSN 2084-3429, ISBN 978-83-89969-12-5

ACTA AGROPHYSICA



BIOGAZ – WYTWARZANIE I MOŻLIWOŚCI JEGO WYKORZYSTANIA

Dariusz Wiącek, Jerzy Tys

**Instytut Agrofizyki
im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
w Lublinie**

2015(1)

Redaktor Naczelny – Józef Horabik
Zastępca Redaktora Naczelnego – Grzegorz Józefaciuk
Sekretarz Redakcji – Marek Pazur
Redaktor Tematyczny – Jerzy Lipiec
Redaktor Języka Polskiego – Barbara Pietrasiewicz
Redaktor Języka Angielskiego – Tomasz Bylica

Rada Redakcyjna

Dorota Witrowa-Rajchert – Przewodnicząca

Andrey Alekseev, Rosja	Viliam Novák, Słowacja
Tadeusz Filipek, Polska	Josef Pecen, Czechy
Jarosław Frączek, Polska	Pedro Aguado Rodriguez, Hiszpania
Werner Herppich, Niemcy	István Seres, Węgry
Andrzej Lenart, Polska	Stanisław Skonecki, Polska
Janusz Olejnik, Polska	Jerzy Weres, Polska
Leonid Muravsky, Ukraina	Gerd Wessolek, Niemcy

Opiniowała do druku:

Anna Grzybek

Adres redakcji

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Wydawnictwo
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin, tel. 81 744-50-61, www.ipan.lublin.pl

Streszczenia i pełne teksty prac dostępne są na stronie internetowej czasopisma
www.acta-agrophysica-monographiae.org

Wersja pierwotna wszystkich zeszytów to wersja drukowana

©Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2015

ISSN 2084-3429, ISBN 978-83-89969-39-2

Acta Agrophysica są do nabycia w dziale Wydawnictw Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie.
Prenumeratę instytucjonalną można zamawiać w dziale Wydawnictw Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie
oraz w oddziałach firmy Kolporter S.A. na terenie całego kraju. Informacje pod numerem infolinii
0801-205-555 lub na stronie internetowej <http://www.kolporter-spolka-akcyjna.com.pl/prenumerata.asp>

Wydanie I. Nakład 150 egz., ark. 6,6
Skład komputerowy: Marek Pazur
Druk: Perfekta info, ul. Doświadczalna 48, 20-280 Lublin

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	7
2. DEFINICJA I WŁAŚCIWOŚCI BIOGAZU	7
3. PROCES FERMENTACJI METANOWEJ	10
3.1 Przebieg procesu fermentacji metanowej	10
3.2 Bakterie uczestniczące w procesie fermentacji beztlenowej	11
3.2.1. Bakterie hydrolityczne	12
3.2.2. Bakterie kwasotwórcze	12
3.2.3. Bakterie acetogenne	12
3.2.4. Mikroorganizmy metanogenne	13
3.3. Warunki przebiegu procesu fermentacji	14
3.3.1. Dostarczanie składników odżywczych	14
3.3.2. Stosunek C/N	14
3.3.3. Tlen	15
3.3.4. Czas retencji	16
3.3.5. Rozcieńczenie materiału organicznego	16
3.3.6. Inhibitory procesu fermentacji	16
3.3.7. Mieszanie	16
3.3.8. Parametry procesu fermentacji metanowej	17
4. HISTORIA BIOGAZU	18
5. RODZAJE SUBSTRATÓW DO PRODUKCJI BIOGAZU I ICH WYDAJNOŚĆ	20
5.1. Substraty pochodzenia rolniczego	20
5.2 Substraty pochodzenia przemysłowego	24
5.3 Substraty komunalne	26
6. METODY SZACOWANIA WYDAJNOŚCI INSTALACJI BIOGAZO- WYCH NA PODSTAWIE WYDAJNOŚCI SUBSTRATÓW	28
6.1. Metody oceny wydajności substratów	29
6.1.1. Metoda kalkulacyjno-tabelaryczna	29
6.1.2. Metoda analityczno-doświadczalna	29
6.2. Metody zwiększania wydajności instalacji biogazowych	29
7. SYSTEMY PRODUKCJI BIOGAZU	30
7.1. Temperatura procesu technologicznego	30
7.2. Liczba etapów procesu technologicznego	30
7.3. Zawartość suchej masy w substratach	30
7.4. Tryb napełniania komór	31
7.4.1. Tryb ciągły napełniania komór	31
7.4.1.1. Metoda przepływowa	31
7.4.1.2. Metoda magazynowa	32
7.4.1.3. Kombinowana metoda przepływowo-magazynowa	33
7.4.2. Tryb częściowo ciągły napełniania komór	33
7.4.3. Tryb nieciągły napełniania komór	33
7.4.3.1. Proces okresowy	34
7.4.3.2. Metoda zbiorników wymiennych	34
8. ELEMENTY CIĄGU TECHNOLOGICZNEGO PRODUKCJI BIOGAZU.....	35
8.1. Elementy do wstępnej obróbki materiału wsadowego	36
8.2. Komora fermentacyjna	37

8.3. Zbiorniki do magazynowania biogazu	38
8.4. Zbiorniki do magazynowania odpadów pofermentacyjnych	40
8.5. Urządzenia do wytwarzania energii	40
8.6. Aparatura kontrolno-pomiarowa	40
9. ZAGROŻENIA ZWIĄZANE Z PRODUKCJĄ BIOGAZU	41
9.1. Zagrożenia technologiczne	41
9.1.1. Wybuchowość biogazu	42
9.1.2. Korozja niskotemperaturowa	44
9.2. Zagrożenia dla zdrowia i życia ludzi	45
9.2.1. Zagrożenia toksykologiczne	45
9.2.2. Zagrożenia odorowe	46
9.3. Zagrożenia dla środowiska	46
9.3.1. Zwiększenie efektu cieplarnianego	46
9.3.2. Nieprawidłowe stosowanie nawozów naturalnych	46
10. OCZYSZCZANIE I WZBOGACANIE BIOGAZU	47
10.1. Oczyszczanie biogazu	47
10.1.1. Osuszanie biogazu	47
10.1.2. Odsiarczanie biogazu	47
10.1.2.1. Odsiarczanie biologiczne biogazu	48
10.1.2.2. Odsiarczanie chemiczne biogazu	48
10.1.3. Usuwanie dwutlenku węgla z biogazu	48
10.1.3.1. Adsorpcja zmiennociśnieniowa	49
10.1.3.2. Adsorpcja fizyczna	50
10.1.3.3. Adsorpcja chemiczna	51
10.1.3.4. Separacja membranowa	51
10.1.3.5. Separacja kriogeniczna	52
10.2. Wzbogacanie biogazu	52
11. MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA BIOGAZU	52
11.1. Energetyczne wykorzystanie biogazu	53
11.2. Wprowadzenie biometanu do sieci	53
11.2.1. Skład i rodzaje gazu ziemnego	53
11.2.2. Wymagania dotyczące jakości gazów ziemnych w sieci przemysłowej	54
11.2.3. Mieszanki gazu ziemnego i biometanu	57
11.2.4. Technologie wtłaczania biometanu do sieci	57
11.2.5. Wtłaczanie biometanu do sieci w krajach europejskich	58
11.3. Wykorzystanie biometanu jako paliwa napędowego	58
12. KORZYŚCI Z PRODUKCJI BIOGAZU	60
12.1. Korzyści społeczno-gospodarcze	61
12.2. Korzyści ekonomiczne	61
12.3. Korzyści środowiskowe	62
13. MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ODPADÓW POFERMENTACYJNYCH	63
14. ENERGETYKA BIOGAZOWA W ŚWIECIE	66
14.1. Instalacje biogazowe w krajach spoza Unii Europejskiej	67
14.2. Instalacje biogazowe w krajach Unii Europejskiej	67
14.3. Instalacje biogazowe w Polsce	69
14.3.1. Perspektywy rozwoju biogazowni w Polsce	71
14.3.2. Aktualny stan biogazowni w Polsce	72

14.3.3. Bariery rozwoju biogazowni w Polsce	74
14.3.3.1. Bariery infrastrukturalne	74
14.3.3.2. Bariery organizacyjne	74
14.3.3.3. Bariery techniczne	75
14.3.3.4. Bariery prawne	75
14.3.3.5. Bariery ekonomiczne	76
14.3.3.6. Bariery społeczne	76
15. PLANOWANIE I BUDOWA BIOGAZOWNI ROLNICZEJ	77
15.1. Planowanie biogazowni rolniczej	77
15.1.1. Dostępność substratów	77
15.1.2. Lokalizacja	78
15.1.3. Wielkość biogazowni	78
15.1.4. Wybór technologii	78
15.1.5. Uwarunkowania środowiskowe	79
15.2. Montaż finansowy	79
15.3. Pozyskanie pozwoleń	81
15.4. Przygotowanie dokumentacji technicznej	83
15.5. Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczej	84
16. PIŚMIENNICTWO	85
17. STRESZCZENIE	89
18. SUMMARY	90

1. WSTĘP

Najpowszechniej wykorzystywanymi obecnie źródłami energii są węgiel, ropa naftowa i gaz, a 80% energii zużywanej na świecie pochodzi z ich spalania. Wymienione surowce są nieodnawialne, dlatego wcześniej czy później nastąpi deficyt ich wydobycia. Według różnych szacunków, węgla wystarczy na około 200 lat, natomiast gazu i ropy na około 50 lat (WEC, 2007). Stopniowe wyczerpywanie się złóż surowców energetycznych, liczne kryzysy naftowe, a także drastycznie wzrastające ceny ropy naftowej spowodowały, że coraz częściej poszukujemy alternatywnych źródeł energii. Wśród alternatywnych źródeł energii wymienić należy między innymi energię wodną, słoneczną, geotermalną, jądrową, energię wiatru oraz różnego rodzaju biopaliwa. Biopaliwa dzielimy na stałe (słoma, drewno), ciekłe (otrzymywane w procesie fermentacji alkoholowej – etanol lub estryfikacji olejów roślinnych – biodiesel) oraz gazowe (powstałe w procesie fermentacji beztlenowej stałych i ciekłych odpadów produkcji rolniczej – biogaz lub w procesie zgazowania biomasy – gaz drzewny). Głównymi zaletami biopaliw jest to, że są paliwami odnawialnymi pochodzącymi z surowców biologicznych, oferują wiele korzyści technicznych oraz środowiskowych, redukują emisję gazów cieplarnianych (CO_2 i metanu), dywersyfikują rynek energii i paliw oraz ulegają biodegradacji. Z uwagi na przyjęte na szczycie Unii Europejskiej zobowiązanie Polski do redukcji emisji CO_2 o 20% do roku 2020, wzrasta zainteresowanie użyciem biopaliw do produkcji energii elektrycznej i ciepłej oraz ich wykorzystania do napędu pojazdów. Jednym z bardziej interesujących rozwiązań wydaje się użycie biogazu jako paliwa alternatywnego dla paliw kopalnych. Biogaz pozyskiwany jest jako produkt procesów fermentacji osadów ściekowych, z odpadów organicznych na wysypiskach śmieci oraz w biogazowniach wykorzystujących odpady produkcji rolniczej. Po oczyszczeniu i uszlachetnieniu staje się on pełnowartościowym paliwem nadającym się do zastosowania zarówno w sieci gazowej, jak i w nowoczesnych silnikach spalinowych. Biogaz jest paliwem odnawialnym, przez co jego spalanie nie wpływa na globalne zwiększenie ilości dwutlenku węgla w atmosferze. Zalety stosowania biogazu to przede wszystkim mniejsza emisja zanieczyszczeń szkodliwych dla środowiska, w porównaniu do innych paliw, oraz wysoka wartość opałowa ($20\text{--}26 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$).

2. DEFINICJA I WŁAŚCIWOŚCI BIOGAZU

Biogaz jest mieszaniną gazów powstającą w procesie fermentacji beztlenowej. W środowisku naturalnym fermentacja beztlenowa zachodzi w glebie, osadach dennych zbiorników wodnych, mokradłach, na bagnach, torfowiskach, na dnie

mórz i jezior, w gnojowicy oraz w przewodzie pokarmowym przeżuwaczy. Projekt Ustawy o odnawialnych źródłach energii z dnia 9 października 2012 roku (Projekt OZE 2012) definiuje biogaz rolniczy jako paliwo gazowe otrzymane w procesie fermentacji metanowej surowców rolniczych, produktów ubocznych rolnictwa, płynnych lub stałych odchodów zwierzęcych, produktów ubocznych lub pozostałości z przetwórstwa produktów pochodzenia rolniczego lub biomasy leśnej, z wyłączeniem gazu pozyskiwanego z surowców pochodzących z oczyszczalni ścieków oraz składowisk odpadów. Definicja ta wymienia wiele materiałów organicznych, mogących stanowić substraty w procesie fermentacji metanowej.

W zależności od miejsca powstawania wyróżnia się biogaz:

- składowiskowy,
- wytwarzany w oczyszczalniach ścieków,
- rolniczy.

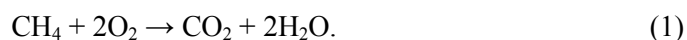
W skład biogazu wchodzi głównie metan i dwutlenek węgla oraz niewielkie ilości azotu, siarkowodoru i wodoru. Skład biogazu zależy w głównej mierze od wykorzystanych substratów oraz zastosowanego procesu technologicznego. Typowe zawartości poszczególnych gazów w biogazie przedstawione zostały w tabeli 1.

Tabela 1. Zawartość składników w biogazie (Oleszkiewicz 1999)

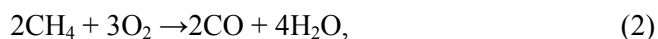
Table 1. Biogas composition (Oleszkiewicz 1999)

Składnik biogazu – Biogas component	Zawartość – Content (%)
metan – methane	50-75
dwutlenek węgla – carbon dioxide	25-45
siarkowodor – hydrogen sulphide	20-20 000 ppm
wodór – hydrogen	< 1
tlenek węgla – carbon monoxide	0-2
azot – nitrogen	< 2
tlen – oxygen	< 2
inne – other components	śladowe ilości – trace amounts

Metan, główny składnik biogazu, jest gazem lżejszym od powietrza, bezbarwnym, bezwonny, o temperaturze topnienia – 184°C i temperaturze wrzenia – 165°C. Rozpuszcza się w alkoholu i eterze, pali się prawie nieświecącym, niebieskawym płomieniem. Metan jest gazem palnym i przy wystarczającym dostępie powietrza spala się całkowicie. Spalanie całkowite metanu można przedstawić następującym równaniem reakcji:



Przy ograniczonym dostępie powietrza ma miejsce półspalanie:



lub spalanie niecałkowite:



których produktami są tlenek węgla lub sadza.

Tabela 2. Porównanie wartości opałowej biogazu z innymi nośnikami energii (Ginalski 2012)

Table 2. Comparison of calorific values of various fuels (Ginalski 2012)

Rodzaj paliwa – Fuel	Wartość opałowa – Calorific value ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$)
biogaz – biogas	20-26
gaz ziemny – natural gas	33,5
olej napędowy – diesel	41,9
węgiel kamienny – hard coal	32,4
biopaliwo z rzepaku – rapeseed biofuel	36,5
etanol – ethanol	29,6
drewno opałowe – fuel wood	8-18

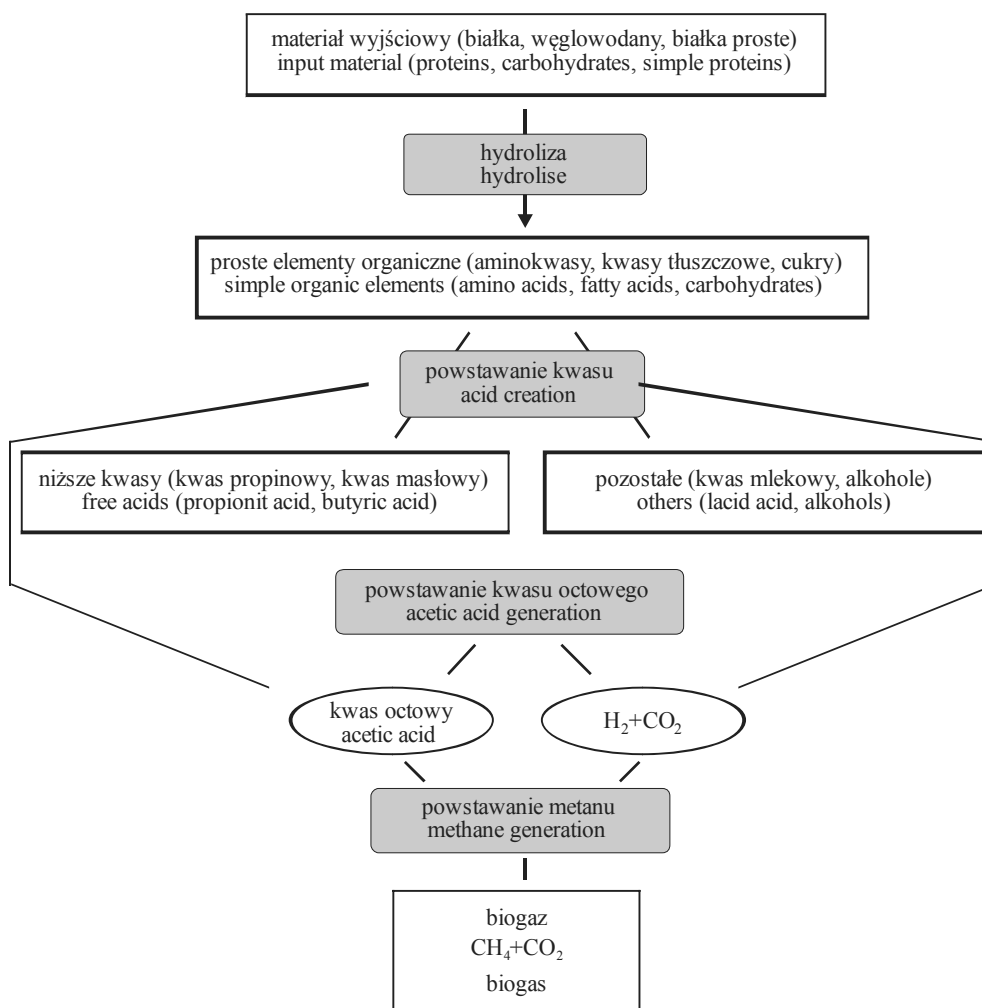
Jednym z parametrów determinujących jakość paliwa jest jego wartość opałowa. Jest to ilość ciepła, wydzielająca się podczas całkowitego spalania jednostki masy paliwa lub jednostki objętości paliwa w atmosferze tlenu, a substancje wyjściowe i produkty spalania znajdują się w warunkach standardowych (1013,25 hPa, 298,15 K) (Wartość opałowa 2013).

Wartość opałowa czystego metanu wynosi $35,7 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$, zaś wartość opałowa biogazu waha się w granicach od 16,7 do $23 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ i jest ściśle uzależniona od proporcji gazów wchodzących w jego skład. Średnia wartość opałowa biogazu wynosi ok. $21,54 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$. Po oczyszczeniu biogazu z CO_2 jego wartość opałowa wzrasta do $35,7 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$. Energia uzyskana z 1 m^3 oczyszczonego biogazu odpowiada 9,4 kWh energii elektrycznej i jest równoważna energii otrzymanej z $0,93 \text{ m}^3$ gazu ziemnego, 1 dm^3 oleju napędowego lub 1,25 kg węgla. W krajach rozwijających się, nie posiadających wystarczających zasobów ropy naftowej lub węgla i nie będących w stanie importować paliw nieodnawialnych z przyczyn ekonomicznych, pokłada się duże nadzieje w możliwości produkcji energii elektrycznej z biogazu. Porównanie wartości opałowej biogazu z innymi nośnikami energii przedstawia tabela 2 (Ginalski 2012).

3. PROCES FERMENTACJI METANOWEJ

3. 1. Przebieg procesu

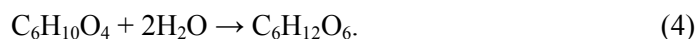
Proces powstawania biogazu można podzielić na cztery, ściśle ze sobą związane etapy. Rysunek 1 przedstawia schemat przebiegu fermentacji beztlenowej.



Rys. 1. Schemat przebiegu fermentacji beztlenowej

Fig. 1. Schematic of basic process of anaerobic digestion

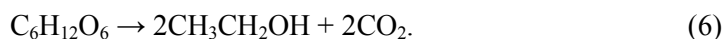
W pierwszym etapie, nazywanym hydrolizą, dochodzi do rozkładu złożonych związków materiału wyjściowego (np. węglowodanów, białek, tłuszczu) na proste związki organiczne (np. aminokwasy, cukry, kwasy tłuszczowe):



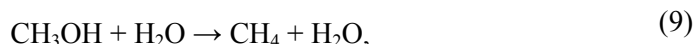
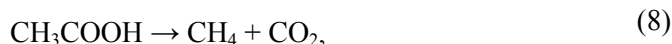
Bakterie uczestniczące w tym etapie uwalniają enzymy powodujące rozkład materiału wyjściowego na drodze reakcji biochemicznych. W następnym etapie, zwanym *kwasogenezą*, utworzone produkty pośrednie rozkładają się przy udziale bakterii kwasotwórczych na kwasy tłuszczowe (kwas octowy, propionowy i masłowy) oraz wodę.



Dodatkowo, powstają niewielkie ilości kwasu mlekowego i dwutlenku węgla:



W kolejnej fazie, zwanej octogenezą, przy udziale bakterii właściwych dla tego procesu, produkty te zamieniają się w substancje poprzedzające powstawanie biogazu – kwas octowy, wodór i dwutlenek węgla. Ponieważ zbyt wysoka zawartość wodoru szkodzi bakteriom octowym, muszą one współpracować z mikroorganizmami metanogennymi. W ostatnim etapie procesu powstawania biogazu, metanogenezie, mikroorganizmy metanogenne zużywają wodór podczas tworzenia metanu, stwarzając odpowiednie warunki do życia bakterii octowych. Około 75% metanu generowane jest z octanów lub alkoholi. Pozostała część powstaje w wyniku redukcji dwutlenku węgla wodorem.



3.2. Bakterie uczestniczące w procesie fermentacji beztlenowej

Warunkiem koniecznym do przebiegu fermentacji metanowej jest obecność następujących grup bakterii (Margel 2004, Fermentacja metanowa 2010):

- bakterie hydrolityczne,
- bakterie kwasotwórcze,
- bakterie acetogenne,
- mikroorganizmy metanogenne.

3.2.1. Bakterie hydrolityczne

Bakterie hydrolityczne uczestniczą w pierwszej fazie procesu fermentacji metanowej, podczas której, za pomocą enzymów zewnątrzkomórkowych, rozkładają spolimeryzowane, nierozpuszczalne związki organiczne wchodzące w skład substratów (np. celuloza, ligniny, białka, tłuszcze) do związków rozpuszczalnych w wodzie, takich jak kwasy tłuszczowe, alkohole i amoniak. Wśród bakterii hydrolitycznych dominują beztlenowce obligatoryjne – bezwzględne beztlenowce żyjące jedynie w warunkach pozbawionych tlenu, który jest dla nich toksyczny (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Bifidobacterium*) oraz fakultatywne beztlenowce (względne), rozwijające się zarówno w warunkach tlenowych, jak i w warunkach beztlenowych (*Streptococcus*, *Enterobacterium*). Optymalne dla tych mikroorganizmów warunki wzrostu istnieją przy pH ok. 6 oraz temperaturze ok. 30°C (Kuzdrałiński 2011). Szybkość wzrostu bakterii hydrolitycznych waha się od ok. 5 godzin przy rozkładzie węglowodorów, do ok. 72 godzin podczas rozkładu tłuszczów.

3.2.2. Bakterie kwasotwórcze

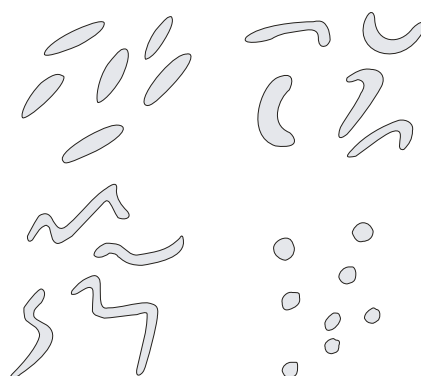
Bakterie kwasotwórcze odpowiadają za rozkład produktów hydrolizy do krótkołańcuchowych kwasów organicznych, głównie do lotnych kwasów tłuszczowych (mrówkowy, octowy, propionowy, masłowy, walerianowy, kapronowy), do alkoholi (metanol, etanol), aldehydów i produktów gazowych CO₂ i H₂. Pozostała część biodegradowana jest do octanów (Fermentacja metanowa 2010). Niektóre z bakterii kwasotwórczych są bezwzględnymi beztlenowcami (*Aerobacter*, *Alcaligenes*, *Clostridium*, *Escherichia* i in.). W przypadku bakterii kwasotwórczych optymalny odczyn pH zawiera się w przedziale od 4,5 do 6,3.

3.2.3. Bakterie acetogenne

Bakterie acetogenne (*Syntrophomonas sp.* i *Syntrophobacter sp.*) przetwarzają etanol i lotne kwasy tłuszczowe do octanów oraz CO₂ i H₂. Dzielimy je na dwie grupy: syntroficzne i homoocetanowe. Pierwsze hydrolizują, wykorzystują jako źródło węgla i energii kwasy tłuszczowe, organiczne, alkohole, aldehydy i ketony. Zahamowanie aktywności bakterii syntroficznych prowadzi do kumulacji lotnych kwasów organicznych, obniżenia odczynu pH i zahamowania wzrostu mikroorganizmów metanogennych. Wówczas uaktywniają swoją działalność bakterie homoacetogenne, które produkując octany z CO₂ i H₂, umożliwiają rozwój bakterii acetogennych, a następnie metanogennych (Fermentacja metanowa 2010). Bakterie acetogenne rozmnażają się bardzo powoli. Czas generacji bakterii *Syntrophomonas wolfei* wykorzystujących kwas masłowy wynosi około 3 dni, a bakterii *Syntrophobacter wolinii* wykorzystujących kwas propionowy aż 7 dni (Gerardi 2003).

3.2.4. Mikroorganizmy metanogenne

Mikroorganizmy metanogenne (*Archaeobacteriales*, *Methanosaeta*, *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanococcus* i in.) są bezwzględnie beztlenowcami stanowiącymi bardzo liczną grupę mikroorganizmów. Jako jedne z najstarszych bakterii należą do grupy *Archaeobacteria*. Mają zróżnicowaną morfologię i przybierają różne formy (m.in. kuliste – ziarniaki, wydłużone – pałeczki, skręcone – śrubowce) (rys. 2).



Rys. 2. Kształty mikroorganizmów metanogennych (Gerardi 2003)

Fig. 2. Common shapes of methane-forming microorganisms cells (Gerardi 2003)

Długość średnicy pojedynczej komórki bakterii waha się od 0,1 do 15 μm (Gerardi 2003). Mikroorganizmy metanogenne są w większości mikroorganizmami termofilnymi, charakteryzującymi się wysoką optymalną temperaturą wzrostu. Ich metabolizm zachodzi przy temperaturach od 0 do 70°C, jednak niektóre są w stanie funkcjonować nawet w temperaturze 90°C. Przy temperaturach powyżej 90°C mikroorganizmy metanogenne giną. Odczynem środowiska, gwarantującym optymalne warunki rozwoju bakterii, jest pH neutralne lub lekko alkaliczne (Metanogeny 2013). Czas generacji mikroorganizmów metanogennych waha się od 3 dni w temperaturze 35°C do 50 dni w temperaturze 10°C. W związku z długim okresem generacji mikroorganizmów metanowych, czas retencji, tj. czas, w którym substrat i mikroorganizmy muszą pozostawać razem w komorze fermentacyjnej, aby osiągnąć wymagany stopień degradacji materii organicznej, jest długi i wynosi przynajmniej 12 dni.

Istnieje około 50 gatunków mikroorganizmów metanogennych. Ze względu na budowę, rodzaj rozkładanych związków, rodzaj produkowanych enzymów oraz optymalną temperaturę rozwoju, w klasyfikacji mikroorganizmów metanogennych wyróżnia się trzy rzędy i cztery rodziny (Gerardi 2003), przedstawione w tabeli 3.

Tabela 3. Klasyfikacja mikroorganizmów metanogennych (Gerardi 2003)**Table 3.** Groups of Methane-forming microorganisms (Gerardi 2003)

Rząd – Order	Rodzina – Family
<i>Methanobacteriales</i>	<i>Methanobacteriaceases</i>
<i>Methanococcales</i>	<i>Methanococcaceae</i>
<i>Methanomicrobiales</i>	<i>Methanomicribiaceas</i>
	<i>Methanosarcinaceae</i>

3.3. Warunki przebiegu procesu fermentacji

Efekty fermentacji przebiegającej w bioreaktorze (ilość i jakość biogazu) zależą od rodzaju wprowadzonych do niego składników oraz od warunków przebiegu procesu. Bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na przebieg fermentacji jest odpowiednie przygotowanie wsadu. Substrat powinien być utrzymywany w fazie płynnej, poddającej się pompowaniu, a zawartość suchej frakcji wsadu w komorach fermentacji nie powinna przekraczać 12-15%. Obecność różnych bakterii w kolejnych etapach produkcji biogazu wymaga zapewnienia odpowiednich warunków w komorach fermentacyjnych oraz uwzględnienia wymagań środowiskowych poszczególnych mikroorganizmów.

3.3.1. Dostarczanie składników odżywczych

Wykorzystywane w procesie fermentacji podłoża muszą zapewniać jak największą produkcję metanu, jednak równie ważnym wymogiem stawianym substratom fermentacji jest występowanie w nich pierwiastków śladowych i składników pokarmowych, niezbędnych do wzrostu i przetrwania bakterii. Wśród pierwiastków, których obecność w substancji organicznej poddawanej procesowi fermentacji decyduje o jej przebiegu, znajdują się m.in. żelazo, nikiel, kobalt, selen, molibden i wolfram. Substancja organiczna zbudowana jest z wielocząsteczkowych składników: białek, tłuszczów i węglowodanów, które w różnym stopniu i kolejności podlegają procesowi fermentacji. Węglowodany (cukry i skrobia) ulegają najszybszej fermentacji tworząc biogaz, w którym stosunek metanu i dwutlenku węgla wynosi 1:1. Wolniej fermentuje celuloza, następnie białka, a najwolniej związki tłuszczowe. Najwyższą zawartość metanu w biogazie zapewniają białka. W skład biogazu mogą wchodzić również śladowe ilości innych gazów (np. NH_3 , H_2S) w zależności od składu substratu procesu fermentacji.

3.3.2. Stosunek C/N

O stabilnym przebiegu procesu fermentacji metanowej decyduje w dużym stopniu stosunek C/N w używanym podłożu. Jeśli zawartość węgla jest zbyt wysoka,

w stosunku do zawartości azotu, całkowita przemiana węgla nie jest możliwa, a ilość uzyskanego metanu niska. Z kolei, przy nadmiarze azotu powstaje amoniak powodujący wzrost zasadowości materiału. Nawet przy niewielkich stężeniach amoniak obniża intensywność wzrostu bakterii. Przy wartościach pH wyższych od 8.5 obserwuje się działanie toksyczne środowiska na bakterie metanogenne.

Różne źródła podają różne zakresy, w których powinna mieścić się wartość stosunku C/N, niezbędna do prawidłowego przebiegu procesu fermentacji metanowej. Abbasi i in. (2012) podaje zakres 20-30, Schattauer i Weiland (Biogaz 2005) określa zakres na 10-30, zaś Deublein i Steinhäuser (2008) na 16-25. W zależności od rodzaju i pochodzenia substratu, stosunek C/N może być różny (tabela 4). Odchody krowie, będące najbardziej preferowanym substratem w procesie fermentacji metanowej mają stosunek C/N = 24. Materiały pochodzenia roślinnego, charakteryzujące się dużą zawartością węgla, posiadają wysoką wartość stosunku C/N.

Z uwagi na niewielkie wymagania żywieniowe bakterii beztlenowych, produkcja biometanu jest możliwa już przy stosunku C/N wynoszącym 600/15 Schattauer i Weiland (Biogaz 2005).

Tabela 4. Stosunek C/N w wybranych materiałach biodegradowalnych (Deublein i Steinhäuser 2008, Assabi i in. 2012)

Table 4. C/N ratio in selected materials (Deublein and Steinhäuser 2008, Assabi *et al.* 2012)

Materiał – Material	Stosunek C/N – C/N ratio
kacze odchody – duck faeces	8
ludzkie odchody – human faeces	8
kurze odchody – chicken faeces	10
świńskie odchody – swine faeces	18
krowie odchody – cattle faeces	24
słoma ryżowa – rice straw	70
słoma pszenna – wheat straw	90
papier – paper	173

3.3.3. Tlen

Proces fermentacji metanowej powinien przebiegać w warunkach beztlenowych, jednak często niemożliwe jest całkowite wyeliminowanie obecności tlenu w fermentatorze. Rozwiązaniem problemu jest wprowadzenie do fermentatora warunkowo beztlenowych mikroorganizmów metanogennych, które mogą przeżyć zarówno w warunkach beztlenowych, jak i w warunkach niskiej zawartości tlenu. Bakterie te zużywają tlen, uniemożliwiając zniszczenie bakterii, które mogą żyć tylko w warunkach beztlenowych.

3.3.4. Czas retencji

Czas retencji jest czasem, w którym substrat i mikroorganizmy muszą pozostać razem w komorze fermentacyjnej, aby osiągnąć wymagany stopień degradacji materii organicznej. Czas retencji powinien być dostosowany do rodzaju wsadu i musi uwzględniać fakt, że substancje organiczne ulegają rozkładowi w różnym tempie. Czas retencji jest również uzależniony od temperatury, w jakiej przebiega proces fermentacji. W niższej temperaturze rozkład substancji organicznych przebiega wolniej (fermentacja mezofilowa), zaś w wyższej temperaturze (fermentacja termofilowa) substancje organiczne rozkładają się szybciej i czas retencji jest krótszy. Hydrauliczny czas retencji dla gnojowicy trwa ok. 20 dni, natomiast dla roślin energetycznych może trwać nawet kilka miesięcy.

Długość czasu retencji determinuje efektywność procesu produkcji biogazu. Im krótszy jest czas retencji, wymagany do osiągnięcia odpowiedniego stopnia degradacji materii organicznej, tym większa jest efektywność fermentatora.

3.3.5. Rozcieńczenie materiału organicznego

W zależności od stanu materiału organicznego wykorzystywanego do produkcji biogazu, czasami konieczne staje się jego rozcieńczenie wodą. Jeśli jednak rozcieńczenie materiału jest zbyt duże, stała frakcja może osiadać na dnie fermentatora, powodując nieprawidłowy przebieg procesu degradacji biomasy. Konsekwencjami zbyt małego rozcieńczenia substratu jest problem z jego mieszaniem oraz utrudnienie przepływu gazu do górnych obszarów fermentatora.

3.3.6. Inhibitory procesu fermentacji

Przyczyną opóźnień w przebiegu procesu fermentacji mogą być inhibitory. Są to substancje, które już w niewielkich ilościach działają toksycznie na bakterie i zakłócają proces rozkładu. Przykładowo przy nadmiarze azotu może dojść do powstania amoniaku (NH_3), który już w niewielkich ilościach hamuje wzrost bakterii i może doprowadzić nawet do zniszczenia całej ich populacji. Stężenie amoniaku jest istotnym wskaźnikiem poprawności przebiegu procesu fermentacji. Innym inhibitorem jest siarkowodór, który obniża intensywność przebiegu procesu fermentacji, dodatkowo powoduje korozję bloków ciepłno-energetycznych oraz kotłów gazowych.

3.3.7. Mieszanie

Mieszanie wsadu w komorach fermentatora zapewnia utrzymanie jednorodności jego konsystencji oraz stabilności procesu fermentacji. Umożliwia również

utrzymanie jednakowej ciepłoty substratu i łatwiejsze odgazowanie oraz przeciwdziałanie tworzeniu się kożucha. Dodatkowo gwarantuje dostęp bakterii do cząstek substancji organicznej, zapobiega rozwarstwianiu się biomasy i spadkowi aktywności bakterii, zapewnia jednorodne rozproszczenie dopływającej biomasy w fermentującej masie, a w konsekwencji przyspiesza proces fermentacji. Jednorodnie wymieszana w całej objętości komory biomasę charakteryzuje brak martwych pól, do których nie docierają niezbędne do rozwoju bakterii substancje organiczne. Ograniczenie kontaktu między wsadem a bakteriami, spowodowane niedostatecznym lub nieprawidłowym mieszaniem, prowadzi do obniżenia intensywności procesu rozkładu. Z kolei, zbyt intensywne mieszanie powoduje naruszenie skupisk bakterii i w ekstremalnych sytuacjach prowadzi do całkowitego zatrzymania procesu biologicznego.

3.3.8. Parametry procesu fermentacji metanowej

Poszczególne etapy procesu fermentacji metanowej muszą przebiegać w odpowiedniej temperaturze. Każdy rodzaj bakterii biorących udział w procesach przemiany materii ma odmienne wymagania temperaturowe. Jeżeli zakresy temperatur w komorach fermentatora zostaną przekroczone, praca mikroorganizmów może ulec zakłóceniu lub zahamowaniu. Uszkodzenie bakterii, będące wynikiem nieprawidłowej temperatury w fermentatorze, może mieć nieodwracalne skutki dla procesu produkcji biogazu.

Ze względu na wymagania temperaturowe, bakterie uczestniczące w procesie rozkładu biomasy możemy podzielić na trzy grupy: bakterie psychrofilowe, mezofilowe i termofilowe. Optymalna temperatura wzrostu i rozwoju bakterii psychrofilowych wynosi około 25°C. W tak niskiej temperaturze nie ma konieczności podgrzewania podłoża fermentatora, jednak intensywność rozkładu i efektywność produkcji gazu jest znacznie obniżona. Większość bakterii wykorzystywanych w procesie fermentacji metanowej posiada optymalną temperaturę wzrostu w mezofilnym zakresie temperatur, między 32 a 42°C. Instalacje pracujące w zakresie mezofilowym są najbardziej rozpowszechnione, ponieważ przy tym zakresie temperatur osiąga się dobrą stabilność procesu, a uzysk gazu jest relatywnie wysoki.

Trzecią grupę bakterii uczestniczących w procesie fermentacji metanowej stanowią bakterie termofilne. Optymalna temperatura ich działania wynosi od 50 do 57°C. Wysoka temperatura procesu umożliwia wysoki uzysk gazu, jednak jako najbardziej energochłonna wymaga dostarczenia do fermentatora dodatkowej energii z zewnątrz. Proces fermentacji w tym zakresie temperatur charakteryzuje się większą czułością na zakłócenia i nieregularność w doprowadzaniu podłoża oraz w sposobie pracy komory fermentacyjnej. Ponieważ energia cieplna powstająca

w wyniku rozkładu biomasy jest niewystarczająca do uzyskania wymaganej temperatury otoczenia w procesie fermentacji mezofilowej i termofilowej, fermentator musi być zaizolowany i ogrzewany z zewnątrz.

Bakterie uczestniczące w poszczególnych etapach procesu produkcji biogazu mają różne wymagania również co do odczynu środowiska. Optymalny odczyn pH bakterii hydrolizujących i kwasotwórczych wynosi od 4,5 do 6,3. Przy wyższym odczynie pH ich aktywność znacznie maleje. W przypadku bakterii produkujących kwas octowy i metan, odczyn pH musi posiadać wartość między 6,8 a 7,5. Jeśli proces fermentacji odbywa się tylko w jednym fermentatorze, odczyn pH musi być ustalony w zakresie optymalnym dla drugiej grupy bakterii. Zarówno dla procesu jedno-, jak i dwuetapowego odczyn pH ustawia się przeważnie automatycznie poprzez obecność zasadowych lub kwaśnych produktów przemiany materii, powstających podczas rozkładu beztlenowego. Spadek wartości pH prowadzi do zakwaszenia środowiska oraz zahamowania aktywności bakterii. Przy zbyt dużym zakwaszeniu procesu dostarczanie substratu musi być wstrzymane, aby bakterie mogły dokonać rozkładu występujących kwasów.

Optymalny przebieg fermentacji metanowej wymaga: stężeń lotnych kwasów organicznych $50\text{--}500\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ CH_3COOH , potencjału oksydoredukcyjnego $520\text{--}530\text{ mV}$ i alkaliczności $2000\text{--}3000\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ CaCO_3 .

4. HISTORIA BIOGAZU

Pierwsze wzmianki dotyczące zastosowania biogazu do podgrzewania wody pochodzą z Asyrii i Persji (X i XVI wiek p.n.e.) (Bond i Templeton 2011). W wieku XIII Marco Polo wykorzystał system zakrytych zbiorników ścieków do produkcji biogazu. Tę samą technikę zastosowano 200 lat później w starożytnych Chinach, gdzie biogaz produkowany był ze ścieków zbieranych w szczelnych zbiornikach fermentacyjnych.

Jan Baptista van Helmont po raz pierwszy w XVII wieku zauważył, że rozkładająca się materia organiczna stanowi źródło palnego gazu. W 1776 Alessandro Volta odkrył bezpośredni związek między ilością poddanej rozkładowi materii organicznej i ilością wyprodukowanego z niej gazu. W 1808 sir Humphry Davy odkrył obecność metanu w gazach wydzielanych przez odchody zwierząt gospodarskich (Ben i in. 2013).

Ustalenie miejsca budowy pierwszych beztlenowych fermentatorów jest niemożliwe, jednak pierwsze doniesienia mówią o fermentatorach beztlenowych zbudowanych w Otago w Nowej Zelandii około 1840 roku oraz w koloni trędowatych w Bombaju w 1897 r. Gaz z odchodów ludzkich stosowano w Bombaju do oświetlania domów. Praktyczna i komercyjna wartość metanu dostrzeżona

została także w Anglii, gdzie w roku 1980 gaz z instalacji oczyszczania ścieków wykorzystywano do oświetlania latarni ulicznych (Cheremisinoff i in. 1980).

Guorui Luo zainicjował komercyjne wykorzystanie biogazu w prowincji Guangdong w Chinach w 1921 r., budując zbiornik o objętości 8 m³ na odpady z gospodarstwa domowego (Bond i Templeton 2011). W Polsce pierwsza instalacja biogazowa do celów energetycznych powstała w oczyszczalni ścieków w Poznaniu w roku 1928 (Fermentacja metanowa 2010).

W latach trzydziestych XX wieku w Bombaju rozpoczęto produkcję metanu z odchodów zwierząt gospodarskich. We wczesnych latach sześćdziesiątych technikę otrzymywania metanu z odchodów zwierzęcych rozwinęli indiańscy wieśniacy, stwarzając podstawę dla programu indiańskiego rządu zakładającego zaopatrzenie wieśniaków w paliwo wykorzystywane do gotowania. Program ten stał się inspiracją do produkcji energii z biogazu na farmach w Wielkiej Brytanii w latach osiemdziesiątych XX wieku.

Przed rokiem 1920 procesy fermentacji prowadzono głównie w stawach beztlenowych. Wzrost poziomu wiedzy na temat procesu fermentacji i płynących z niego korzyści sprawił, że z czasem więcej uwagi zaczęto poświęcać rozwiązaniom technicznym instalacji. Zaowocowało to zastosowaniem zamkniętych zbiorników, ogrzewaniem i mieszaniem materiału organicznego w celu zoptymalizowania przebiegu fermentacji (Duszek i in. 2009).

Pierwsza instalacja do produkcji biogazu ze stałych odpadów rolniczych zbudowana została w Algierii w 1938 r. W konsekwencji kryzysu energetycznego, w latach siedemdziesiątych XX wieku, nastąpił znaczny wzrost zainteresowania fermentacją metanową, prowadzący do dalszego rozwoju technologii wykorzystania biogazu. Budowę zagrodowych fermentatorów podjęto w Stanach Zjednoczonych, Europie i Azji Południowo-Wschodniej (Duszek i in. 2009).

Rozwój technologii fermentacji stałych odpadów organicznych w celu ograniczenia ilości składowanych odpadów w Europie rozpoczął się około 40 lat temu. W latach siedemdziesiątych instytucje naukowe podejmowały badania laboratoryjne fermentacji różnych odpadów, w celu ustalenia optymalnych parametrów technologicznych i technicznych realizacji procesu. W latach osiemdziesiątych realizowano działania w skali pilotażowej, mające na celu budowę i eksploatację instalacji oraz badania nad optymalizacją przyjętych rozwiązań technicznych. Ich efekty dały początek, rozpoczętej w latach dziewięćdziesiątych i trwającej do dziś, fazie komercjalizacji technologii produkcji biogazu rolniczego.

5. RODZAJE SUBSTRATÓW DO PRODUKCJI BIOGAZU I ICH WYDAJNOŚĆ

W zależności od pochodzenia, substraty wykorzystywane jako wsad w produkcji biogazu podzielić można na materiały o pochodzeniu rolniczym i przemysłowym. Podstawowymi grupami substratów są:

- nawozy naturalne (np. gnojowica, pomiot kurzy itp.),
- rośliny i ich kiszonki,
- produkty uboczne przemysłu przetwórstwa rolno-spożywczego.

Wsad biogazowni może stanowić mieszankę kilku substratów o różnym pochodzeniu i właściwościach. Proces rozkładu (fermentacji) co najmniej dwóch składników pochodzących z różnych źródeł nazywa się kofermentacją. Wykorzystanie różnych substratów poprawia parametry procesu produkcji biogazu oraz zmniejsza prawdopodobieństwo zaistnienia problemu z dostawą surowca dla biogazowni. Nowoczesne biogazownie korzystają z technologii uzysku biogazu w trybie monofermentacji (fermentacji opartej na jednym substracie). Substraty produkcji biogazu powinny być dobrane tak, by zapewniać maksymalny uzysk biogazu, stabilność procesu fermentacji oraz dawać jak najlepsze możliwości wykorzystania odpadów pofermentacyjnych.

Odpowiedni dobór substratów oraz zwiększenie optymalizacji procesu fermentacji metanowej poprzez poddanie substratów wstępnej obróbce w procesach hydrolizy technicznej, enzymatycznej, poprzez zakiszenie, zastosowanie enzymów i wyspecjalizowanych szczepów grzybów i pleśni lub suplementację makro- i mikroelementami, pozwala na zwiększenie wydajności procesu produkcji biogazu (Biega 2012).

5.1. Substraty pochodzenia rolniczego

Wśród produktów pochodzenia rolniczego, stanowiących doskonały materiał do produkcji biometanu, wymienia się surowce zwierzęce i roślinne. W pierwszej grupie znajdują się płynne lub stałe odchody zwierzęce oraz odpady poubojowe, zaś drugą stanowią ściłki traw i odpady ogrodnicze, uprawy energetyczne oraz pozostałości odpadów spożywczych.

Największymi producentami odchodów jest bydło i trzoda chlewna, mogące produkować dziennie odpowiednio 17 kg oraz około 9 kg odchodów na sztukę (Bartkowiak 2010). Dzienna produkcja gnojowicy bydłowej wynosi około 55, zaś świńskiej około 16 kg·szt.⁻¹. Ilość odchodów produkowanych przez zwierzęta gospodarskie w Polsce szacowana jest na 15-20 milionów m³ rocznie (Gawlik 2007). Średnią produkcję odchodów wydalanych przez wybrane zwierzęta hodowlane przedstawia tabela 5 (Bartkowiak 2010).

Tabela 5. Średnia dzienna produkcja odchodów wydalanych przez zwierzęta hodowlane (Bartkowiak 2007)
Table 5. Daily manure production for livestock (Bartkowiak 2007)

Gatunek zwierząt – Animal species	Średnia dzienna produkcja – Mean daily production (kg·szt. ⁻¹)	
	obornik – manure	gnojowica – slurry
Bydło – Cattle:		
krowa dojna – dairy cow	25-35	40-50
cielęta – calves	5-14	2-20
Trzoda chlewna – Swine:		
knur – boar	8	15
locha – sow	9,5	18
warchlak – piglet (30 kg)	2,3	5
tucznik – fattener (90 kg)	5,2	10
Drób – Poultry:		
kury – chicken	obornik – manure 0,15-0,16	
indyki – turkeys	0,26	
gęsi – geese	0,39	
kaczki – ducks	0,34	

Głównym substratem w biogazowniach rolniczych jest gnojowica, stanowiąca mieszaninę wody oraz kału i moczu zwierząt gospodarskich. Jej skład oraz stężenia zawartych w niej substancji zależą od gatunku zwierząt, sposobu ich karmienia i ilości zużytej wody. Gnojowica wpływa korzystnie na stabilizację procesu fermentacji oraz umożliwia rozwadnianie innych substratów, doprowadzając je do stanu pompowalności. Zastosowanie gnojowicy pozwala na uzyskanie odpowiedniej suchej masy w komorach oraz przeprowadzenie procesu fermentacji mokrej. Choć gnojowica nie ma znacznych wartości energetycznych (uzysk energii elektrycznej z 1 tony około 70 kWh), jej stosowanie w biogazowniach jest powszechne (Biogaz 2005). W niektórych warunkach obecność gnojowicy w substracie procesu fermentacji metanowej jest nawet niezbędna, z uwagi na wyżej wymienione właściwości.

Ciesząc się coraz większym zainteresowaniem grupą substratów stanowią odpady z przetwórstwa mięsnego i rzeźni. Wzmoczone zainteresowanie odpadami poubojowymi ma podłoże ekonomiczne, gdyż obowiązek utylizacji opadów, nałożony na zakłady produkcyjne i rzeźnie, daje możliwość bezpłatnego ich nabywania, z korzyścią zarówno dla dostawców, jak i nabywców. Odpady poubojowe charakteryzują się także wysokim uzyskiem energetycznym (do 500 kWh energii elektrycznej z 1 tony), co znacznie podnosi ich wartość. Zastosowanie w produkcji biogazu odpadów przetwórstwa mięsnego i rzeźni nakłada jednak na właścicieli biogazowi obowiązek procesu higienizacji oraz instalacji specjalnych urządzeń macerujących, co generuje dodatkowe koszty.

Substraty pochodzenia roślinnego stanowi liczna grupa roślin energetycznych, takich jak: trawa, koniczyna, buraki, kukurydza, bób, żyto, cebula, groch, gorczyca, kalarepa, owies, jęczmień, rzepak i inne. Rośliny te mogą być stosowane pod postacią całych roślin, owoców lub bulw, nasion, lub po przetworzeniu w formie kiszonek.

Gatunkiem roślin najczęściej wykorzystywanym do produkcji biogazu jest kukurydza charakteryzująca się dużą produktywnością biogazu i mniejszymi kosztami pozyskania, w porównaniu do innych roślin, oraz brakiem konieczności zmiany dotychczas stosowanej techniki uprawy i zbioru. Kukurydzę cechują także niewielkie wymagania dotyczące magazynowania materiału. Dzięki wysokiej zawartości suchej masy (średnio 28%) i suchej masie organicznej (średnio 90%) kiszonka kukurydzy cechuje się wysokim uzyskiem biogazu (Biogaz 2005).

Innymi przykładami substratów pochodzenia roślinnego są kiszonki traw oraz kiszonki z całych roślin zbożowych. Pierwsze podobne są w zbiorze i przechowywaniu do kukurydzy. Na obszarach o przeważającym pokryciu terenów rolnych łąkami powszechne jest zakiszanie traw wraz z kukurydzą. Uzyski energetyczne są podobne jak w przypadku kukurydzy, jednak znacznie niższe są uzyski tego substratu z hektara. Do produkcji kiszonek z całych roślin zbożowych wykorzystuje się m.in. żyto. Dzięki niskim wymaganiom glebowym może być ono uprawiane na słabszych klasach gruntów, jednak jego wydajność z hektara jest niższa niż kukurydzy. Niesie to konieczność uprawy znacznie większych arealów w celu osiągnięcia takiej samej ilości energii.

W produkcji biogazu stosuje się obecnie celowe uprawy roślin energetycznych na biomasę. Przewiduje się, że w przyszłości celowe uprawy roślin energetycznych będą stanowić główne źródło biomasy przeznaczonej do wytwarzania biopaliw stałych w formie zrębki, peletów czy brykietów. Taki system pozyskania biomasy zagwarantuje możliwość uzyskania określonej ilości biomasy o powtarzalnych parametrach jakościowych, istotnych w kolejnych procesach przetwarzania (Adamiec i Broda 2013). Prowadzenie upraw celowych na potrzeby instalacji biogazowej o mocy kilkuset kW jest możliwe na terenach dużych gospodarstw rolnych, o areale powyżej 100 ha, lub przez grupy producenckie.

Podstawowym kryterium przy wyborze roślin w celowych uprawach na cele energetyczne jest wydajność suchej masy z jednostki powierzchni, zawartość łatwo fermentujących składników oraz łatwość magazynowania roślin po zbiorze.

Substancje organiczne wchodzące w skład substratów wykorzystywanych w produkcji biogazu mają odmienne tempo rozkładu i potencjał produktywności. Porównanie produktywności biogazu z odchodów pochodzenia zwierzęcego i roślinnego wskazuje na mniejszą wydajność tych drugich.

Charakterystykę substratów pochodzenia rolniczego najczęściej wykorzystywanych do produkcji biogazu, obejmującą parametry surowców oraz ich produktywność, prezentuje tabela 6.

Tabela 6. Produkcja metanu z wybranych substratów pochodzenia rolniczego (Broszura Biogaz rolniczy, Ginalski 2012, Głodek 2010)

Table 6. Production of methane from selected substrates of agricultural origin (Broszura Biogaz rolniczy, Ginalski 2012, Głodek 2010)

Nazwa substratu Substrate		Zawartość suchej masy w 1 t substratu (% wsadu) Percentage dry matter content in 1 t of substrate	Zawartość suchej masy organicznej w zawartości suchej masy (% s.m.o.) Percentage organic dry matter content in dry matter	Produkcja metanu z 1 t ($\text{m}^3 \text{t}^{-1} \text{s.m.o.}$) Methane production from 1 t ($\text{m}^3 \text{t}^{-1} \text{d.m.o.}$)
Odpady z hodowli zwierzęcej Wastes from animal production	gnojowica bydlęca cattle slurry	8-11	77,4	200-500
	gnojowica świńska swine slurry	ok. 7	76,1	300-700
	obornik bydła cattle manure	ok. 25	68-76	210-300
	obornik świń swine manure	20-25	75-80	270-450
	obornik kurzy chicken manure	ok. 32	63-80	250-450
Odpady poubojowe Slaughter wastes	osady po flotacji z rzeźni flotation sediments from slaughterhouse	5-24	80-95	900-1200
	zawartość żołądków (bydło) gastric contents (cattle)	11-19	80-90	200-400
	trawa – kiszonka grass – silage	25-50	70-95	550-620
Rośliny Plants	żyto – ryż rye – rice	30-35	92-98	550-680
	kukurydza – kiszonka maize – silage	20-35	85-95	450-700
	burak pastewny fodder beet	12	75-85	620-850
	buraki cukrowe sugar beet	23	90-95	170-180
	nać buraka beet haulm	16	75-80	550-600

5.2. Substraty pochodzenia przemysłowego

Substratami przemysłowymi wykorzystywanymi do produkcji biogazu są m.in. odpady z przemysłu przetwórczego (Oniszk-Popławska i in. 2003):

- spożywczego,
- farmaceutycznego,

- kosmetycznego,
- biochemicznego,
- papierniczego.

Produktami ubocznymi i odpadami z przemysłu rolno-spożywczego, stanowiącymi cenne substraty procesu fermentacji biometanu, są m.in. wysłodki buraczane, pulpa ziemniaczana, wycierki z owoców (powstające przy produkcji soków), pestki z jabłek, melasa buraczana, otręby i odpady z czyszczenia ziarna, odpady z młyna, śruty poekstrakcyjne, makuchy, maślanka, serwatka, gliceryna powstająca przy produkcji estrów metylowych (biodiesla) z olejów roślinnych, tłuszcze posmażalnice, obierki ziemniaczane i odpady ziemniaków, pozostałości z zakładów zbiorowego żywienia (stołówek), odpady owoców, warzyw, kawy, herbaty, tytoniu i inne.

Produktami odpadowymi z gorzelni i browarów są wywar pogorzelniany i młóto (wysłodziny) browarnicze, wykorzystywane jako substraty do produkcji biogazu. Wyprodukowanie 1 litra alkoholu wiąże się z powstaniem około 12 litrów wywaru pogorzelnianego. Pod względem parametrów i sposobu przechowywania i podawania wywar podobny jest do gnojowicy. Jego wykorzystanie możliwe jest jedynie w przypadku położenia jego źródła w niewielkiej odległości od biogazowni. W zależności od pochodzenia, uzysk biogazu z wywarów pogorzelnianych jest zróżnicowany. Produkcja biogazu z wywaru zbożowego mieści się w granicach od 430 do 700 m³ z jednej tony suchej masy organicznej (Biogaz 2005). Uzysk biogazu z wywaru ziemniaczanego i owocowego szacowany jest na 400-700 oraz 300-650 m³·t⁻¹ s.m.o. Wysłodziny browarnicze stanowią 75% produktów ubocznych powstających podczas produkcji piwa (Biogaz 2005), jednak ich stosownie może być ograniczone. Jedno z ograniczeń wynika z możliwości stosowania młóta browarniczego jako paszy dla zwierząt, co, w przypadku istnienia w okolicy znacznej liczby hodowli, podnosi koszt ich zakupu. Wysłodziny są substratem sezonowym, co niesie konieczność jego magazynowania. Uzysk biogazu z młóta wynosi od 400 do 700 m³·t⁻¹ s.m.o.

Ubocznym produktem przemysłu mleczarskiego, powstającym podczas wytwarzania serów twardych i twarogów, jest serwatka. Stanowi ona największy, pod względem ilościowym, odpad powstający w mleczarstwie. Na jeden kilogram wyprodukowanego sera przypada dziesięć kilogramów serwatki. Jest ona mieszaniną węglowodanów (zwłaszcza laktozy), białek, tłuszczu, kwasów organicznych, witamin i soli mineralnych, zawierającą około 94% wody. Duża zawartość wody w substracie niesie konieczność lokalizacji biogazowni w pobliżu źródła substratu. Przechowuje się ją w szczelnych zbiornikach z zapasem kilkudniowym. Uzysk biogazu z serwatki wynosi około 380 m³·t⁻¹ s.m.o.

Podczas produkcji skrobi ziemniaczanej powstaje wycierka ziemniaczana, składająca się z łupin, błon komórkowych i niezamkniętych komórek skrobi.

Przetworzenie jednej tony ziemniaków dostarcza około 240 kg wycierki oraz 760 kg soku i od 400 do 600 litrów wody procesowej (Biogaz 2005). Jedną z możliwości wykorzystania wycierki, oprócz przeznaczenia jej na paszę, jest zastosowanie jej jako substratu w produkcji biogazu. Produkcja biogazu ze świeżej wycierki wynosi od 650 do 750, zaś uzysk biogazu z soku i wody procesowej wynosi od 1500 do 2000 oraz od 650 do 750 $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ s.m.o.

Produktami ubocznymi powstającymi podczas produkcji cukru krystalicznego z buraków cukrowych są wysłodki i melasa. Są one wykorzystywane głównie jako pasza dla bydła. Melasa znajduje zastosowanie także jako surowiec w fabrykach drożdży lub w browarach, co istotnie ogranicza jego dostępność. Z uwagi na zawartość cukru, wysłodki buraczane i melasa stanowią dobry kosubstrat do produkcji biogazu. Jego uzysk z 1 tony suchej masy organicznej wysłodków i melasy wynosi od 250 do 350 oraz od 360 do 490 m^3 . Wysoka zawartość suchej masy w wysłodkach i melasie uniemożliwia ich stosowanie w procesie fermentacji jednoskładnikowej, dlatego są one wykorzystywane jako kosubstraty np. z gnojowicą.

Odpady przetwórstwa owocowo-spożywczego (tzw. wytłoki) powstają podczas przetwarzania owoców przy produkcji wina i soku owocowego. Stanowią one surowiec do produkcji alkoholu i pektyny oraz znajdują zastosowanie jako pasza dla bydła. Produkcja 1 hektolitra wina dostarcza około 25 kg wytłoków, zaś na jeden hektolitr nektaru owocowego przypada 10 kg wytłoków. W zależności od wykorzystanych do produkcji biogazu owoców, jego uzysk waha się od 660 do 680 dla wytłoków jabłkowych, od 590 do 660 dla wytłoków owocowych oraz od 640 do 690 $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ s.m.o. dla wytłoków winorośli. Odpady przetwórstwa owocowo-spożywczego stanowią substrat sezonowy, co wiąże się z koniecznością ich magazynowania.

W Polsce, w sektorze rolno-spożywczym z przetwórstwa mięsa, otrzymuje się rocznie ok. 590 tys. ton odpadów, natomiast z przetwórstwa owoców i warzyw ponad 377 tys. ton odpadów (Kuczyńska i in. 2011). Na ich bazie rocznie można by uzyskać ok. 60 mln m^3 biogazu. Badania Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego (ITP) wykazały, że realny potencjał surowcowy produkcji biogazu z produktów ubocznych produkcji rolnej wynosi około 1540 mln m^3 oraz z produktów ubocznych przetwórstwa rolno-spożywczego około 100 mln m^3 (Kuczyńska i in. 2011). Według ITP, surowce uboczne i pozostałości roślinne przemysłu rolno-spożywczego dostarczyć mogą łącznie ok. 1700 mln m^3 biogazu rocznie, co stanowi około 10% zapotrzebowania kraju na biogaz. W Polsce zużywa się rocznie ok. 14 000 mln m^3 gazu ziemnego, z czego około 500 mln m^3 gazu wykorzystywanych jest przez odbiorców indywidualnych z terenów wiejskich. Szacowana ilość biogazu, uzyskana z surowców ubocznych i pozostałości roślinnych przemysłu rolno-spożywczego, mogłaby zatem w całości zaspokoić potrzeby odbior-

ców z terenów wiejskich oraz dostarczyć dodatkowo 125 tys. MWhe (energii elektrycznej) i 200 tys. MWhe (energii cieplnej).

Charakterystyka substratów pochodzenia przemysłowego wykorzystywanych do produkcji biogazu, obejmująca parametry surowców oraz ich produktywność, przedstawiona jest w tabeli 7.

Tabela 7. Produkcja metanu z wybranych produktów pochodzenia przemysłowego (Broshura Biogaz rolniczy, Ginalski 2012, Głodek 2010)

Table 7. Production of methane from selected industrial substrates (Broshura Biogaz rolniczy, Ginalski 2012, Głodek 2010)

Nazwa substratu Substrate	Zawartość suchej masy w 1 t substratu (% wsadu) Percentage dry matter content in 1 t of substrate	Zawartość suchej masy organicznej w zawartości suchej masy (% s.m.o.) Percentage organic dry matter content in dry matter	Produkcja metanu z 1 t (m ³ ·t ⁻¹ s.m.o.) Methane production from 1 t (m ³ t ⁻¹ d.m.o.)
odpady i resztki owoców fruit wastes and residues	25-45	90-95	590-660
melasa – molasses	80-90	85-90	360-490
wysłodziny browarnicze brewer's draff	20-25	70-80	580-750
wywar pogorzelniany ziemniaczany potato stillage	6-7	83-88	430-700
wywar pogorzelniany owocowy fruit stillage	2-3	95	300-650
świeża pulpa owocowa lub warzywna fresh fruit or vegetable pulp	13	90	650-750
odcieki z przeróbki owoców i warzyw run-off syrup from fruit and vegetable processing	3,7	70-75	1500-2000
woda procesowa – process water	1,6	65-90	3000-4500
wytłoki z jabłek – apple pomace	25-45	85-95	660-680
serwatka – whey	4-6	85-90	420-600

5.3. Substraty komunalne

Wśród odpadów komunalnych stanowiących substraty procesu fermentacji metanowej znajdują się:

- frakcja organiczna odpadów komunalnych,
- odpady kuchenne i przeterminowane artykuły żywnościowe,

- ścinki roślin i traw pochodzące z pielęgnacji terenów zielonych,
- odpady z placów i targowisk,
- odpady wytwarzane w gospodarce komunalnej (osad ściekowe).

Resztki żywności i odpady zielone stanowią doskonały substrat w produkcji biogazu, zaś pozostałe odpady organiczne mogą być wykorzystane do kompostowania i użyźniania gleb. W procesie kompostowania całość odpadów po biodegradacji jest wykorzystywana do upraw, jednak, z punktu widzenia gospodarki odpadami, produkcja biogazu jest bardziej korzystna. Zastosowanie odpadów organicznych jako substratu fermentacji metanowej umożliwia produkcję biogazu, a powstałe w jej wyniku odpady pofermentacyjne znajdują zastosowanie do użyźniania gleb.

Innym źródłem pozyskania biogazu są osady ściekowe, będące produktem oczyszczania ścieków komunalnych. Osady ściekowe charakteryzują się dużą zmiennością składu chemicznego, zależną od właściwości ścieków, technologii oczyszczania i przeróbki osadów. Skład osadów determinowany jest także strukturą społeczną ludności oraz charakterem geograficznym miejscowości, z której pochodzą ścieki (Kołodziejak 2012).

Możliwości energetycznego wykorzystania biogazu z oczyszczalni ścieków są ogromne. W Polsce istnieje 1700 oczyszczalni przemysłowych i około 1500 oczyszczalni komunalnych. Przyjmuje się, że z 1 m³ osadu o zawartości 5% suchej masy uzyskuje się od 10-20 m³ biogazu. Najbardziej efektywne pod względem produkcji biogazu są oczyszczalnie biologiczne.

Wykorzystanie do produkcji biogazu surowców organicznych z obiektów komunalnych wiąże się z koniecznością zadbania o szczególne warunki higieniczne, uniemożliwiające rozprzestrzenianie się chorób lub zaraz. Zostały one ustalone m.in. rozporządzeniem WE nr 1774/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 3 października 2002 roku (Rozporządzenie 2002), ustanawiającym przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi.

Odpady komunalne są powszechnie wykorzystywane do produkcji biogazu w Belgii, Holandii i Francji. Doświadczenia tych krajów wskazują, że zastosowanie substratów komunalnych w biogazowniach jest dobrym rozwiązaniem, szczególnie dla gmin o charakterze miejskim.

Przedstawiona w niniejszym rozdziale charakterystyka wybranych substratów nadających się do produkcji biogazu wskazuje na dużą ich różnorodność oraz realną szansę wykorzystania ich do produkcji biogazu.

Charakterystykę odpadów komunalnych wykorzystywanych do produkcji biogazu, obejmującą parametry surowców oraz ich produktywność, prezentuje tabela 8 (Brozura Biogaz rolniczy, Ginalski 2012, Głodek 2010).

Tabela 8. Produkcja metanu z wybranych odpadów komunalnych (Broszura Biogaz rolniczy, Ginalski 2012, Głodek 2010)

Table 8. Production of biomethane from selected municipal wastes (Broszura Biogaz rolniczy, Ginalski 2012, Głodek 2010)

Nazwa substratu Substrate	Zawartość suchej masy w 1 t substratu (% wsadu) Percentage dry matter content in 1 t of substrate	Zawartość suchej masy organicz- nej w zawarto- ści suchej masy (% s.m.o.) Percentage organic dry matter content in dry matter	Produkcja metanu z 1 t ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ s.m.o.) Methane pro- duction from 1 t ($\text{m}^3 \text{ t}^{-1}$ d.m.o.)
odpady sklepowe – shop discards	5-20	80-90	400-600
odpady kuchenne i przeterminowane artykuły żywnościowe kitchen wastes and food products out of use-by date	9-37	80-98	200-500
ścinki roślin i traw (zieleń miejska) plant and grass cuttings (municipal greenery)	12	83-92	550-680
treść żołądkowa (świnie) gastric contents (swine)	12-15	75-86	250-450
osad ściekowy sewage sludge	5-24	80-95	900-1200

6. METODY SZACOWANIA WYDAJNOŚCI INSTALACJI BIOGAZOWYCH NA PODSTAWIE WYDAJNOŚCI SUBSTRATÓW

Wydajność instalacji biogazowych, determinowaną wydajnością wykorzystanych do procesu fermentacji substratów, projektować można na kilka sposobów (Myczko i in. 2011). Sposobem projektowania wydajności instalacji jest projektowanie wydajności procesu, polegające na dostosowywaniu ilości i parametrów technologicznych substratów tak, aby zapewnić stały uzysk biogazu i metanu na poziomie wymaganym do ciągłej pracy agregatów o mocy zainstalowanej w obsługiwanej instalacji biogazowej. Projektowania wydajności instalacji biogazowych można dokonać także poprzez projektowanie procesu fermentacji pod kątem doboru substratów dopełniających mieszaninę fermentacyjną tak, by zapewnić poprawny rozkład obecnego we wsadzie substratu trudnego lub niebezpiecznego. Najbardziej powszechnym sposobem jest oszacowanie mocy instalacji na podstawie oceny dostępnych substratów pod kątem ich wydajności. Ocenę mocy

instalacji umożliwia kalkulacja parametrów technologicznych fermentacji, dostarczająca wiedzę na temat średniej i maksymalnej ilości energii elektrycznej i cieplnej, wyprodukowanych z dostępnych substratów.

6.1. Metody oceny wydajności substratów

Wyróżnia się dwa sposoby oceny wydajności biogazowej substratów i mieszanin fermentacyjnych (Myczko i in. 2011):

- kalkulacyjno-tabelaryczny,
- analityczno-doświadczalny.

6.1.1. Metoda kalkulacyjno-tabelaryczna

Metoda kalkulacyjna-tabelaryczna jest metodą rachunkową wykorzystującą parametry technologiczne poszczególnych substratów. Są to często dane analityczne uzyskiwane doświadczalnie. Metoda szacuje teoretyczny uzysk biogazu na podstawie zawartości głównych składników pokarmowych i stuprocentowego rozkładu substancji organicznych. Metoda kalkulacyjno-tabelaryczna umożliwia szybkie i wystarczająco dokładne wykonanie studium wykonalności inwestycji.

6.1.2. Metoda analityczno-doświadczalna

Drugi sposób oceny wydajności biogazowej substratów, metoda analityczna – doświadczalna, wykorzystuje metodę laboratoryjną oceny uzysku biogazu w czasie trwania standardowej próby fermentacji metanowej. Laboratoryjna metoda oceny wydajności biogazu i metanu z próbki substratu umożliwia określenie objętości uzyskanego z niej biogazu na podstawie zawartości suchej masy i suchej masy organicznej w próbce, ilości próbki w mieszaninie fermentacyjnej oraz uzyskanej objętości gazu netto z próbki (Myczko i in. 2011). Zaletą metody jest dostarczenie wyniku uzyskanego dla rzeczywistego materiału, który chcemy wykorzystać jako substrat w projektowanej instalacji.

6.2. Metody zwiększania wydajności instalacji biogazowych

Wzrost wiedzy o procesie fermentacji oraz rozwój technologii produkcji biogazu umożliwiają poprawę wydajności procesu lub stopnia zbiogazowania wykorzystywanych w nim substratów poprzez instalowanie w biogazowniach dodatkowych elementów technicznych. Zaopatrzenie instalacji biogazowej w odpowiednio dobrane zestawy wstępnej obróbki substratów, umożliwiające m.in. ich rozdrabnianie, homogenizację, hydrolizę termiczną, chemiczną, enzymową lub

ciśnieniową, lub wstępną fermentację substratów wysokotłuszczowych podnoszą wydajność biogazową mieszaniny substratów od 20 do 50% (Myczko i in. 2011).

7. SYSTEMY PRODUKCJI BIOGAZU

Istnieją cztery główne kryteria podziału systemów produkcji biogazu: temperatura, w jakiej prowadzony jest proces, liczba etapów procesu fermentacji, zawartość suchej masy w substratach poddawanych procesowi oraz tryb napełniania komór fermentacyjnych (Biogaz 2005).

7.1. Temperatura procesu technologicznego

Bakterie uczestniczące w procesie fermentacji metanowej mają różne wymagania temperaturowe, co determinuje temperaturę procesu technologicznego. Występujące zwykle w Europie biogazownie pracujące w zakresie mezofilowym stanowią 85% biogazowi rolniczych. Fermentacja psychrofilowa przebiega w temperaturze od 10 do 25°C i cieszy się popularnością w Azji. Trzecia, rzadko stosowana, fermentacja termofilowa przebiega w temperaturze z zakresu od 42 do 55°C.

7.2. Liczba etapów procesu technologicznego

W zależności od liczby stosowanych zbiorników i realizacji w nich poszczególnych etapów procesu technologicznego, można wyróżnić procesy jedno-, dwu- i wieloetapowe. W biogazowniach rolniczych najczęściej stosuje się procesy jednoetapowe. W instalacjach jednoetapowych nie oddziela się fizycznie poszczególnych faz fermentacji. Proces w całości przebiega w jednym zbiorniku. Ponieważ bakterie metanowe są najbardziej wrażliwe na zakłócenia i namnażają się bardzo powoli, warunki środowiskowe w takich systemach należy dostosowywać do tych właśnie bakterii. W procesach dwu- i wieloetapowych poszczególne fazy przebiegają w odrębnych zbiornikach. W procesie dwuetapowym, w zbiorniku głównym przebiega fermentacja, natomiast w odrębnym zewnętrznym zbiorniku ma miejsce hydroliza i zakwaszanie substratu. Rozdzielenie umożliwia lepsze dopasowanie warunków otoczenia do określonych grup bakterii oraz uzyskanie lepszej skuteczności rozkładu.

7.3. Zawartość suchej masy w substratach

Wśród metod beztlenowych przetwarzania odpadów rozróżnia się fermentację metanową suchą i moką. Choć nie ma dokładnej definicji granicy między fermentacją moką i suchą, w praktyce o fermentacji mokrej przyjęło się mówić, gdy zawartość masy suchej w fermentorze wynosi od 12 do 15% i przy tej zawartości

wody możliwe jest pompowanie materiału. Przy zawartości masy suchej większej niż 16% materiał przeważnie traci zdolność do pompowania i wówczas następuje tzw. fermentacja sucha.

W biogazowniach rolniczych wykorzystuje się fermentację mokrą. Wśród metod fermentowania substratów w procesie tej fermentacji wyróżnia się metodę przepływu tłokowego, metodę przepływu pełnego oraz metody specjalne (Biogaz 2005).

Fermentacja sucha jest alternatywą dla fermentacji mokrej. Może ona znaleźć zastosowanie w przedsiębiorstwach rolnych, które nie dysponują gnojowicą, będącą substratem podstawowym w fermentacji mokrej. Technologia pozyskiwania biogazu w drodze fermentacji suchej pozostaje jednak dotychczas w stadium eksperymentalnym lub prototypowym. Proces fermentacji suchej biomasy realizowany może być w fermentatorach mobilnych (metoda kontenerowa), boksowych, rękawowych, wannowych lub z przepływem tłokowym.

7.4. Tryb napełniania komór

Rozróżnia się trzy tryby napełniania komór fermentacyjnych:

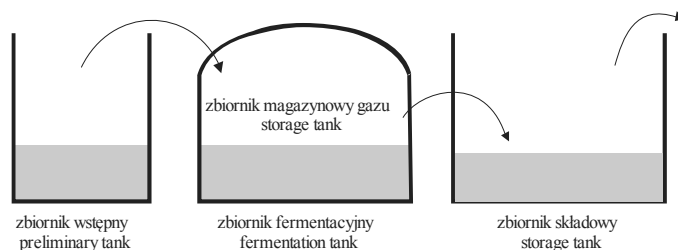
- ciągły,
- częściowo ciągły,
- nieciągły.

7.4.1. Tryb ciągły napełniania komór

W trybie ciągłym zbiornik fermentatora napełniany jest wielokrotnie w ciągu doby i taka sama ilość odpadów fermentacyjnych jest usuwana ze zbiornika w tym samym czasie. Ciągłe napełnianie zbiornika nadaje procesowi charakter procesu przepływowego. Do napełniania komór w trybie ciągłym wykorzystuje się metodę przepływową, magazynową oraz kombinowaną metodę przepływowo-magazynową (Biogaz 2005).

7.4.1.1. Metoda przepływowa

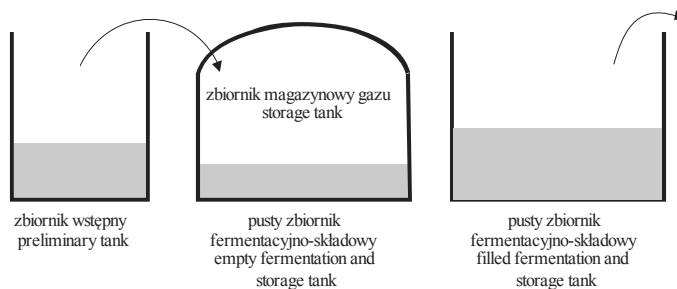
W metodzie przepływowej, stosowanej przez większość biogazowni, zbiornik fermentatora napełniany jest kilka razy w ciągu dnia substratem ze zbiornika magazynowego lub wstępnego. Przepompowanie materiału do zbiornika fermentacyjnego niesie konieczność częściowego jego opróżnienia i przeniesienia partii przefermentowanego wsadu do zbiornika na odpady pofermentacyjne. Zbiornik fermentacyjny jest cały czas zapełniony wsadem o podobnych lub jednolitych parametrach, co zapewnia wysoką równomierność produkcji gazu i dobre wykorzystanie pojemności fermentatora. Schemat metody przepływowej ciągłego napełniania komory fermentacyjnej przedstawia rysunek 3 (Biogaz 2005).



Rys. 3. Schemat metody przepływowej ciągłego napełniania komory fermentacyjnej (Biogaz 2005)
Fig. 3. Schematic of the continuous flow digester system (Biogaz 2005)

7.4.1.2. Metoda magazynowa

W metodzie magazynowej komora fermentacyjna i zbiornik odpadów pofermentacyjnych połączone są w jeden zbiornik. Jest on stale zapelniany substratem pobieranym z komory wstępnej. Przy odprowadzaniu masy pofermentacyjnej, w zbiorniku pozostawia się niewielką ilość przefermentowanego materiału dla zaszczeplenia świeżego wsadu. W porównaniu z metodą przepływową, metoda magazynowa zapewnia mniej równomierną produkcję gazu, jednak pozwala na utrzymanie dłuższych czasów retencji w zbiorniku. Schemat metody magazynowej przedstawia rysunek 4 (Biogaz 2005).



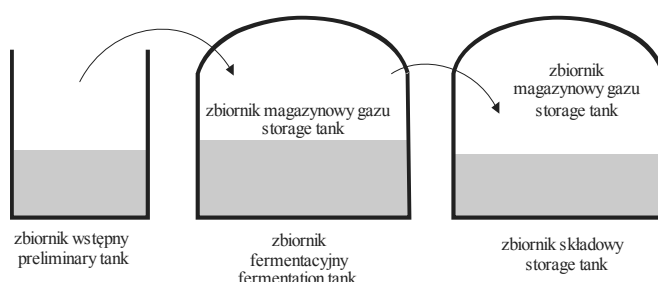
Rys. 4. Schemat metody magazynowej ciągłego napełniania komory fermentacyjnej (Biogaz 2005)
Fig. 4. Schematic of the continuous warehouse digester system (Biogaz 2005)

7.4.1.3. Kombinowana metoda przepływowo-magazynowa

Warunkiem stosowania w biogazowni kombinowanej metody przepływowo-magazynowej napełniania komór fermentacyjnych jest szczelne zakrycie zbiornika odpadów pofermentacyjnych, który pełni funkcje zbiornika magazynowego.

Ze zbiornika wstępnego substrat trafia do fermentatora przepływowego, poprzędzającego zbiornik magazynowy.

Stosowanie kombinowanej metody przepływowo-magazynowej pozwala na równomierną produkcję biogazu, jednak nie daje możliwości ustalenia czasu retencji substratu, z powodu częściowego odpływu świeżo doprowadzonego substratu z fermentatora przepływowego (tzw. przepływu obejściowego). Schemat kombinowanej metody przepływowo-magazynowej przedstawia rysunek 5 (Biogaz 2005).



Rys. 5. Schemat kombinowanej metody przepływowo-magazynowej ciągłego napełniania komory fermentacyjnej (Biogaz 2005)

Fig. 5. Schematic of the continuous combined flow- warehouse digester system (Biogaz 2005)

7.4.2. Tryb częściowo ciągły napełniania komór

Tryb częściowo ciągły charakteryzuje się tym, że przynajmniej jeden raz w ciągu dnia zbiornik fermentatora jest zasilany świeżym ładunkiem substratu, co zwiększa równomierność pozyskiwania gazu oraz poprawia jego niezmienność. Napełnianie komór w trybie częściowo ciągłym odbywa się scharakteryzowanymi powyżej: metodą przepływową, magazynową oraz kombinowaną metodą przepływowo-magazynową (Biogaz 2005).

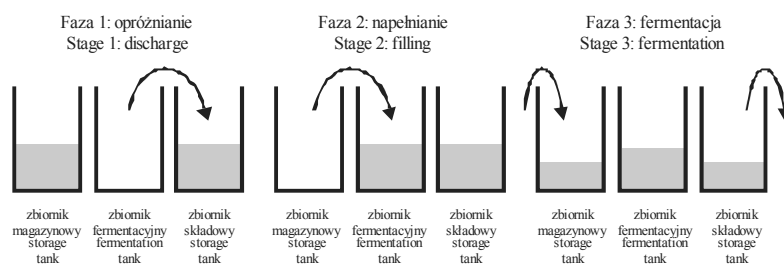
7.4.3. Tryb nieciągły napełniania komór

W trybie nieciągłym napełnianie odbywa się procesem okresowym (batchowym) lub metodą zbiorników wymiennych (Biogaz 2005).

7.4.3.1. Proces okresowy

W procesie okresowym całkowicie napełniony świeżym substratem zbiornik jest hermetycznie zamykany bez dostępu powietrza na określony czas (czas retencji). Po jego upływie następuje opróżnienie komory fermentacyjnej. Na dnie komory pozostawia się niewielką ilość wsadu dla zaszczerpienia nowego procesu

i, następnie, ponownie zapełnia się zbiornik. Realizacja procesów napełniania i opróżniania zbiornika fermentacyjnego wymaga obecności dodatkowo zbiornika magazynowego i zbiornika składowego. Wadą tej metody jest okresowa praca oraz, będąca jej wynikiem, zmienna ilość i jakość produkowanego biogazu. Schemat procesu okresowego przedstawia rysunek 6 (Biogaz 2005).

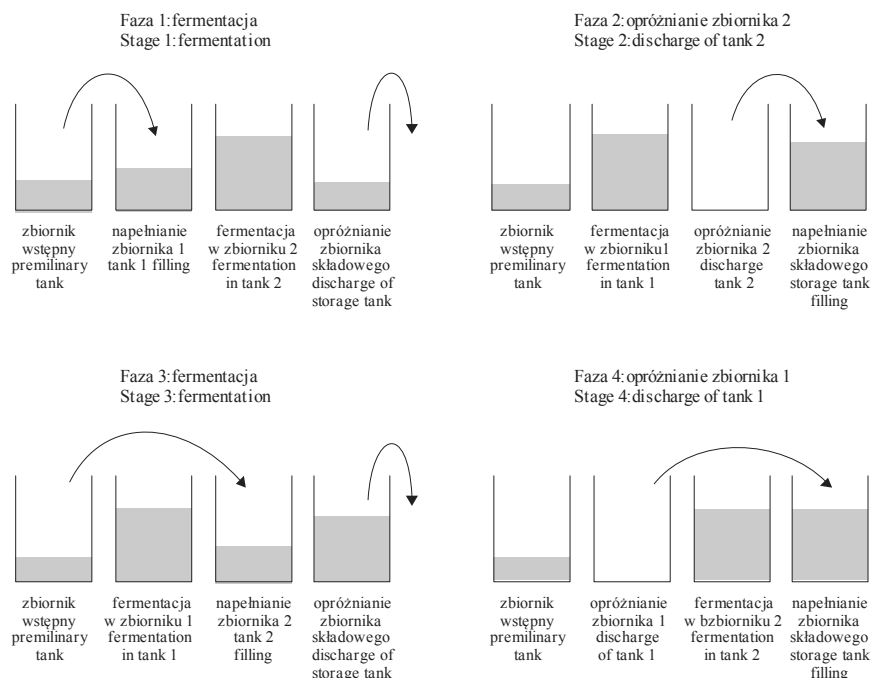


Rys. 6. Schemat procesu okresowego (Biogaz 2005)

Fig. 6. Schematic of the batch digester system (Biogaz 2005)

7.4.3.2. Metoda zbiorników wymiennych

W metodzie zbiorników wymiennych konieczna jest obecność zbiornika magazynowego, zbiornika składowego oraz dwóch zbiorników fermentacyjnych. Podczas powolnego i równomiernego napełniania pierwszego ze zbiorników fermentacyjnych substratem pobieranym ze zbiornika wstępnego, substrat wypełniający całkowicie drugi zbiornik fermentacyjny ulega procesowi rozkładu. Po napełnieniu pierwszego zbiornika, zawartość drugiego zostaje w całości przeniesiona do zbiornika składowego. Pusty drugi zbiornik fermentacyjny ulega napełnieniu substratem ze zbiornika wstępnego. Po jego napełnieniu następuje opróżnienie zbiornika pierwszego. Schemat nieciągłego napełniania komór fermentacyjnych metodą zbiorników wymiennych przedstawia rysunek 7 (Biogaz 2005).



Rys. 7. Schemat nieciągłego napelniania komór fermentacyjnych metodą zbiorników wymiennych (Biogaz 2005)

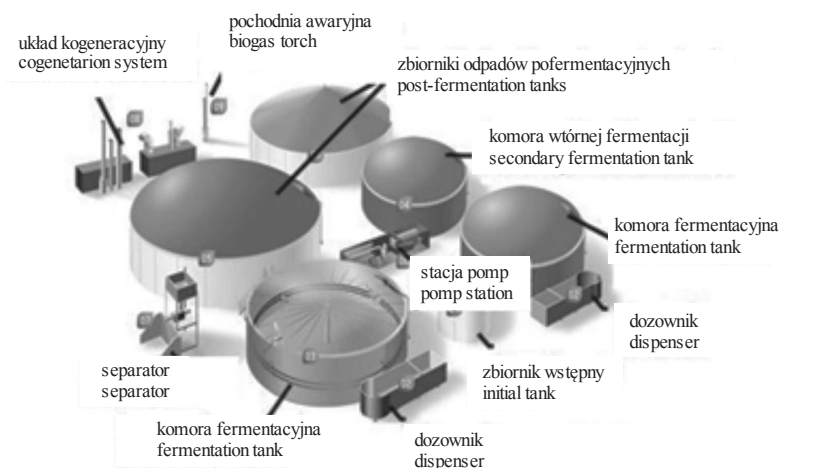
Fig. 7. Schematic of the digester system with exchangeable container (Biogaz 2005)

Zastosowanie metody zbiorników wymiennych daje możliwość równomiernej produkcji biogazu oraz utrzymania zdefiniowanych czasów retencji substratu.

8. ELEMENTY CIĄGU TECHNOLOGICZNEGO PRODUKCJI BIOGAZU

Dobór elementów instalacji produkcji biogazu determinowany jest składem i ilością materiału wsadu. O rozmiarze agregatów i zbiorników decyduje ilość substratów. Zawartość w nich suchej masy, struktura i pochodzenie wpływają na rozplanowanie techniki procesowej. Nie ma jednego schematu, na podstawie którego projektowane byłyby instalacje w biogazowniach, jednak istnieje grupa elementów wchodzących w skład większości z nich. Należą do nich elementy niezbędne do wstępnej obróbki materiału wsadowego, komora fermentacyjna, izolacja wodnokanalizacyjna, system ogrzewania, instalacja gazowa, instalacja elektrowni energetyczna, zbiorniki do magazynowania biogazu, zbiorniki do magazynowania odpadów pofermentacyjnych, aparatura kontrolno-pomiarowa i inne (Poradnik biogazowy MAE). Z uwagi na dużą liczbę elementów ciągu technologicznego produkcji biogazu, w niniejszym rozdziale dokonana zostanie

charakterystyka tylko kilku najważniejszych urządzeń i obiektów tworzących instalację biogazową. Schemat biogazowni przedstawia rysunek 8 (Ökobit 2014).



Rys. 8. Schemat biogazowni (Ökobit 2014)

Fig. 8. Schematic diagram of a biogas plant (Ökobit 2014)

8.1. Elementy do wstępnej obróbki materiału wsadowego

Urządzenia do obróbki wstępnej materiału wsadowego obejmują zbiorniki magazynujące, płyty na kiszonkę, zbiorniki na surowce płynne, silosy, stację załadunkową odpadów, podnośniki taśmowe/ślimakowe, tabor samochodowy do załadunku, wagę, dozownik, zbiornik mieszania, kraty, sito, pompę, macerator, wybierak hydrauliczny oraz układ do higienizacji/sanitacji.

Odpady organiczne lub odchody zwierzęce mogą być składowane w zbiorniku wstępnym. Jego wymiary muszą umożliwiać kompensację wahań objętości doprowadzanego substratu, zapewniając stałe zaopatrzenie kolumny fermentacyjnej w surowiec.

Substraty o małym uwodnieniu (np. kiszonka kukurydzy) składowane są w przyrmach pod przykryciem foliowym, a ich dozowanie do zbiornika mieszania odbywa się przy pomocy podajnika taśmowego. Inne, o dużym uwodnieniu, magazynowane są w silosach.

Technika urządzeń do transportowania i dozowania wsadu uzależniona jest od właściwości substratu. Techniki do transportu substratów pompowanych są odmienne od technik stosowanych dla substratów składowanych luzem (Biogaz 2005). Transport substratów pompowalnych odbywa się przy pomocy pomp napędzanych silnikami elektrycznymi. Wybór pomp zależy od stosowanych substra-

tów oraz od stopnia ich uzdatnienia. Substraty składowane luzem muszą być transportowane na miejsce wysypu lub na miejsce przyrządzania wsadu. Środkiem bliskiego transportu substratów są najczęściej ładowarki kołowe. Przy załadunku zautomatyzowanym natomiast stosuje się zgarniacze denne i listwowe lub przenośniki ślimakowe.

Wykorzystanie jako substratu odpadów przemysłowych stanowiących źródło zanieczyszczenia środowiska lub zakażenia chorobami (np. odpadów poubojowych) wymaga ich higienizacji/sanitacji w stacji termicznej. Obróbka wstępna odbywa się poprzez ogrzanie materiału do temperatury około 70°C przez co najmniej godzinę (Biogaz 2005). Proces higienizacji może być przeprowadzony w hermetycznie zamykanych zbiornikach ze stali szlachetnej. W związku z tym, że temperatura substratu po higienizacji jest wyższa od temperatury roboczej fermentatora, konieczne jest jego schłodzenie przed podaniem go do komory fermentatora.

Stosowanie substratów pompowalnych w procesie fermentacji mokrej niesie konieczność przyrządzania wsadu z substratów. Do jego przyrządzania wykorzystuje się gnojowicę, przefermentowaną wodę biogazową, wodę procesową lub wodę świeżą. Proces przygotowania wsadu odbywa się zazwyczaj w zbiorniku wstępnym przed podaniem materiału do komory fermentatora.

Procesem intensyfikującym degradację biologiczną zachodzącą w substracie jest jego rozdrabnianie. Rozdrabnianie substratów odbywa się przed wprowadzeniem ich do zbiornika wstępnego lub przed podaniem do komory fermentacyjnej przy pomocy maceratora (zwanego mikserem lub rozdrabniaczem) instalowanego w zbiorniku wstępnym.

Ze zbiornika wstępnego substraty podawane są do komory mieszania, jednak w przypadku niejednorodnego materiału wsadowego konieczne jest jego odpowiednie przygotowanie. Odbywa się ono poprzez zastosowanie krat lub sit, umieszczonych przed ujściem rury doprowadzającej substraty do zbiornika mieszania, a także urządzenia do usuwania piasku z dna komory i wybieraka hydraulicznego. Celem wielu spośród wymienionych powyżej procesów realizowanych w zbiorniku wstępnym jest ujednolicenie materiału wsadowego. Homogeniczność wsadu gwarantuje stabilność procesu fermentacji, a rodzaj procesu homogenizacji zależy od rodzaju substratu.

8.2. Komora fermentacyjna

Ze zbiornika mieszania biomasa podawana jest do komory fermentacyjnej (zwanej bioreaktorem lub fermentatorem), stanowiącej kluczowy element instalacji biogazowej. Materiałami stosowanymi do budowy bioreaktorów są blacha stalowa, żelbet i tworzywa sztuczne. Komory w kształcie cylindra mogą być zagłębione w ziemi, wolnostojące lub ułożone na fundamentach. Ze względu na

ułożenie, komory fermentacyjne dzieli się na stojące i leżące. Bioreaktor musi spełniać wiele warunków, gwarantujących prawidłowy przebieg procesu fermentacji metanowej. Ściany komory fermentacyjnej muszą być gazo- i płynoszczelne, dzięki dobrej izolacji termicznej powinny zapewniać jak najmniejsze straty ciepła procesowego. Fermentatory muszą zapewniać możliwość idealnego przepływu substratu oraz posiadać możliwość ogrzewania w celu osiągnięcia wymaganej temperatury procesowej. Podgrzewanie materiału wsadowego odbywa się za pomocą wymienników ciepła lub poprzez bezpośrednie podgrzewanie biomasy. W pierwszym przypadku stosuje się wymienniki zewnętrzne lub przeponowe. Ogrzewanie samej komory realizuje się przez wymienniki ciepła wbudowane w dno lub ściany komory. W bezpośrednim podgrzewaniu biomasy materiał wsadowy rozcieńczany jest gorącą wodą. Dodatkowo bioreaktory powinny posiadać systemy wygarniające osady oraz odprowadzające przefermentowany substrat i uzyskiwany biogaz. Pozostałymi elementami komory fermentacyjnej są detektor i wylapywacz piany, rurociągi przelewowe, miernik poziomu cieczy w komorze, zawory bezpieczeństwa. Komorę fermentacyjną biogazowni rolniczej w Pawłóoku przedstawia rysunek 9 (Komora fermentacyjna 2010).



Rys. 9. Komora fermentacyjna biogazowni rolniczej w Pawłóoku (Komora fermentacyjna 2010)

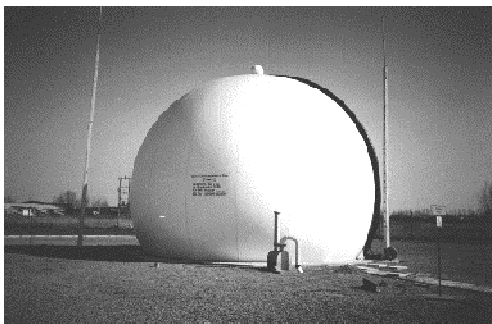
Fig. 9. Anaerobic digester in agricultural biogas plant in Pawłóok (Komora fermentacyjna 2010)

8.3. Zbiorniki do magazynowania biogazu

Uzyskiwany w fermentatorze biogaz jest odprowadzany i magazynowany w specjalnych zbiornikach. Zbudowane są one z blachy stalowej lub z tworzyw sztucznych. Wyróżnia się dwa rodzaje zbiorników na biogaz: mokre i suche. Pierwsze montowane są bezpośrednio nad komorą fermentacyjną, zaś drugie stanowią oddzielne konstrukcje, do których biogaz przekazywany jest z fermentatora

i przechowywany przez różny okres czasu, w zależności od zapotrzebowania na paliwo lub energię. Wykonywane z tworzyw sztucznych lub gumy zbiorniki suche mają kształt balonu lub poduszki (rys. 10).

a)



b)



Rys. 10. Zbiornik na biogaz a) oraz pochodnia do awaryjnego spalania biogazu b) (Zbiornik biogazu 2014, Pochodnia awaryjna 2014)

Fig. 10. Biogas tank a) and gas flare b) (Zbiornik biogazu 2014, Pochodnia awaryjna 2014)

Zbiorniki do magazynowania biogazu wyposażone są dodatkowo w mechaniczne elektryczne i hydrauliczne zabezpieczenia przed nagłymi różnicami ciśnienia, sprężarkę do transportu biogazu ze zbiornika, pochodnię do spalania nadwyżek biogazu, przerywacz płomienia, ciśnieniomierze oraz licznik gazu do pomiaru ilości biogazu.

Ze względu na panujące w zbiornikach magazynowych ciśnienie, wyróżnia się zbiorniki nisko-, średnio- i wysokociśnieniowe (Biogaz 2005).

Najczęściej używane są zbiorniki niskociśnieniowe, o zakresie nadciśnienia od 0,05 do 0,5 mbar (5-50 Pa). Wykonane z folii zbiorniki instaluje się na zewnątrz na fermentatorze. Zewnętrzne zbiorniki niskociśnieniowe mogą mieć postać poduszek foliowych, ulokowanych w odpowiednich budynkach lub przykrytych drugą powłoką foliową, w celu ochrony przed niekorzystnymi warunkami pogodowymi.

W średnio- i wysokociśnieniowych zbiornikach oraz butlach stalowych biogaz magazynowany jest pod ciśnieniem od 5 do 250 bar (0,5-25 MPa). Obsługa i utrzymanie tych zbiorników jest kosztowne, dlatego ich stosowanie w biogazowniach rolniczych jest sporadyczne.

W przypadku nadwyżki produkcji biogazu oraz, wynikającego z niej, braku możliwości magazynowania gazu, konieczna staje się jego neutralna utylizacja oraz spalanie przy użyciu pochodni awaryjnej (Biogaz 2005) (rys. 10).

8.4. Zbiorniki do magazynowania odpadów pofermentacyjnych

Resztki pofermentacyjne oraz gnojowica biogazowa przenoszone są z komory fermentatora do zbiornika odpadów pofermentacyjnych. Zbiornikiem odpadów pofermentacyjnych może być stary zbiornik lub basen na gnojówkę.

W związku z tym, że zawarta w substracie fermentacyjnym materia organiczna nie ulega całkowitemu rozkładowi w komorze fermentatora, procesy gnilne zachodzą także w odpadach pofermentacyjnych podczas ich składowania. Ze zbiorników magazynowych można odzyskać do 20% całkowitej produkcji biogazu (Curkowski i in. 2009), jeśli są one zaopatrzone w gazoszczelne przykrycie. Zabezpieczony przed wyciekami biogazu zbiornik na odpady pofermentacyjne nazywa się komorą wtórnej fermentacji. Praktykowane powszechnie opróżnianie zbiorników 2 razy w roku daje możliwość odzyskiwania z nich biogazu uzyskanego w czasie 6 miesięcy, jednak rozwiązanie to nie jest stosowane we wszystkich biogazowniach.

8.5. Urządzenia do wytwarzania energii

Ostatnim elementem instalacji produkcji biogazu są urządzenia do produkcji energii. Ze względu na różne wykorzystanie biogazu, końcowymi elementami instalacji są:

- gazowe generatory prądu, przetwarzające biogaz na energię elektryczną,
- kotły gazowe, przetwarzające biogaz na ciepło,
- układy kogeneracyjne do skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej, cieplnej.

8.6. Aparatura kontrolno-pomiarowa

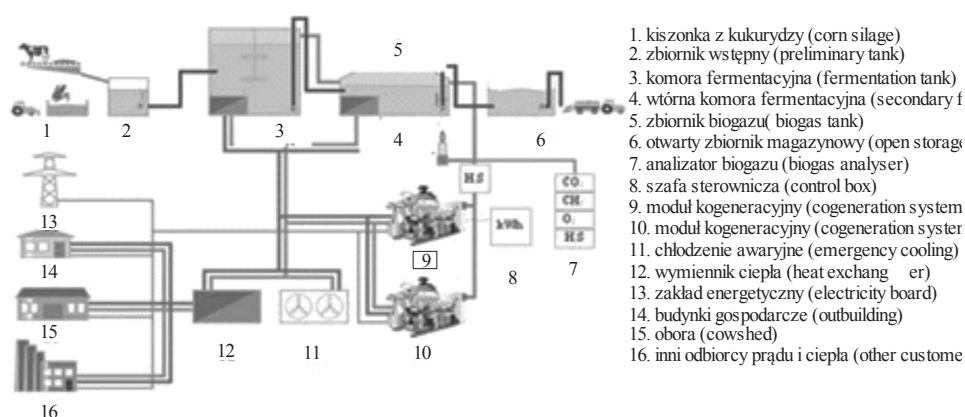
Konieczność kontrolowania dużej liczby parametrów produkcji biogazu w celu uzyskania wysokiej stabilności procesu fermentacji metanowej doprowadziła do stosowania w nowoczesnych biogazowniach rolniczych aparatury kontrolno-pomiarowej połączonej z automatycznymi układami sterowania umożliwiającymi zdalne kontrolowanie i regulowanie pracą biogazowi.

Sprawowanie efektywnego kierownictwa oraz kontrola procesu technologicznego wymagają nadzoru nad określonymi parametrami procesu fermentacji. Monitoring pracy biogazowi rolniczej wymaga codziennego wykonania pomiarów następujących parametrów:

- rodzaju i ilości doprowadzanych substratów,
- temperatury procesu,
- pH w komorze,
- ilości i składu biogazu,
- poziomu napełnienia.

Codziennie odbywa się także kontrola systemu wczesnego ostrzegania przed niebezpieczeństwem wybuchu, obejmująca pomiar lotnych kwasów tłuszczowych, potencjał redox oraz zawartość amoniaku.

Schemat ciągu technologicznego produkcji biogazu przedstawia rysunek 11 (CES 2014).



Rys. 11. Schemat ciągu technologicznego produkcji biogazu (CES 2014)

Fig. 11. Schematic of biogas production (CES 2014)

9. ZAGROŻENIA ZWIĄZANE Z PRODUKCJĄ BIOGAZU

Biogaz jest mieszaniną gazów, w skład której wchodzi metan, dwutlenek węgla, siarkowodór, wodór, tlenek węgla, azot, tlen i inne. Z uwagi na różne właściwości gazów tworzących biogaz, wyróżnia się następujące typy zagrożeń związanych z jego produkcją:

- zagrożenia technologiczne,
- zagrożenia dla zdrowia i życia ludzi,
- zagrożenia dla środowiska.

9.1. Zagrożenia technologiczne

Do zagrożeń technologicznych, wynikających z nieprzestrzegania szczególnych środków ostrożności oraz nieprawidłowej eksploatacji instalacji biogazowej, należy wybuchowość biogazu oraz korozja niskotemperaturowa.

9.1.1. Wybuchowość biogazu

Głównym zagrożeniem, stwarzanym przez biogaz, jest możliwość jego wybuchu, będąca wynikiem obecności w nim metanu, wodoru, tlenku węgla i siarkowodoru. Do zainicjowania procesu spalania gazu spełnione muszą być trzy warunki: obecność substancji palnej, energia do zainicjowania zapłonu oraz dostęp tlenu niezbędnego do utrzymania procesu spalania. Dodatkowo, stężenia gazów w mieszaninie z powietrzem muszą być w odpowiedniej proporcji, co określa tzw. granica wybuchowości (zapalności) gazu. Najniższe stężenie substancji palnej w mieszaninie z powietrzem, przy której istnieje zagrożenie wybuchem, nosi nazwę dolnej granicy wybuchowości, zaś najwyższe stężenie substancji palnej, przy którym jeszcze może nastąpić jej zapalenie i wybuch pod wpływem bodźca termicznego, nazywa się górną granicą wybuchowości (Agroenergetyka 2010). Przy dolnej granicy zapalności nadmiar powietrza, które pochłania ciepło wydzielające się w początkowej fazie inicjującej spalanie, uniemożliwia jego kontynuację. Przy górnej granicy wybuchowości, gaz palny występuje w nadmiarze, a efekt cieplny reakcji i temperatura spalin są zbyt małe dla podtrzymywania procesu spalania.

Zestawienie właściwości poszczególnych składników biogazu prezentuje tabela 9.

Tabela 9. Właściwości poszczególnych składników biogazu (Szczypko 2008)

Table 9. Properties of biogas components (Szczypko 2008)

Wielkość – Value	Składnik biogazu – Biogas component				
	CH ₄	CO ₂	H ₂ S	CO	H
gęstość – density (kg·m ⁻³)	0,72	1,85	1,44	1,57	0,084
temperatura zapłonu flash point (°C)	300	–	270	605	585
wybuchowość (% obj.) lower explosive limit	4,4-16,5	–	4,3-45,5	10,9-75,6	4-77
wartość NDS* (ppm)	–	5000	10	30	–
TLV** (ppm)	–	5000	10	30	–

* NDS-2 – najwyższe dopuszczalne stężenie; **TLV – threshold limit value

Temperatura zapłonu biogazu, tzn. minimalna temperatura, w której dana substancja wytwarza taką ilość pary, która ulega zapaleniu się po zbliżeniu płomienia (Agroenergetyka 2010), wynosi 700° C i jest wyższa od temperatur zapłonu gazu ziemnego, propanu, metanu i wodoru. Jego wybuchowość, mieszcząca się w zakresie od 6 do 12% obj., ma wartości podobne do wartości charakterystycznych dla gazu ziemnego, metanu i propanu (Biogaz 2005).

Wiele czynników determinuje granice wybuchowości gazów. Znajdują się wśród nich:

- temperatura – wraz ze wzrostem temperatury mieszaniny palnej gazów, granice zapalności rozszerzają się,

- ciśnienie – wraz ze spadkiem ciśnienia, zakres granic zapalności mieszanin zwęża się do momentu zrównania dolnej i górnej granicy zapalności; dla każdej mieszaniny gazów istnieje pewne krytyczne ciśnienie, poniżej którego zdolność do zapalenia się przestaje istnieć,
- zawartość gazu obojętnego w mieszaninie – dodanie dwutlenku węgla lub azotu do palnej mieszaniny znacznie zmniejsza zakres granic zapalności,
- bodziec termiczny – wzrost mocy impulsu termicznego rozszerza granice zapalności gazów,
- skład,
- miejsce zainicjowania zapłonu i kierunku dalszego rozprzestrzeniania się płomienia,
- stężenie tlenu w mieszaninie.

Wybuch biogazu na skutek przekroczenia dolnej granicy wybuchowości nie jest jedyną okolicznością, której konsekwencją jest wybuch pożaru na terenie biogazowni. Może go wywołać także działanie z otwartym ogniem, iskrzenie przełączanych urządzeń elektrycznych lub uderzenie pioruna (Szczypko 2008). Podziemna migracja biogazu podnosi poziom ryzyka wystąpienia pożaru w budynkach znajdujących się na terenie biogazowni. Duże prawdopodobieństwo występowania wybuchowych mieszanek gazowo-powietrznych w sąsiedztwie zbiorników na odpady pofermentacyjne oraz magazynów biogazu skłania do zachowania szczególnych środków ostrożności podczas eksploatacji biogazowni. W zależności od stopnia prawdopodobieństwa wystąpienia atmosfery wybuchowej na terenie biogazowni wydziela się tzw. strefy zagrożenia wybuchem. Reguły wyznaczania stref zagrożenia wybuchem określa dokument „Reguły ochrony przed wybuchem – zasady unikania zagrożeń spowodowanych wybuchową atmosferą” BGR 104 (Szczypko 2008). Dokument definiuje następujące strefy zagrożenia wybuchem (MT-Energie 2012, Szczypko 2008):

- Strefa 0 – obszar, w którym niebezpieczna atmosfera wybuchowa utrzymuje się stale, przez długi okres czasu lub często. Na obszarze biogazowni nie wydziela się strefy 0, gdyż nie dotyczy ona żadnego z elementów biogazowni, nawet zbiorników fermentacyjnych.
- Strefa 1 – obszar, w którym w czasie normalnej eksploatacji czasami może wytworzyć się atmosfera wybuchowa. Na obszarze biogazowni strefa 1 obejmuje obszary znajdujące się w sąsiedztwie otworów wylotowych magazynu biogazu, układu przewodzącego gaz w komorze gnilnej, urządzeń spustowych, w okolicy zabezpieczeń przed nadciśnieniem lub pochodni awaryjnej. W miejscu swobodnego przewietrzania środki bezpieczeństwa strefy 1 należy stosować w odległości 1 metra od zagrożonych elementów

instalacji produkcji biogazu, natomiast w pomieszczeniach zamkniętych odległość wzrasta do około 4,5 metra.

- Strefa 2 – obszar, w którym w czasie normalnej eksploatacji atmosfera wybuchowa nie wstępuje lub istnieje w krótkich okresach czasu podczas prac serwisowych lub w przypadku wystąpienia awarii. Strefa 2 obejmuje otwory wylotowe, wewnątrz fermentatora oraz sąsiedztwo otworów napowietrzających i odpowietrzających przy zbiornikach do magazynowania biogazu. Na tych obszarach środki ostrożności przewidziane dla strefy 2 realizować należy w odległości od 1 do 3 metrów od zagrożonych obiektów.

Pomimo realnie istniejącego na terenie biogazowni zagrożenia wybuchem, znaczne obniżenie ryzyka zapalenia się mieszaniny gazów umożliwia przestrzeganie zasad bezpieczeństwa oraz podjęcie następujących środków ostrożności (Szczypko 2008):

- regularna kontrola szczelności elementów ciągu technologicznego produkcji biogazu;
- kontrola urządzeń zabezpieczających;
- kontrola swobodnego przepływu, szczelności i zamarznięcia instalacji gazowej i zaworów zasurowych w zewnętrznym zbiorniku do magazynowania biogazu;
- regularna kontrola jakości gazu, obejmująca poziom zawartości metanu, dwutlenku węgla, siarkowodoru i tlenu;
- kontrola dostępu powietrza podczas procesu odsiarczania biologicznego;
- regularna kontrola i opróżnianie zbiornika do magazynowania odpadów pofermentacyjnych;
- regularne sprawdzanie oraz konserwacja urządzeń zabezpieczających w elektrociepłowni blokowej.

9.1.2. Korozja niskotemperaturowa

Oddziaływanie środowiska i procesy zachodzące w instalacji do produkcji i utylizacji biogazu mogą powodować korozję urządzeń technologicznych w trakcie ich eksploatacji. Skutkiem działania ogniw korozyjnych na styku metalu i elektrolitu jest korozja elektrochemiczna (Myczko i in. 2011). Jest ona spowodowana procesami elektrochemicznymi, zachodzącymi w konsekwencji występowania różnych potencjałów na powierzchni korodującego obiektu, znajdującego się w środowisku elektrolitu (Korozja elektrochemiczna 2013). Na powierzchni metalu powstają ogniwa korozyjne, w których fragmenty powierzchni metalu o niższym potencjale ulegają utlenianiu. Na fragmentach powierzchni metalu o wyższym potencjale zachodzą reakcje redukcji.

Obecność w biogazie różnych gazów, w określonych warunkach, sprzyja procesowi korozji części stykających się z produktami spalania biogazu.

9.2. Zagrożenia dla zdrowia i życia ludzi

Najpowszechniejszymi i najbardziej niebezpiecznymi zagrożeniami dla zdrowia i życia ludzi, związanymi z eksploatacją instalacji biogazowej, są (Biogaz 2005, Myczko i in. 2011, Szczypko 2008) zagrożenia toksykologiczne i odorowe.

9.2.1. Zagrożenia toksykologiczne

Obecność w biogazie siarkowodoru, amoniaku, tlenku węgla, benzenu, węglowodorów alifatycznych i innych składników nieorganicznych przejawiających silne działanie toksyczne stanowi poważne zagrożenie zdrowia, a nawet życia osób pracujących na terenie biogazowni.

Siarkowodor, stanowiący od 0,01 do 0,4% objętości biometanu, jest gazem cięższym od powietrza, o zapachu zgniłych jaj. Łatwo wchłania się z płuc, a jego działanie polega na blokowaniu tkankowych enzymów oddechowych prowadzącym do porażenia układu oddechowego. Przy małych stężeniach siarkowodor podrażnia spojówkę i rogówkę oczu, wywołuje kaszel, mdłości, ślinienie, ból głowy, obniża ciśnienie tętnicze i powoduje przyspieszenie tętna. Długotrwałe narażenie na działanie gazu wywołuje obrzęk płuc.

Nadmierna emisja amoniaku w procesie produkcji biogazu stanowi kolejne źródło zagrożenia zdrowia pracowników biogazowni i stanu środowiska. Kontakt z tym bezbarwnym gazem powoduje u człowieka osłabienie mięśni ze wzmożoną aktywnością odruchową. Prowadzi do uszkodzenia płuc, gardła, oczu i spojówek. Zatrucie amoniakiem działa także negatywnie na serce oraz układ nerwowy uszkodzonego, prowadząc do omdlenia.

Skutkami nieprawidłowego przechowywania gnojowicy, złego doboru pasz dla zwierząt oraz stosowania niewłaściwej techniki utylizacji amoniaku jako nawozu jest kontakt amoniaku z glebą, przyczyniający się do jej zakwaszenia. Przedostanie się amoniaku do wód powierzchniowych powoduje ich eutrofizację.

Zatrucie tlenkiem węgla, gazem bezwonny, bezbarwny i pozbawiony smaku powoduje, przy długotrwałym narażeniu, śmierć przez uduszenie. Tlenek węgla blokuje dostęp tlenu do organizmu, poprzez zajmowanie jego miejsca w czerwonych ciałkach krwi. Do najważniejszych objawów zatrucia należą: zaburzenia koncentracji, zawroty głowy, osłabienie, wymioty, drgawki i utrata przytomności.

Benzen jest cieczą bezbarwną, bardzo lotną i łatwo palną o aromatycznym zapachu. Powoduje zawroty i ból głowy. Zatrucie benzenem prowadzi do stanu euforycznego podniecenia (upojenia), po którym występuje nagle zamroczenie,

czasem z drgawkami lub porażeniami. Porażenie układu oddechowego, wywołane działaniem benzenu, może prowadzić do zgonu.

Węglowodorem aromatycznym, wchodzącym w skład biogazu, jest aceton, działający narkotycznie na ośrodkowy układ nerwowy oraz drażniący na komórki błon śluzowych. Konsekwencją ostrego zatrucia acetonem jest trwałe uszkodzenie wątroby i nerek.

9.2.2. Zagrożenia odorowe

Źródłami nieprzyjemnej woni biogazu są obecne w nim tiole o zapachu skunksa, zgniłej kapusty, lub czosnku, siarkowodór, amoniak, siarczki di metylowe o zapachu gnijących warzyw, siarczki di etylowe o zapachu czosnku, kwas butanowy o zapachu zjełczałego tłuszczu oraz metyloamina i trimetyloamina o zapachu rybim (Szczytko 2008). Sposobem na minimalizację uciążliwego odoru wydzielanego przez biogaz i odpady pofermentacyjne jest stosowanie pochłaniających warstw materiałów izolujących oraz barier antyodorowych w postaci preparatów rozpylanych w powietrzu.

9.3. Zagrożenia dla środowiska

Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczej może mieć niekorzystny wpływ na stan zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, środowisko gruntowo-wodne oraz klimat akustyczny. Źródłem zagrożeń mogą być m.in. emisja spalin, hałas komunikacyjny lub awaryjne wycieki z pękniętych lub nieszczelnych zbiorników do przechowywania substratów, biogazu i odpadów pofermentacyjnych.

9.3.1. Zwiększenie efektu cieplarnianego

Metan i dwutlenek węgla, stanowiące podstawowe składniki biogazu, są gazami szklarniowymi. Konsekwencją wzrostu ich stężenia w atmosferze jest wzrost efektu cieplarnianego (zjawiska podwyższenia temperatury planety) i zmiany klimatu na Ziemi. Jednym ze sposobów ograniczenia efektu cieplarnianego poprzez zmniejszenie emisji metanu i dwutlenku węgla do atmosfery jest spalanie biogazu.

9.3.2. Nieprawidłowe stosowanie nawozów naturalnych

Nieprawidłowe stosowanie odpadów pofermentacyjnych do nawożenia lub ulepszania gleby stanowi poważne zagrożenie dla środowiska gruntowo-wodnego. Przyczyną zagrożenia może być nieprzestrzeganie zakazów stosowania nawozów naturalnych na glebach zalanych wodą, przykrytych śniegiem, zamarzniętych do

głębokości 30 cm oraz podczas opadów deszczu. Realne niebezpieczeństwo stanowi także stosowanie nawozów w postaci płynnej oraz azotowych na glebach bez okrywy roślinnej, położonych na stokach o nachyleniu większym niż 10% oraz podczas wegetacji roślin przeznaczonych do spożycie przez ludzi. Wymagania dotyczące stosowania nawozów naturalnych określa artykuł 20 ust. 1 ustawy z dnia 10 lipca 2007 roku o nawozach i nawożeniu (Dz. U. 2007 Nr 147, poz. 1033).

10. OCZYSZCZANIE I WZBOGACANIE BIOGAZU

10.1. Oczyszczanie biogazu

Obecność w surowym biogazie składników uniemożliwiających jego wykorzystanie bezpośrednio po procesie produkcji niesie konieczność jego oczyszczania. Wtłoczenie biogazu do sieci gazowej lub wykorzystanie go do napędu pojazdów wymaga uprzedniego jego osuszenia oraz usunięcia z niego siarkowodoru, dwutlenku węgla i siloksanów.

10.1.1. Osuszanie biogazu

Wysokie nasycenie biogazu parą wodną (względna wilgotność biogazu w fermentatorze wynosi 100%) oraz niekorzystne jej działanie na instalacje przesyłowe i elementy agregatów prądotwórczych niesie konieczność osuszania biogazu. Proces ten realizowany jest podczas chłodzenia gazu, kiedy to część pary wodnej oddziela się w formie kondensatu. W skład kondensatu wchodzi także rozpuszczalne w wodzie gazy i aerozole stanowiące niepożądane składniki biogazu. Kondensat gromadzony jest w zbiornikach, stanowiących element instalacji produkcji biogazu.

10.1.2. Odsiarczanie biogazu

Składnikiem biogazu obniżającym jego jakość oraz możliwość jego dalszego wykorzystania jest siarkowodor. Łącząc się z zawartą w biogazie parą wodną siarkowodor tworzy kwas siarkowy, powodujący korozję oraz mający destrukcyjny wpływ na urządzenia energetyczne i silniki. Stężenie siarkowodoru w surowym biogazie może sięgać 3 000 ppm, co kilkukrotnie przekracza stężenie dopuszczalne (Deublain i Steinhauser 2008).

Istnieje wiele metod oczyszczania biogazu ze związków siarki. Należą do nich procesy biologiczne, chemiczne i fizyczne.

10.1.2.1. Odsiarczanie biologiczne biogazu

Biologiczne odsiarczanie biogazu może mieć miejsce w fermentatorze, pod warunkiem zapewnienia w nim obecności tlenu oraz bakterii siarkowych wykorzystujących w swoim metabolizmie utlenianie siarki. Przeprowadzenie procesu odsiarczania w zbiorniku fermentacyjnym niesie jednak ryzyko braku możliwości uzyskania informacji o uwolnionej ilości siarkowodoru, braku precyzyjnej optymalizacji procesu rozkładu siarkowodoru, niezamierzonego utleniania metanu doprowadzanym tlenem oraz korozji elementów konstrukcji fermentatora.

W celu zwiększenia kontroli procesu odsiarczania biogazu oraz podniesienia jego skuteczności, oczyszczanie może zostać przeprowadzone poza fermentatorem, w oddzielnych zbiornikach zaopatrzonych w zestaw do odsiarczania biologicznego. Mające postać kolumn, kotłów lub kontenerów zbiorniki wykonane są ze stali lub tworzywa sztucznego.

Bakterie siarkowe rozkładają siarkowodor w proste związki siarki, zwiększając możliwość zastosowania biogazu bez uszczerbku dla elementów konstrukcyjnych urządzeń będących z nim w bezpośrednim kontakcie.

10.1.2.2. Odsiarczanie chemiczne biogazu

Chemiczne odsiarczanie biogazu w fermentatorze realizowane jest poprzez dodanie do substratu substancji chemicznej wiążącej się z siarką, co uniemożliwia uwalnianie się siarkowodoru. Wśród substancji wykorzystywanych do oczyszczania biogazu znajdują się sole żelaza oraz ruda darniowa. Chemiczne odsiarczanie w fermentatorze znajduje zastosowanie w systemach opartych na fermentacji mokrej.

Tak jak w przypadku odsiarczania biologicznego, oczyszczanie biogazu z siarkowodoru może mieć miejsce także poza fermentatorem, przy użyciu ługu sodowego lub wodorotlenku sodu. Realizacja procesu jest możliwa zarówno w systemach opartych na fermentacji mokrej, jak i suchej. Chemiczne odsiarczanie biogazu poza komorą fermentacyjną zapewnia bardzo wysoki stopień oczyszczenia gazu, nawet powyżej 95%.

Odsiarczanie chemiczne biogazu gwarantuje dobre współczynniki oddzielania oraz zapobiega korozji części komory fermentacyjnej, w której zbiera się gaz. Oczyszczanie chemiczne nie niesie także zagrożenia utlenienia metanu tlenem, obserwowanego podczas odsiarczania biologicznego.

10.1.3. Usuwanie dwutlenku węgla z biogazu

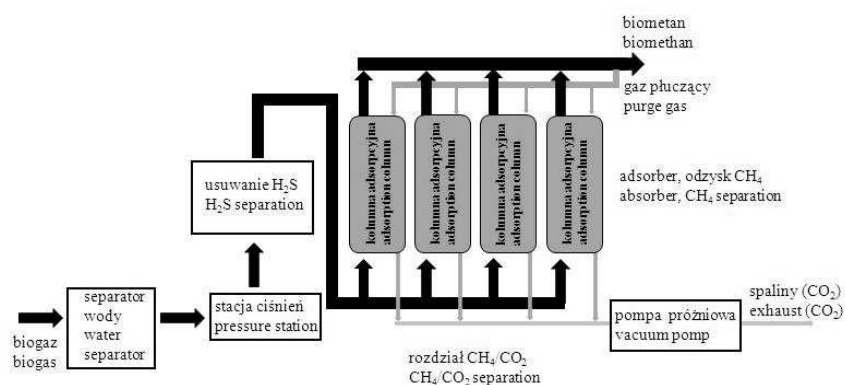
Najbardziej wymagającym pod względem zastosowanej technologii oraz najbardziej kosztownym procesem, mającym na celu oczyszczenie biogazu, jest

oddzielenie dwutlenku węgla od metanu. Wśród stosowanych obecnie metod oczyszczania biogazu z dwutlenku węgla do najpowszechniejszych należą (Piskowska-Wasiak 2014):

- adsorpcja zmiennociśnieniowa (PSA – Pressure Swing Adsorption),
- absorpcja fizyczna: płuczka wodne lub płuczka z zastosowaniem innych rozpuszczalników,
- adsorpcja chemiczna,
- separacja membranowa,
- separacja kriogeniczna.

Zastosowanie odpowiednich technologii oczyszczania biogazu daje możliwość uzyskania gazu o zawartości metanu przekraczającej nawet 99%. Tak oczyszczony biogaz może być następnie zatłaczany do sieci oraz wykorzystywany do produkcji energii. Oczyszczenie biogazu umożliwia stosowanie ogniw paliwowych lub mikroturbin, których wydajność zależy od ilości zanieczyszczeń w biogazie. Z uwagi na duże koszty uzyskania biometanu, wybór technologii oczyszczania biogazu determinowany powinien być celem oraz sposobem jego wykorzystania.

10.1.3.1. Adsorpcja zmiennociśnieniowa



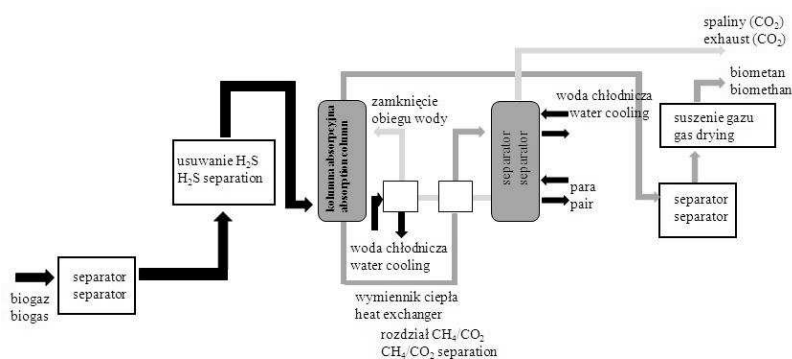
Rys. 12. Schemat technologii PSA (Czysta energia 2009)

Fig. 12. Schematic of PSA technology (Czysta energia 2009)

Proces oczyszczania biogazu z dwutlenku węgla metodą adsorpcji zmiennociśnieniowej PSA (Pressure Swing Adsorption) jest obecnie jednym z najczęściej stosowanych. Schemat technologii PSA prezentuje rysunek 12. Odpowiedni dobór warunków procesu oraz rodzaju absorbentu umożliwia selektywną adsorpcję danego rodzaju cząsteczek gazu na powierzchni ciała stałego. Następnie w procesie desorpcji zaadsorbowanych cząsteczek ulegają uwolnieniu i następuje ich przejście

Metoda absorpcji fizycznej, której przykładem jest płuczka wodna, wykorzystuje różnice rozpuszczalności dwutlenku węgla i metanu w rozpuszczalnikach polarnych. Rozpuszczalność biogazu w wodzie zwiększana jest poprzez podawanie gazu do płuczki pod wysokim ciśnieniem, wynoszącym ok. 10 barów. Rozpylana od góry kolumny woda spływa w dół w przeciwnym kierunku do gazu. W celu zmniejszenia strat metanu odzyskuje się go w zbiorniku odgazowującym pod zmniejszonym ciśnieniem. Podczas regeneracji wody płuczacej w kolumnie regeneracyjnej dwutlenek węgla oraz siarkowodor usuwane są za pomocą powietrza. Cały proces może być powtarzany wielokrotnie, aż do uzyskania odpowiedniej czystości gazu. W końcowym etapie wzbogacony biogaz musi zostać poddany osuszaniu, ponieważ zawiera duże ilości wody w postaci pary. W wyniku zastosowania metody uzyskuje się gaz o stężeniu metanu przekraczającym 96%, przy stratach metanu wahających się w granicach od 1 do 3%. Płuczka wodna jest metodą taną i nieskomplikowaną.

Rolę rozpuszczalnika w procesie absorpcji fizycznej może pełnić także metanol, eter dimetylowi polietylenoglikolu, węgiel propylenowy oraz sulfolan. W związku z wyższą rozpuszczalnością dwutlenku węgla w wymienionych roztworach, ich wykorzystanie zamiast wody umożliwia mniejsze zużycie rozpuszczalnika i mniejsze zapotrzebowanie na energię do zasilania pomp. Schemat płuczki wodnej prezentuje rysunek 13.

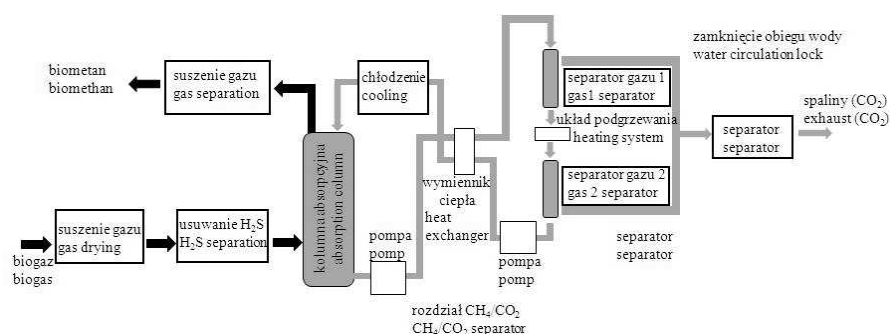


Rys. 13. Schemat płuczki wodnej (Czysta energia 2009)
Fig. 13. Schematic of water scrubber (Czysta energia 2009)

10.1.3.3. Absorpcja chemiczna

Przykładem absorpcji chemicznej jest płuczka aminowa, oparta na procesie absorpcji dwutlenku węgla podczas kontaktu z biogazem. Cieczą absorpcyjną jest alkanoamina. Biogaz w kolumnie absorpcyjnej przepływa od dołu do góry, zaś roztwór pochłaniający w kierunku przeciwnym. Roztwór zawierający aminy absorbuje dwutlenek węgla, a powstały metan przemieszcza się w górę kolumny i dalej na zewnątrz. Po opuszczeniu kolumny absorpcyjnej roztwór zostaje zregenerowany w kolumnie regeneracyjnej i zawracany na kolumnę do ponownego procesu absorpcji. Regeneracja roztworu pochłaniającego przebiega w temperaturze ponad 120°C i wymaga dostarczenia dużej ilości ciepła. Zaletą płuczki aminowej jest wysoka absorpcja i pojemność stosowanych rozpuszczalników, co pozwala na wzbogacenie biometanu nawet powyżej 99% zawartości metanu.

Absorbentami w procesie absorpcji chemicznej dwutlenku węgla mogą być także inne rozpuszczalniki, np. wodne roztwory amoniaku lub węglany metali alkalicznych. Schemat płuczki aminowej prezentuje rysunek 14.



Rys. 14. Schemat płuczki aminowej (Czysta energia 2009)

Fig. 14. Schematic of amine scrubber (Czysta energia 2009)

10.1.3.4. Separacja membranowa

Separacja membranowa realizowana jest przy zastosowaniu filtra przepuszczającego jeden ze składników mieszaniny oraz zatrzymującego inne z powodu różnicy wielkości cząsteczek lub różnego powinowactwa między materiałem membrany a rozdzielanymi składnikami. Separację umożliwia różnica potencjałów chemicznych po obu stronach filtru będąca wynikiem różnicy ciśnienia, stężenia, temperatury lub potencjału elektrycznego. Dobrze rozpuszczalne i małe cząsteczki przenikają szybciej niż cząsteczki duże. Wprowadzony pod ciśnieniem

do modułu membranowego strumień biogazu zanieczyszczony dwutlenkiem węgla ulega rozdziłowi na strumień bogaty w dwutlenek węgla, odbierany pod niższym ciśnieniem oraz strumień pozbawiony zanieczyszczeń, odbierany pod wyższym ciśnieniem. W dużych instalacjach do oczyszczania biogazu wydajność pojedynczej membrany jest zbyt mała, dlatego stosuje się układy szeregowo połączonych pojedynczych membran. W zależności od ilości użytych membran zawartość metanu w biogazie może zawierać się w granicach od 92 do 98%, przy stracie metanu sięgającej 2%.

10.1.3.5. Separacja kriogeniczna

Oczyszczanie biogazu z dwutlenku węgla poprzez separację kriogeniczną umożliwia różnica zakresów temperatur, w których składniki biogazu ulegają skropleniu. Schłodzenie do wymaganej temperatury oraz kompresja surowego biogazu umożliwiają wykroplenie dwutlenku węgla oraz jego oddzielenie od pozostałego gazu. Separacja kriogeniczna odbywa się w niskiej temperaturze, wynoszącej około -90°C oraz pod wysokim ciśnieniem o wartości około 40 barów. Proces separacji kriogenicznej umożliwia uzyskanie biometanu o zawartości metanu przekraczającej 95%, a ponieważ odbywa się bez udziału środków chemicznych, stanowi technikę przyjazną dla środowiska.

10.2. Wzbogacanie biogazu

Mniej kosztownym niż oczyszczanie sposobem uzyskania biogazu o parametrach umożliwiających bezpieczne jego zatłaczanie do sieci przemysłowej jest uzdatnianie gazu. Proces uzdatniania realizowany jest poprzez mieszanie nieoczyszczonego biogazu z innym gazem o lepszych parametrach energetycznych i mniejszej zawartości zanieczyszczeń, np. gazem propan-butan lub gazem ziemnym.

11. MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA BIOGAZU

Wyprodukowany w biogazowni biogaz można wykorzystać na wiele sposobów, m.in. (Szlachta 2009):

- do produkcji energii elektrycznej,
- do produkcji energii cieplnej,
- do produkcji energii elektrycznej i cieplnej,
- do wtłoczenia do sieci gazowej,
- jako paliwo do silników trakcyjnych lub pojazdów,
- w procesach technologicznych, np. w produkcji metanolu.

11.1. Energetyczne wykorzystanie biogazu

Energetyczne wykorzystanie biogazu opiera się na jednoczesnym wykorzystaniu energii elektrycznej i ciepła, wytworzonych w agregatach kogeneracyjnych. Około 9% produkcji wykorzystywane jest przez biogazownię na jej własne potrzeby (mieszadła, pompy, układ sterowania, oświetlenie), zaś reszta przekazywana jest do sieci elektroenergetycznej. Ogrzewanie komory fermentacyjnej pochłania od 25 do 40% energii cieplnej produkowanej podczas procesu technologicznego, zaś nadwyżka ciepła wykorzystywana jest przez właściciela biogazowi lub sprzedawana. Zakupiona przez lokalnych odbiorców energia cieplna znajduje zastosowanie do ogrzewania budynków, suszenia ziarna, drewna lub peletów. Konsekwencją budowania biogazowi w znacznej odległości od terenów zabudowanych jest niezadawalający poziom wykorzystania wytworzonego w nich ciepła. Rozwiązaniem umożliwiającym zwiększenie efektywności wykorzystania oczyszczonego biogazu jest jego wtłoczenie do sieci gazowej oraz bezpośrednie doprowadzenie go do miejsc, w których energia elektryczna i cieplna wykorzystywane są z jednostek kogeneracyjnych (Holewa i in. 2012). Zatłaczanie biogazu do sieci przemysłowej pozwala na uniknięcie strat energii i stanowi jedno z rozwiązań wzmocnienia rynku biogazu. Jeśli lokalizacja biogazowi uniemożliwia bezpośrednie wtłoczenie gazu do sieci dystrybucji, alternatywą jest dostarczenie biometanu do punktu zatłaczania gazu do sieci lub bezpośrednio do odbiorcy w postaci sprężonej bądź ciekłej przy użyciu cystern CBG (ang. Compressed BioGas) lub LBG (ang. Liquid BioGas) (BioMaster 2013).

11.2. Wprowadzenie biometanu do sieci

Dystrybucja biogazu może być realizowana poprzez wtłaczanie go do krajowej sieci gazowej po uprzednim jego oczyszczeniu i uszlachetnieniu do biometanu. Obowiązujące regulacje pozwalają na wtłaczanie do sieci przemysłowej biometanu nie zawierającego substancji szkodliwych dla infrastruktury gazowej, o składzie odpowiadającym składowi przesyłanego gazu ziemnego.

11.2.1. Skład i rodzaje gazu ziemnego

Gaz ziemny jest paliwem kopalnym pochodzenia organicznego (Gaz ziemny 2014). Jego pokłady występują samodzielnie lub towarzyszą złożom ropy naftowej bądź węgla kamiennego. Gaz ziemny jest gazem bezwonnym i bezbarwnym o gęstości mniejszej od gęstości powietrza. Zawartość składników gazu ziemnego jest zmienna i zależy od miejsca wydobywania. Głównym jego składnikiem jest metan, stanowiący ponad 90% objętości gazu, zaś pozostałymi składnikami gazu ziemnego są, występujące w niewielkich ilościach, etan, propan, butan i inne

związki organiczne oraz mineralne. Przykładowe zawartości poszczególnych składników w gazie ziemnym przedstawia tabela 10.

Tabela 10. Przykładowa zawartość składników w gazie ziemnym (Enbridge 2014)

Table 10. Composition of natural gas (Enbridge 2014)

Składnik gazu ziemnego – Natural gas component	Zawartość – Content (%)
metan – methane	95
etan – ethane	2,5
propan – propane	0,2
butan – butane	0,06
dwutlenek węgla – carbon dioxide	0,7
azot – nitrogen	1,6
siarkowodor, woda i inne hydrogen sulphide, water and other components	śladowe ilości – trace amounts

Z uwagi na różną zawartość poszczególnych składników w gazie ziemnym, istnieje kilka kryteriów jego podziału (Gaz ziemny 2014). Ze względu na zawartość metanu rozróżnia się gaz ziemny:

- suchy (zawartość metanu powyżej 90%),
- mokry (zawartość metanu 75%).

Ze względu na zawartość azotu, gazy ziemne dzieli się na:

- bezazotowe (zawartość azotu poniżej 1-3%),
- niskoazotowe (zawartość azotu w granicach 3-10%),
- zaazotowane (zawartość azotu powyżej 10%).

W zależności od zawartości siarkowodoru (siarki) rozróżnia się gazy ziemne:

- małosiarkowe (zawartość siarkowodoru poniżej 0,3%),
- siarkowe (zawartość siarkowodoru w granicach 0,3-3%),
- wysokosiarkowe (zawartość siarkowodoru powyżej 3%).

11.2.2. Wymagania dotyczące jakości gazów ziemnych w sieci przemysłowej

Gaz ziemny wydobywany ze złoża poddawany jest procesowi oczyszczenia przed wtłoczeniem do sieci przemysłowej, gdyż spalanie surowego gazu ziemnego zawierającego siarkę powoduje, niebezpieczną dla środowiska, emisję dwutlenku siarki do atmosfery. Ze względu na tendencję do skraplania się, niektóre węglowodory wchodzące w skład gazu ziemnego (etan, propan, butan) nie mogą być tłoczone gazociągami. W surowym gazie ziemnym występują też m.in. para wodna, hel, dwutlenek węgla i resztki ropy, których obecność w sieci przemysłowej jest niepożądana. Oczyszczanie gazu ziemnego obejmuje szereg procesów, wśród których znajdują się: osuszanie, odsiarczanie, odazotowanie, oczyszczanie

z dwutlenku węgla, odręćcianie oraz odgazolinowanie (Gmiński i Polak 2007). Obecnie istnieje na świecie wiele technologii oczyszczania gazu ziemnego (Gmiński i Polak 2007, Pokrzywniak i Nagy 2009).

Zgodnie z polską normą PN-C-04750:2011 (PN-C-04750:2011), gaz ziemny dzieli się na dwie grupy: gaz ziemny wysokometanowy E i gaz ziemny zaazotowany L. Wśród gazów ziemnych zaazotowanych wyróżnia się cztery podgrupy: Lm, Ln, Ls i Lw.

Tabela 11. Wymagania dotyczące jakości przesyłanego gazu ziemnego (PN-C-04752:2011)

Table 11. Parameters of the natural gas in gas grid

Wyszczególnienie (jednostka) Specification (unit)	Rodzaj gazu ziemnego Kind of natural gas	
	wysokometanowy high-methane E	zaazotowany high-nitrogen Lw
ciepło spalania ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$) heat of combustion	38-41,6	30-33,5
zakres zmienności liczby Wobbego ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$) Wobbe number range	45-56,9	37,5-45
zawartość siarkowodoru, ($\%\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) content of hydrogen sulphide	$\leq 7,0$	
zawartość tlenu ($\%\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) content of oxygen	$\leq 0,2$	
zawartość dwutlenku węgla ($\%\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) content of carbon dioxide	$\leq 3,0$	
zawartość par rtęci ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) content of mercury vapour	$\leq 30,0$	
temperatura punktu rosy wody dla 5,5 MPa od 1 kwietnia do 30 września dew point temperature for 5.5 MPa from 1st April till 30th September ($^{\circ}\text{C}$)	$\leq +3,7$	
temperatura punktu rosy wody dla 5,5 MPa od 1 października do 31 marca dew point temperature for 5.5 MPa from 1st October till 31st March ($^{\circ}\text{C}$)	$\leq -5,0$	
temperatura punktu rosy węglowodanów ($^{\circ}\text{C}$) carbohydrate dew point	0	
zawartość pyłu o średnicy cząstek większej niż $5\mu\text{m}$ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) content of dust with particle size above $5\mu\text{m}$	$\leq 1,0$	
zawartość siarki całkowitej ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) total sulphur content	$\leq 40,0$	
zakres zmienności temperatury paliwa gazowego wprowadzanego do sieci przemysłowej ($^{\circ}\text{C}$) temperature range of gas fuel supplied to industrial network	0-50	

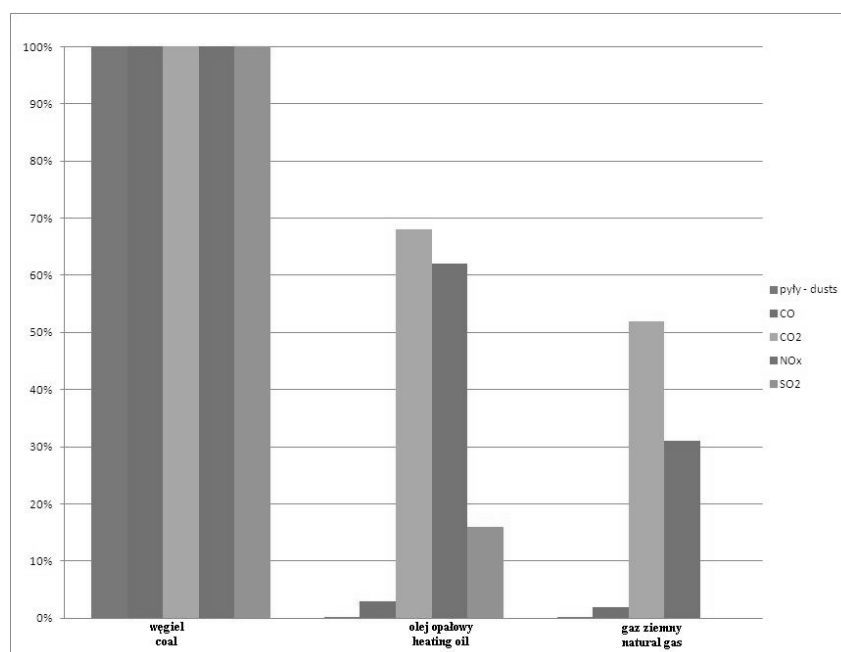
W polskich sieciach dystrybucyjnych rozprowadzane są 3 rodzaje gazu:

- gaz ziemny wysokometanowy E,
- gaz ziemny zaazotowany Lw,
- gaz ziemny zaazotowany Ls.

Parametrami jakościowymi gazu ziemnego są (Gaz ziemny 2014):

- ciepło spalania ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$) – ilość energii oddawanej do otoczenia na sposób ciepła w czasie spalania określonej ilości substancji w ustalonych warunkach,
- liczba Wobbe ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$, $\text{MJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) – stosunek wartości kalorycznej odniesionej do jednostki objętości gazu do pierwiastka kwadratowego jego gęstości względnej, w tych samych warunkach odniesienia oraz
- temperatura punktu rosy lub punkt rosy ($^{\circ}\text{C}$) – temperatura, w której może rozpocząć się proces skraplania gazu lub wybranego składnika mieszaniny gazu przy ustalonym ciśnieniu, a w przypadku mieszaniny gazów, również przy określonym składzie.

Wymagania dotyczące jakości gazu ziemnego, przesyłanego pod wysokim ciśnieniem gazociągami oraz przekazywanego z sieci przesyłowej do sieci rozdzielczych lub do odbiorców przemysłowych w Polsce, określone w polskiej normie PN-C-04752:2011 (PN-C-04752:2011), przedstawia tabela 11. Spalanie gazu ziemnego powoduje emisję znacznie mniejszej ilości tlenków azotu, tlenku siarki, rtęci oraz dwutlenku węgla, w porównaniu z węglem i olejem opalowym (rys. 15).



Rys. 15. Procentowy udział w emisji zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego w wyniku spalania różnych rodzajów paliw kopalnych (OSM 2014)

Fig. 15. Percentage share in the emission of contaminants to the atmospheric air from the burning of fossil fuels (OSM 2014)

Emisja CO₂ ze spalania gazu jest o ok. 30% mniejsza niż ze spalania ropy oraz do 50% mniejsza niż w przypadku węgla kamiennego. Emisja dwutlenku węgla jest główną przyczyną efektu cieplarnianego, zatem, spośród wymienionych paliw kopalnych, gaz ziemny jest najbardziej przyjazny dla środowiska.

11.2.3. Mieszanki gazu ziemnego i biometanu

Alternatywnym rozwiązaniem może być mieszanie oczyszczonego biogazu zawierającego dwutlenek węgla i azot z gazem ziemnym, przy czym zawartość gazu ziemnego w mieszaninie powinna zawierać się w przedziale 5-10% zawartości biogazu. Technologie mieszania biometanu z gazem ziemnym są opracowywane i wdrażane m.in. w Niemczech, Dani i Finlandii (Jonson i in. 2003, Rasi i in. 2007). Przed rozpoczęciem procesu mieszania gazów, surowy biogaz poddawany jest oczyszczeniu, a następnie procesowi konwersji do biometanu. Otrzymana mieszanina gazów posiada wymagane parametry gazu sieciowego, jednak wyższa zawartość dwutlenku węgla stanowi problem ze względu na limity emisji CO₂. Podwyższona zawartość dwutlenku węgla w mieszaninie biogazu i gazu ziemnego zawęża granice wybuchowości mieszaniny (Dupont i Accorsi 2006).

Przeprowadzone przez Kostowskiego i Górnego (2010) badania mieszaniny trzech rodzajów biogazu rolniczego z gazem ziemnym wysokometanowym wykazują możliwość uzyskania odpowiedników gazu ziemnego z zachowaniem normatywnych parametrów gazu. Wyższa zawartość dwutlenku węgla w mieszaninach, w porównaniu z gazem ziemnym, prowadzi do zwiększonej emisji CO₂, jednak emisja ta jest znacznie mniej szkodliwa od emisji metanu, występującej w przypadku niezastosowania biogazu.

11.2.4. Technologie wtłaczania biometanu do sieci

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 lipca 2001 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe (Dz. U. 2001 Nr 97, poz. 1055) pod względem maksymalnego ciśnienia roboczego, rozróżnia następujące rodzaje gazociągów: gazociągi niskiego ciśnienia (do 10 kPa włącznie), gazociągi średniego ciśnienia (powyżej 10 kPa do 0,5 MPa włącznie), gazociągi podwyższonego średniego ciśnienia (powyżej 0,5 MPa do 1,6 MPa włącznie) oraz gazociągi wysokiego ciśnienia powyżej 1,6 MPa do 10 MPa włącznie.

O wyborze sieci gazowej do zatłaczania biogazu decyduje ilość zawartego w nim metanu. Zatłaczanie biogazu do sieci niskiego ciśnienia stanowi rozwiązanie najbardziej praktyczne, jednak zużycie gazu w miesiącach letnich musi być większe niż produkcja biometanu, a niskie rozcieńczenie biogazu w gazie ziemnym niesie konieczność bardziej kompleksowej kontroli jakości i zwiększa koszty monitoringu. Zatłaczanie do sieci średniego ciśnienia umożliwia mniej restrykcyjną kontrolę

jakości biometanu, a objętość gazu ziemnego w gazociągu pozwala na odpowiednie rozcieńczenie biogazu. Ciśnienie w gazociągach średniego ciśnienia jest porównywalne z ciśnieniami, przy których przeprowadzane są niektóre procesy związane z uszlachetnieniem biogazu. Zatłoczenie do gazociągu wysokiego ciśnienia powoduje duże rozcieńczenie biometanu. Zastosowanie tej technologii prowadzi do obniżenia stopnia kontroli jakości i kosztów monitoringu, jednak wynikające z tego zyski są mniejsze od kosztów sprężania biometanu do tak wysokich ciśnień (BioMaster 2013).

11.2.5. Wtlaczanie biometanu do sieci w krajach europejskich

Dobrze rozwinięta infrastruktura gazu umożliwia jego dystrybucję w większości krajów europejskich. Obecnie nie istnieją międzynarodowe uregulowania prawne określające zakres praw i obowiązków podmiotów zainteresowanych wprowadzaniem biogazu do sieci gazowych oraz ich operatorów. Brak międzynarodowych standardów określających warunki techniczne zatłaczania biogazu do sieci skutkuje brakiem jednolitych przepisów oraz różnymi wymaganiami jakościowymi stawianymi biogazowi w różnych państwach europejskich. Różnice dotyczą zarówno poszczególnych substancji występujących w biogazie, jak i ich limitów. Przykładowo, Polska, Niemcy oraz Francja nie wprowadzają limitów dla zawartości metanu w substytutach gazu ziemnego zatłaczanego do sieci przemysłowej. Szwajcaria, Szwecja i Austria dopuszczają zawartość metanu większą od 96% (Holewa i in. 2012). Dopuszczalna w wymienionych krajach zawartość w biogazie tlenku węgla IV waha się od 2 do 6%. W przypadku siarki całkowitej górna granica jej zawartości w biogazie waha się od 10 mg·m⁻³ w Austrii do 75 mg·m⁻³ we Francji.

Aktualnie, jedynym krajem, w którym biometan wtlaczany jest do sieci gazowej, jest Szwecja. Wielka Brytania i Włochy posiadają wysoki potencjał dający tym krajom możliwość wtlaczania biogazu do sieci przemysłowej w niedalekiej przyszłości. W Polsce, z kolei, istnieją możliwości prawne, jednak dotychczas brak przykładów wdrożenia projektów zatłaczania biometanu do sieci gazowej.

11.3. Wykorzystanie biometanu jako paliwa napędowego

W przypadku braku możliwości wtlaczania biogazu do sieci gazowej, alternatywnym rozwiązaniem jest jego sprężanie i wykorzystanie jako paliwa samochodowego. Atrakcyjność tej metody wykorzystania biometanu wzrasta szczególnie w obliczu obserwowanego w obecnych czasach wzrostu cen benzyny, oleju napędowego oraz LPG. Metan do zasilania silników samochodowych pochodzi zazwyczaj z gazu ziemnego, jednak jego obecność w biogazie umożliwia jego odzyskanie i, po oczyszczeniu, zastosowanie jako paliwa do zasilania aut z zapłonem

iskrowym lub samoczynnym. Jakość i skład chemiczny uzdatnionego i sprężonego do ciśnienia 20-25 MPa biogazu (CBG – ang. Compressed BioGas) są bliskie składowi i jakości paliwa, jakim jest gaz ziemny (CNG). Zatem, zarówno gaz ziemny (CNG), jak i biogaz (CBG), można zamiennie stosować jako paliwo do pojazdów.

W obliczu dyrektyw Unii Europejskiej dotyczących ochrony środowiska oraz pakietu energetyczno-klimatycznego mówiącego o redukcji zużycia energii i ograniczeniu o 20% emisji dwutlenku węgla oraz przyjętych przez Polskę zobowiązań do 15% udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w zużyciu energii do 2020 r., samochody z instalacją napędzaną paliwem CNG lub CBG cieszą się coraz większą popularnością. Zastosowanie CBG zamiast oleju napędowego umożliwia ograniczenie emisji CO₂ od 75 do 200%, zaś zastąpienie nim biopaliw ciekłych (bioetanolu lub biodiesla) ogranicza emisję CO₂ o 30-60%. Silniki zasilane biometanem generują mniejszy hałas, w porównaniu z silnikami zasilanymi innymi paliwami, a ponadto, spalając się całkowicie biometan nie generuje substancji szkodliwych dla zdrowia i nie wydziela sadzy, co ogranicza smog w wielkich aglomeracjach miejskich.

Oprócz aspektu ekologicznego, na podkreślenie zasługuje także aspekt ekonomiczny wykorzystania paliwa z biometanu, wynikający z wyższej wartości energetycznej i liczby oktanowej CBG oraz jego niższej ceny, w porównaniu z benzyną czy olejem napędowym.

Wymogi dotyczące jakości biogazu (CBG) zasilającego silnik samochodowy nie są jednakowe w różnych krajach Unii Europejskiej. Skład biogazu dopuszczonego do zasilania silników w wybranych krajach UE prezentuje tabela 12.

Tabela 12. Wymagania dotyczące zawartości poszczególnych składników biogazu zasilającego silniki w wybranych krajach UE (Wodołański i in. 2011)

Table 12. Requirements concerning the contents of components of biogas used as engine fuel in selected European countries (Wodołański *et al.* 2011)

Składnik Component	Państwo – Country		
	Szwajcaria Switzerland	Niemcy Germany	Szwecja Sweden
CH ₄ (%)	≥ 96		> 97
CO ₂ (%)	≤ 6	< 6	< 3
H ₂ (%)	≤ 5		< 0,5
O ₂ (%)	≤ 0,5	< 3	< 1
H ₂ S (mg·Nm ⁻³)	≤ 5		< 23

Produkcją samochodów zasilanych gazem ziemnym (CNG) zajmuje się obecnie na świecie wiele koncernów. Są wśród nich: Mercedes, Volvo, Ford, Fiat, Volkswagen, Honda oraz Opel. Na świecie używanych jest ok. 7,7 milionów sa-

mochodów, 180 tys. autobusów, 144 tys. ciężarówek i 1 milion innych pojazdów napędzanych metanem CNG oraz CBG (Wodołański i in. 2011). Pojazdy zasilane sprężonym gazem ziemnym można spotkać w USA, Japonii, Argentynie, Brazylii i Iranie. W krajach europejskich zasilanie pojazdów paliwem CNG lub CBG praktykuje się w Niemczech, Francji, Włoszech, Czechach, Rosji, Ukrainie czy Białorusi. Liczba pojazdów zasilanych gazem CBG w Europie determinowana jest produkcją biogazu oraz dostępnością infrastruktury sieci tankowania CNG.

W Polsce działają obecnie 24 ogólnodostępne stacje tankowania CNG. W związku z brakiem instalacji do uzdatniania surowego biogazu do jakości CBG, nie jest on wykorzystywany jako paliwo transportowe. Stację tankowania CNG na terenie Vitkovice Milmet S.A. w Sosnowcu przedstawia rysunek 16 (Stacja CNG 2013).



Rys. 16. Stacja tankowania CNG na terenie Vitkovice Milmet S.A. w Sosnowcu (Stacja CNG 2013)

Fig. 16. The CNG fueling station in Sosnowiec (Stacja CNG 2013)

12. KORZYŚCI Z PRODUKCJI BIOGAZU

Budowa biogazowni rolniczych i produkcja biogazu niesie wiele korzyści. Ze względu na rodzaj podmiotu czerpiącego korzyści z budowy biogazowni dokonano następującego ich podziału:

- korzyści społeczno-gospodarcze,
- korzyści ekonomiczne,
- korzyści środowiskowe.

12.1. Korzyści społeczno-gospodarcze

Argumentami przemawiającym za podjęciem działań mających na celu wsparcie rozwoju biogazowni są korzyści społeczno-gospodarcze. Budowa biogazowni rolniczych oraz wykorzystanie biogazu umożliwia realizację priorytetów polityki energetycznej i rolnej państwa oraz realizację zobowiązania podjętego przez kraje członkowskie Unii Europejskiej do redukcji emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Powstawanie miejsc pracy w nowych biogazowniach oraz wzrost przychodów z tytułu podatków lokalnych stanowią korzyści dla samorządów. Niewątpliwą korzyścią płynącą z budowy biogazowni dla przedsiębiorców z gałęzi przemysłu spożywczego jest zagospodarowanie odpadów objętych obowiązkiem utylizacji, generowanych w procesie produkcyjnym. Beneficjentami korzyści oraz częstymi inwestorami w budowie biogazowni są także przedsiębiorcy rolni. Współpraca z biogazownią umożliwia im zagospodarowanie odchodów zwierzęcych lub wymusza ukierunkowanie produkcji roślinnej na celową uprawę roślin. Wśród korzyści społecznych wynikających z wykorzystania biogazu wyprodukowanego na terenie lokalnych biogazowni są także korzyści środowiskowe, których beneficjentem jest całe społeczeństwo.

Obecność biogazowni w regionie zwiększa jego atrakcyjność ekonomiczną, przyczyniając się do wzrostu prawdopodobieństwa pojawienia się w okolicy inwestycji przemysłowej zainteresowanej dostarczaniem substratów lub wykorzystaniem energii cieplnej z instalacji biogazowni. Inną korzyścią wytwarzania biogazu w regionie jest zapewnienie dostaw energii i nawozów.

12.2. Korzyści ekonomiczne

Głównymi korzyściami ekonomicznymi płynącymi z budowy biogazowni są dla inwestorów przychody uzyskane z tytułu sprzedaży wytworzonej energii elektrycznej i cieplnej oraz sprzedaży odpadów pofermentacyjnych w formie nawozu. Produkcja tzw. zielonej energii wiąże się z możliwością uzyskiwania świadectw pochodzenia za produkcję energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii, które również mogą przynieść inwestorom korzyści finansowe.

Produkcja biogazu umożliwia redukcję ilości składowanych odpadów oraz związanych z tym kosztów przechowywania i transportu.

W przypadku gdy inwestorem jest przedsiębiorca rolny, posiadający pola uprawne wymagające nawożenia, dodatkową korzyścią może być dla niego wykorzystanie masy pofermentacyjnej oraz uniknięcie wydatków na zakup nawozów mineralnych. Inną możliwością czerpania zysków z biogazowni jest użycie energii cieplnej, powstającej w produkcji energii elektrycznej do suszenia drewna lub ziaren zbóż, ogrzewania chlewni, pomieszczeń gospodarskich i mieszkalnych.

Źródłem dochodów są również opłaty z tytułu przyjęcia do utylizacji odpadów niebezpiecznych oraz organicznych (Curkowski i in. 2011a).

12.3. Korzyści środowiskowe

Wykorzystanie gnojowicy i nieprzetworzonego obornika na cele nawozowe powoduje emisję do atmosfery metanu i dwutlenku węgla, odpowiedzialnych za efekt globalnego ocieplenia. Wykorzystanie biogazu do produkcji energii pozwala na zmniejszenie stopnia emisji metanu i innych gazów cieplarnianych z odchodów pochodzenia zwierzęcego. Spalanie biogazu obniża stukrotnie emisję dwutlenku siarki i trzykrotnie emisję tlenków azotu do atmosfery, w porównaniu z emisją wynikającą ze spalania paliw kopalnych, co ogranicza powstawanie kwaśnych deszczy, niszczących lasy i powodujących korozję budynków.

Płynna konsystencja, brak nasion chwastów oraz zawartość dobrze przyswajalnego przez rośliny azotu amonowego w opadach pofermentacyjnych czynią je nawozem bardziej wartościowym niż gnojowica lub obornik surowy. Możliwość wykorzystania masy pofermentacyjnej na cele nawozowe determinowana jest dostępnością pól uprawnych, które powinny znajdować się w najbliższym sąsiedztwie biogazowni.

Właściwości odorowe nieprzetworzonych odchodów zwierzęcych stanowią zagrożenie dla zdrowia i samopoczucia lokalnej społeczności zamieszkującej w pobliżu biogazowni. Produkcja biogazu umożliwia znaczną redukcję emisji odorów wydzielanych podczas naturalnego rozkładu odchodów zwierzęcych rozrzuconych na polach. Ze względu na wysoką korozyjność, gazy te usuwane są z biogazu poprzez biologiczne odsiarczanie przed jego spalaniem w agregacie kogeneracyjnym.

Trafiające bezpośrednio do środowiska odpady organiczne stanowią źródło patogenów wywołujących choroby u ludzi i zwierząt. Wysoka temperatura w komorze fermentacyjnej umożliwia zabicie mikroorganizmów chorobotwórczych zawartych w substracie oraz uzyskanie pulpy pofermentacyjnej pozbawionej patogenów. W przypadku wykorzystania w biogazowni odpadów wysokiego ryzyka epidemiologicznego, przed podaniem do komory fermentacyjnej oraz przed wykorzystaniem masy pofermentacyjnej na cele nawozowe, substrat poddawany jest sanitacji.

Pomimo proekologicznego charakteru biogazowni, możliwość ich budowy powinna być rozpatrywana pod kątem wpływu na środowisko, szczególnie na terenach chronionych lub o dużych walorach przyrodniczych. Pomimo stosowania w biogazowniach technologii mających na celu redukcję efektów odorowych oraz hałasu związanego z transportem substratów lub pracą urządzeń, efekty te wciąż są źródłem niedogodności wynikających z obecności biogazowni w sąsiedztwie.

13. MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ODPADÓW POFERMENTACYJNYCH

Podczas produkcji biogazu po fermentacji pozostają organiczne resztki pofermentacyjne, które składają się zarówno ze stałych, jak i ciekłych składników. W zależności od zastosowanego do produkcji biogazu substratu, zawartość wody w pulpie pofermentacyjnej waha się od 90 do 97%. W skład odpadów pofermentacyjnych wchodzi woda, nieprzefermentowana materia organiczna i zmineralizowana substancja, taka jak azot, fosfor, potas, wapń itp. (zazwyczaj w ilości początkowej), a także metale ciężkie.

Istnieje wiele sposobów wykorzystania pulpy pofermentacyjnej, wśród których najczęściej wymienia się:

- wykorzystanie materiału pofermentacyjnego do fermentacji wtórnej,
- produkcję nawozu,
- produkcję peletów na cele grzewcze.

Materia organiczna w odpadzie nigdy nie jest całkowicie przefermentowana. Zamknięcie zbiornika pofermentacyjnego gazoszczelnym przykryciem pozwala na uzyskanie dodatkowej ilości biogazu, mogącej wynosić do 20% jego całkowitej produkcji.

Resztę pofermentacyjną wykorzystuje się z reguły jako nawóz, jednak aby mogła być ona rozproszona na powierzchni ziemi w celu nawożenia lub ulepszenia gleby, musi spełniać wymogi określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 5 kwietnia 2011 roku. Dotyczy ono procesu odzysku R10, czyli obróbki na powierzchni ziemi przynoszącej korzyści dla rolnictwa lub poprawę stanu środowiska (Dz. U. 2011 Nr 86 poz. 476).

Stosowanie odchodów zwierzęcych jako nawozów w agrotechnice reguluje Ustawa z dnia 10 lipca 2007 roku o nawozach i nawożeniu (Dz. U. 2007 Nr 147, poz. 1033). Ogranicza ona dawki azotu i określa terminy stosowania nawozów naturalnych. Dodatkowo, określa wymogi dotyczące infrastruktury w ich przechowywaniu.

Otrzymane w wyniku procesu produkcji biogazu nieprzetworzone odpady pofermentacyjne wykorzystać można w celach nawozowych, rozrzucając je na łąkach i polach.

Po poddaniu przefermentowanej biomasy dodatkowej obróbce, otrzymać można pełnowartościowy nawóz organiczny. Odpady stanowią wysokowartościowy nawóz zawierający pierwiastki biogenne w formie łatwo przyswajalnej dla roślin. Jest to nawóz o mniejszych, w porównaniu do nawozów naturalnych, emisjach zapachu. Jest on także bardziej bezpieczny dla roślin niż gnojowica, która może powodować wypalanie roślin (Wiese i Kujawski 2006).

Cechami odpadów pofermentacyjnych z produkcji biogazu, czyniącymi je materiałami odpowiednimi do nawożenia upraw polowych i użytków zielonych, są (Kowalczyk-Juśko 2010):

- lepsze wykorzystanie składników przez rośliny,
- zniszczenie nasion chwastów (co ogranicza koszty związane z użyciem chemicznych środków ochrony roślin),
- eliminacja patogenów i zarazków chorobotwórczych,
- zmniejszenie ryzyka zanieczyszczenia wód gruntowych i powierzchniowych, głównie związkami azotu i fosforu oraz zarazkami, które występują w odchodach zwierzęcych,
- zmniejszenie eutrofizacji wód.

Przefermentowany substrat zazwyczaj jest usuwany z bioreaktora w wyniku odpływu poprzez przelew lub za pomocą pomp. Transportuje się go do zbiornika odpadów pofermentacyjnych, gdzie jest schładzany i przechowywany do czasu wywózki. Na tym etapie możliwe jest także oddzielenie frakcji płynnej od stałej. Rozdzielenia frakcji dokonuje się metodami fizycznymi (sedymentacja, suszenie, filtracja membranowa), mechanicznymi (taśmowe prasy filtracyjne, wirówki, separatory ślimakowe i śrubowe) lub metodą termiczno-ciśnieniową (odparowanie).

Frakcja płynna zawiera około 20% fosforu i 80% azotu. Zagęszczenie jej poprzez dodanie mikroelementów lub rozdrobnionego dolomitu umożliwia otrzymanie nawozu w postaci sypkiej (Łucka i in. 2011). Frakcja płynna może być także rozlewana jako nawóz płynny albo wykorzystywana do przygotowania zacieru przedfermentacyjnego.

Innym sposobem wykorzystania fazy płynnej jest jej rozcieńczenie z wodą deszczową w proporcji 1:1 oraz zastosowanie jej jako wody technologicznej.

Odpady pofermentacyjne o zawartości wody od 15 do 20% mogą być wykorzystywane do produkcji peletów na cele grzewcze. Wartość opałowa peletów powstałych z kiszonki z kukurydzy, pomiotu kurzego, słomy lub z gnojowicy świńskiej wynosi $15 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, przy wilgotności 9,9% (Łucka i in. 2011) i jest niewiele mniejsza od wartości opałowej peletów z drewna świerkowego – $16,3 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ przy wilgotności 12%.

Innowacyjnym rozwiązaniem, umożliwiającym wykorzystanie odpadów pofermentacyjnych z biogazowni rolniczych, jest polska technologia FuelCal (FuelCal 2014). Jej produktem końcowym jest nawóz organiczno-mineralny OrCal, działający biostymulująco na rozwój roślin. W technologii tej materiał pofermentacyjny przetwarzany jest bezzwłocznie na terenie biogazowni w urządzeniach przetwórczych będących elementami linii technologicznej. Technologia FuelCal ogranicza wylewanie gnojowicy na terenach z ujęciami wody pitnej oraz na terenach o wysokich wartościach turystycznych i rekreacyjnych.

Przefermentowana biomasa może być wywożona na pola w postaci półpłynnej lub w postaci osadu. W zależności od typu uprawy i składu odpadu, zagospodarowanie resztek pofermentacyjnych biogazowni o mocy 1 MW wymaga powierzchni upraw wynoszącej ok. 500-800 ha. Dużą niedogodnością w wykorzystaniu odpadów do celów nawozowych jest sezonowa możliwość rozprowadzania ich po polach, trwająca od 1 marca do 30 listopada. Ograniczenie to niesie konieczność składowania dużej ilości materiału pofermentacyjnego w zbiornikach magazynowych, zlokalizowanych na terenie biogazowni lub w jej sąsiedztwie.

Do magazynowania masy pofermentacyjnej wykorzystuje się (Łucka i in. 2011):

- zbiorniki żelbetonowe,
- laguny,
- płyty żelbetonowe (na masę odwirowaną),
- opakowania jednostkowe (dla masy w postaci granulatu).

Wielkość zbiornika magazynowego lub laguny uzależniona jest od wielkości komór fermentacyjnych. W dużych biogazowniach, o mocach rzędu 1-2 MW, wymagane pojemności lagun wynoszą ponad 20 000 m³.

Sposobem pozwalającym na zmniejszenie wymaganej objętości zbiorników na odpady pofermentacyjne oraz umożliwiającym redukcję kosztów związanych z rozrzucaniem pozostałości na polach jest zmniejszenie ilości odpadów pofermentacyjnych.

Jedną z metod zmniejszania objętości resztek jest zastosowanie technologii separacji membranowej (BioPolinex 2014). Opiera się ona na zasadzie mikrofiltracji i ultrafiltracji, które pozwalają na zmniejszenie objętości odpadów pofermentacyjnych i zwiększenie stężenia substancji odżywczych. Oczyszczona woda odprowadzana jest do zbiorników otwartych, natomiast pozostały koncentrat może zostać rozrzucony na polach. Odparowanie wiąże się z dużym wydatkiem energii cieplnej, jednak w większości biogazowni występuje nadmiar energii cieplnej, dlatego suszenie masy pofermentacyjnej nie powinno sprawiać trudności.

Suszenie odpadów pofermentacyjnych także stanowi rozwiązanie problemu ich składowania. Suszenie lub granulowanie ciśnieniowe masy pofermentacyjnej ułatwia jej przechowywanie i transport, niszczy patogeny i umożliwia całkowitą redukcję odorów.

W większość biogazowni rolniczych podstawowym substratem jest gnojowica, której skład chemiczny ulega istotnym zmianom w wyniku fermentacji metanowej. Skutkiem fermentacji jest spadek zawartości substancji organicznej oraz wzrost zawartości azotu i związków mineralnych w przefermentowanej masie, w porównaniu z biomasą stanowiącą substrat procesu produkcji biogazu. Fermentacja gnojowicy powoduje wzrost zawartości azotu amonowego w mieszaninach osadów ściekowych i gnojowicy (Margel 2004). Forma amonowa azotu jest łatwiej przyswajalna przez rośliny i mniej narażona na wymywanie do wód powierzchniowych

i gruntowych, w związku w czym fermentacja gnojowicy wpływa na poprawę warunków nawożenia pól uprawnych i zmniejsza ryzyko eutrofizacji wód. Przefermentowana gnojowica ma zatem wiele zalet ekologicznych. Porównanie zawartości makro- i mikroskładników oraz zawartości składników w suchej masie naturalnej gnojowicy surowej oraz przefermentowanej gnojowicy pokazują tabele 13 i 14 (Korycińska 2009).

Tabela 13. Zawartość makro- i mikroskładników w suchej masie naturalnej i przefermentowanej gnojowicy (Korycińska 2009)

Table 13. Contents of macro- and microelements in natural dry matter and fermented slurry (Korycińska 2009)

Pierwiastki Element	Gnojowica – Slurry		
	bydlęca cattle	trzody chlewnej swine	przefermentowana fermented
Fosfor – Phosphorus ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	8,4	28,0	13,5
Potas – Potassium ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	44,7	75,5	67,1
Wapń – Calcium ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	20,6	32,1	31,0
Magnez – Magnesium ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	9,3	14,4	7,6
Siarka – Sulphur ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	5,1	–	4,6
Żelazo – Iron ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	1970	2080	3600
Mangan – Manganese ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	180	358	289
Cynk – Zinc ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	164	1156	349
Miedź – Copper ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	51	282	94
Molibden – Molybdenum ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	5,5	5,3	4,9

Tabela 14. Zawartość procentowa składników w masie organicznej naturalnej i przefermentowanej gnojowicy (Korycińska 2009)

Table 14. Percentage content of components in natural dry matter and fermented slurry (Korycińska 2009)

Pierwiastek Element	Gnojowica – Slurry	
	naturalna – natural	przefermentowana – fermented
Węgiel – Carbon	57,96	48,13
Wodór – Hydrogen	8,32	6,52
Tlen – Oxygen	27,48	39,83
Azot – Nitrogen	6,15	5,42
Siarka – Sulphur	0,09	0,00
C/N	9,46	9,89

14. ENERGETYKA BIOGAZOWA W ŚWIECIE

Stopień rozwoju energetyki biogazowej w różnych krajach na świecie jest bardzo niejednorodny. Zróżnicowanie rozwoju wynika zarówno z różnej ilości instalacji, jak i stopnia ich skomplikowania.

14.1. Instalacje biogazowe w krajach spoza Unii Europejskiej

Największa ilość biogazowni znajduje się w Azji. W Chinach funkcjonuje ich sześć do siedmiu milionów, zaś liczbę biogazowni w Indiach szacuje się na około milion (Szczypko 2008). Biogazownie działają także w wielu innych krajach azjatyckich (Wietnam, Tajlandia). Większość tych biogazowni stanowią instalacje przydomowe o bardzo prostej konstrukcji, o niewielkich rozmiarach, działające w oparciu o podziemne, nieizolowane komory fermentacyjne. Substratami wykorzystywanymi w procesie fermentacji metanowej są najczęściej nawóz zwierzęcy i resztki organiczne z gospodarstw domowych. Powstały biogaz wykorzystywany jest na potrzeby własne gospodarstw do oświetlenia pomieszczeń i gotowania, zaś wywiezione na pola odpady pofermentacyjne pełnią funkcję nawozu.

Dynamiczny rozwój biogazowni obserwuje się także w Japonii i Korei Południowej, gdzie w ostatnich latach powstało wiele nowoczesnych biogazowni rolniczych opartych na technologiach opracowanych i wykorzystywanych w krajach europejskich. Instalacje biogazowe w Japonii obejmują zarówno duże scentralizowane biogazownie, jak i małe biogazownie funkcjonujące przy gospodarstwach rolniczych.

Rozwój biogazowni w Australii i Oceanii jest obecnie wciąż na wczesnym etapie rozwoju. Jedyną na terenie Australii, działającą na skalę przemysłową biogazownią, jest ferma świń Blantyre Farms, produkująca biogaz z obornika świńskiego (Doan 2009). 90% energii elektrycznej wytworzonej z biometanu zaspakaja potrzeby fermy, zaś reszta energii sprzedawana jest do sieci państwowej. W Północnej Wiktorii istnieją dwie biogazownie o mocy 1.1 MW.

Opóźnieniem w rozwoju technologii biogazowych, w stosunku do światowej czołówki, charakteryzują się także kraje obu Ameryk. Pomimo akcji rządowych mających na celu aktywowanie tego sektora energetyki w Ameryce Południowej, dotychczas nie udało się doprowadzić inwestycji do skutku. Przyczyną braku skuteczności w realizacji zamierzonych celów są wysokie koszty budowy biogazowni i brak środków finansowych.

W wyniku działań rządu federalnego Stanów Zjednoczonych, zachęającego do korzystania z technologii odzysku metanu, obserwuje się wzrost zainteresowania technologiami biogazowymi w tym kraju. Projekty ich budowy pozostają jednak dotychczas w fazie planowania.

14.2. Instalacje biogazowe w krajach Unii Europejskiej

Najbardziej zaawansowane rozwiązania w technologiach biogazowych funkcjonują na terenie Europy. Szacuje się, że na terenie Unii Europejskiej istnieje kilka tysięcy biogazowni, z czego najwięcej znajduje się w Niemczech (około

2000) oraz Danii (45 biogazowni indywidualnych i 20 dużych biogazowni scentralizowanych) (Szczytko 2008). Pierwsze inwestycje na dużą skalę zostały podjęte w byłej NRD i w Danii już w połowie lat 80. Obecnie, na terenie tych krajów funkcjonuje wiele małych, średnich i dużych biogazowni. Obsługą dużych scentralizowanych obiektów zajmują się spółdzielnie rolnicze, tworzone przez kilkadziesiąt gospodarstw. Możliwości przerobowe odpadów rolniczych w tych obiektach wynoszą kilkaset ton dziennie, zaś produkcja biogazu sięga od kilkuset kW do kilkuset MW. Najwięcej biogazowni scentralizowanych funkcjonuje na terenie Danii, zaś biogazownie indywidualne występują powszechnie w Niemczech, Portugalii i Szwajcarii.

Przykładem scentralizowanej biogazowni w Danii, będącej jedną z największych biogazowni w świecie, jest instalacja w Lemvig. Podstawowym składnikiem wsadu jest gnojowica, pochodząca od 80 dostawców stałych oraz kilkunastu sezonowych. Dziennie do zbiorników przechowywania wstępnego trafia do 400 ton gnojowicy bydła, trzody chlewnej, kur i norek. Pozostałymi substratami są odpady z rzeźni, odpady z przemysłu rybnego, osad z oczyszczalni ścieków i odpady przemysłu mleczarskiego. Łączna pojemność zbiorników fermentacyjnych w biogazowni w Lemvig wynosi 7600 m³. Rozkład biomasy odbywa się w fermentatorach, w warunkach termofilnych (temperatura 52,2°C) przez okres 2-3 dni. Następnie, przefermentowana biomasa poddawana jest procesowi sanitacji przez okres 10 godzin i kierowana do zbiornika na odpady pofermentacyjne, gdzie zachodzi proces wtórnej fermentacji. Wyprodukowany biogaz przechowywany jest w zbiornikach balonowych i następnie transportowany pod niskim ciśnieniem rurociągiem do elektrociepłowni. Tam biogaz przetwarzany jest na energię elektryczną i ciepłą.

Liderem w dziedzinie pozyskiwania biogazu z odpadów pochodzenia rolniczego są Niemcy. Na ich terenie wykorzystywanych jest kilka technologii produkcji energii cieplnej i elektrycznej z odpadów rolnych. Do najbardziej znanych należą (Szczytko 2008):

- technologia Schmidta-Eggerelüssa,
- technologia Ducelliera-Ismana,
- technologia Reinholda-Darmstadta,
- technologia Nachwachsende Rohstoff (NaWaRo).

Ich zastosowanie determinowane jest wielkością biogazowni oraz dostępnością substratu. Pierwsza jako wsad do procesu fermentacji metanowej wykorzystuje zawiesinę obornika, sieczki i rozdrobnionych odpadów organicznych i opłacalna jest dla dużych gospodarstw rolnych. W technologii Ducelliera-Ismana, wsad stanowi obornik. Technologia Reinholda-Darmstadta znajduje zastosowanie w małych i średnich gospodarstwach rolnych.

Technologia *NaWaRo* stanowi system produkcji biogazu, powszechnie stosowany w wielu krajach europejskich (Niemcy, Austria, Holandia) (Szlachta 2009). Jako substrat wykorzystuje ona głównie gnojowice i kiszonki z roślin (kukurydzy, traw, buraków i innych odpadów przemysłowych). O wykorzystaniu innych substratów (np. ziarna zbóż czy odpadów) decydują uwarunkowania gospodarstwa. Oprócz wymienionych powyżej, istnieje także wiele innych technologii amatorskich pracujących na farmach w krajach Unii Europejskiej. Należą do nich: technologia BTA, Dranco, Rottweil, Swego, Wabio i inne (Deluga i in. 2013).

Największa na świecie biogazownia położona jest na północy Niemiec, w mieście Penkun. Wybudowana została w 2006 roku, a od jej moc wynosi 20 MW. Substratami biogazowni są: kiszanka kukurydzy, gnojowica bydłęca, woda i zboże.

Do pozostałych krajów o wysokim stopniu rozwoju energetyki biogazowej w Europie należą Szwecja, Austria i Szwajcaria. Krajami o znacznej dynamice rozwoju sektora biogazowego są Hiszpania, Anglia, Irlandia, Polska, Litwa, Węgry i Włochy. Od kilku lat obserwuje się w nich wzrost zainteresowania instalacjami biogazowymi.

14.3. Instalacje biogazowe w Polsce

Poziom technologii biogazowych w Polsce nie jest tak wysoki, jak w krajach Europy Zachodniej, jednak zainteresowanie biogazowniami oraz możliwościami ich budowy na terenie naszego kraju wciąż rośnie.

„Rejestr przedsiębiorstw energetycznych zajmujących się wytwarzaniem biogazu rolniczego”, zaktualizowany na dzień 04.09.2014 zawiera listę 47 operatorów biogazowni rolniczych w Polsce (Bioenergia 2014). Wśród nich liderem jest firma Poldanor, która eksploatuje w Polsce 8 biogazowni rolniczych zlokalizowanych w: Koczale, Pawłótku, Płaszczycy, Uniechówku, Kujankach (woj. pomorskie), Naclawiu, Świelinie, Giżynie (woj. zachodniopomorskie). We wrześniu 2014 roku na terenie Polski działało 55 przedsiębiorstw energetycznych zajmujących się produkcją biogazu rolniczego (Bioenergia 2014). Największą moc (2,126 MW) mają biogazownie w Koczale w województwie pomorskim oraz w Liszkowie, na terenie województwa kujawsko-pomorskiego (Bioenergia 2014).

Najwięcej instalacji biogazowych znajduje się na terenie województw: pomorskiego (9 biogazowni), wielkopolskiego (7 biogazowni), warmińsko-mazurskiego (6 biogazowni) i zachodniopomorskiego (6 biogazowni).

Pomimo trudnej sytuacji, w jakiej znajdują się obecnie biogazownie rolnicze w Polsce, na terenie kraju realizowanych jest łącznie na różnym etapie kilkaset projektów.

W 2014 roku, w Żernikach Wielkich pod Wrocławiem, została uruchomiona największa w Polsce biogazownia rolnicza, o mocy 2,4 MW (Biomasa 2014). Głównym

substratem do produkcji biogazu w biogazowni będą obornik i gnojowica, pochodzące z fermy świń należącej do Zakładu Doświadczalnego Zootechniki PIB. Dodatkowym źródłem biomasy mają być wysłodki buraczane i kiszonka kukurydziana. Beneficjentem korzyści z budowy biogazowni będzie ferma świń, zyskująca odbiorcę ubocznych produktów hodowli oraz źródło tańszej energii cieplnej.

Przykładem nowej inwestycji jest budowa instalacji w Piaszczynie koło Bytowa. Substratami biogazowni będą odpady pochodzące z, połączonej z nią, gorzelnii. Rozpoczynają się także prace przy budowie biogazowni w Michałowie, w województwie podlaskim. Wyprodukowana w niej energia cieplna będzie wykorzystywana do podgrzewania wody dla pobliskiej szkoły. Kolejną inwestycją jest budowa biogazowni rolniczej o mocy 2 MW w Piaszczynie. Wraz z biogazownią powstanie tu gorzelnia, z której odpady stanowiąc będą surowiec do produkcji biogazu. Planowana biogazownia rolnicza o mocy 0,5 MW w Michałowie na Podlasiu będzie źródłem energii cieplnej dla szkoły.

Substratami do produkcji biogazu w polskich biogazowniach są najczęściej gnojowica, kiszonki z kukurydzy, wywar pogorzelniany, obornik, odpady owocowo-warzywne, serwatka, odpady poubojowe i in. Ilość poszczególnych surowców, zużytych w biogazowniach na terenie kraju w różnych latach, jest zróżnicowana. Wykaz wybranych surowców zużytych do produkcji biogazu rolniczego w latach 2011-2012 oraz w I półroczu 2013 r. przedstawia tabela 15 (ARR 2014).

Tabela 15. Wykaz wybranych surowców zużytych do produkcji biogazu rolniczego w Polsce w latach 2011-2012 oraz w I półroczu 2013 r. (ARR 2014)

Table 15. Substrates used for agricultural biogas production in Poland in 2011-2012 and in the first half of 2013 (ARR 2014)

Lp. Item	Rodzaj surowca Substrate	Ilość surowca (tona) – Amount of substrate (tons)		
		łącznie – total		I półrocze – 1st half of 2013
		2011	2012	
1.	gnojowica – slurry	265960,79	349173,12	212465,43
2.	kiszonka z kukurydzy maize silage	108876,14	241590,19	145485,53
3.	wywar pogorzelniany stillage	30465,11	146607,49	162427,51
4.	obornik – manure	11640,53	23502,98	17020,66
5.	pozostałości z warzyw i owoców discards of fruits and vegetables	10984,35	86109,22	15939,54
6.	wysłodki – beet pulp	6922,45	37081,80	45447,62
8.	pulpa ziemniaczana potato pulp	7258,49	6627,27	1463,14
7.	serwatka – whey	1933,00	12854,34	6883,00

Opublikowana przez Agencję Rynku Rolnego „Informacja o działalności przedsiębiorstw energetycznych zajmujących się wytwarzaniem biogazu rolniczego w latach 2011-2012 oraz w I półroczu 2013 r.” podaje, że produkcja biogazu rolniczego w Polsce w roku 2011 wynosiła 36,65 mln m³. W roku 2012 ilość biogazu wzrosła dwukrotnie, zaś w I półroczu 2013 roku wynosiła 52,53 mln m³ (ARR 2014). Produkcję biogazu rolniczego oraz energii elektrycznej i ciepłej z biogazu rolniczego w Polsce w latach 2011-2012 oraz w I półroczu 2013 roku przedstawia tabela 16 (ARR 2014).

Tabela 16. Produkcja biogazu rolniczego oraz energii elektrycznej i ciepłej z biogazu rolniczego w Polsce w latach 2011-2012 oraz w I półroczu 2013 roku (ARR 2014)

Table 16. Agricultural biogas production in Poland in 2011-2012 and in the first half of 2013 (ARR 2014)

Okres wytwarzania Period of production	Ilość wytworzonego biogazu rolniczego Amount of agricultural biogas produced (mln m ³)	Ilość energii elek- trycznej wytworzonej z biogazu rolniczego Electric power gener- ated from agricultural biogas (GWh)	Ilość energii ciepłej wytworzonej z bioga- zu rolniczego Heat generated from agricultural biogas (GWh)
2011	36,65	73,43	82,63
2012	73,53	141,80	160,13
I półrocze 2013 1st half of 2013	52,53	106,80	121,54

Pomimo funkcjonowania kilkudziesięciu biogazowni w Polsce, obecnie ilość produkowanej w nich energii elektrycznej nie ma większego znaczenia energetycznego.

14.3.1. Perspektywy rozwoju biogazowni w Polsce

W 2010 r. Rada Ministrów zatwierdziła dokument „Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010-2020”, według którego w naszym kraju do 2020 r. miało powstać ponad 2 tys. rolniczych instalacji biogazowych. Dokument zakładał, że w każdej polskiej gminie powstanie średnio jedna biogazownia wykorzystująca biomasę pochodzenia rolniczego, przy założeniu posiadania przez gminę odpowiednich warunków do uruchomienia takiego przedsięwzięcia (Kierunki rozwoju 2010). Celem dokumentu była optymalizacja systemu prawno-administracyjnego w zakresie tworzenia na terenie Polski instalacji biogazowych oraz wskazanie możliwości finansowego wsparcia dla tego typu inwestycji ze środków dostępnych w ramach różnych programów operacyjnych. Dokument zakłada powstawanie biogazowni w gminach wiejskich dysponujących dużymi arealami, umożliwiającymi pozyskanie wymaganej do funkcjonowania bioga-

zowni ilości biomasy. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi wysoko ocenia energetyczny potencjał krajowego rolnictwa. Teoretycznie, potencjał surowcowy wynosi 5-6 mld m³ biogazu o parametrach jakościowych gazu ziemnego wysokometanowego rocznie (Biega 2012). Potencjał ten zakłada wykorzystanie w pierwszej kolejności produktów ubocznych pochodzenia rolniczego, płynnych i stałych odchodów zwierzęcych i pozostałości przemysłu rolno-spożywczego. Dodatkowym surowcem do produkcji biogazu będą rośliny z celowych upraw energetycznych. Prowadzenie upraw roślin na potrzeby biogazowni jest możliwe docelowo na 700 tys. ha. Przeznaczenie takiego areалу na celowe uprawy energetyczne pozwoli na zabezpieczenie krajowych potrzeb żywnościowych i pozyskanie surowców niezbędnych do produkcji biogazu. Realny, dostępny obecnie potencjał surowcowy do produkcji biogazu w Polsce, zakładający wykorzystanie produktów ubocznych pochodzenia rolniczego i pozostałości przemysłu rolno-spożywczego, jest jednak znacznie mniejszy od teoretycznego i wynosi około 1,7 mld m³ (Biega 2012).

14.3.2. Aktualny stan biogazowni w Polsce

Do niedawna wydawało się, że biogazownie rolnicze w Polsce mają przed sobą perspektywę. Pomimo założeń Rady Ministrów, przewidujących powstawanie około nowych 200 instalacji biogazowych rocznie, na terenie Polski działa aktualnie tylko 39 biogazowni rolniczych. Ich zdecydowana większość przynosi obecnie straty, a część z nich jest na krawędzi bankructwa. Inne ograniczają straty poprzez zmniejszenie produkcji. Na terenie kraju istnieje także kilka nowych biogazowni rolniczych, przy budowie których wykorzystano państwowe lub unijne dotacje, jednak nie są one uruchamiane, gdyż przedsięwzięcia te są nierentowne (jedną z nich jest instalacja w Grochowie Szlacheckim koło Sokołowa). W związku z trudną sytuacją biogazowni wiele działań podjętych w ostatnich miesiącach, mających na celu budowę instalacji biogazowej, zostało wstrzymanych. Nie rozpoczęto także budowy wielu biogazowni rolniczych, na których realizację otrzymano dotacje unijne z tzw. Regionalnych Programów Operacyjnych – RPO.

Przeprowadzona przez Kosewską i Kamińskiego (Kosewska i Kamiński 2008) analiza ekonomiczna budowy i eksploatacji biogazowni rolniczych w Polsce zdaje się potwierdzać brak efektywności ekonomicznej budowy instalacji biogazowej na terenie naszego kraju. Inwestycja staje się ekonomicznie uzasadniona dopiero przy dofinansowaniu z zewnętrznego źródła na poziomie 60-70%. Za najbardziej opłacalną uznano budowę scentralizowanych biogazowni rolniczych (powyżej 500 kW mocy) przy zastosowaniu skojarzonego wytwarzania energii, przy dofinansowaniu na poziomie co najmniej 75%.

Przyczynami tak złego stanu biogazowni rolniczych na terenie Polski są, m.in.:

- przedłużający się brak ustawy o odnawialnych źródłach energii (OZE),
- spadek cen zielonych certyfikatów,
- wygaszenie w 2013 roku systemu żółtych certyfikatów,
- inne bariery, omówione w dalszej części pracy.

Na początku br. Ministerstwo Gospodarki opublikowało nową wersję projektu ustawy o odnawialnych źródłach energii z dnia 29.01.2014 r. (Projekt OZE 2014). Jej zatwierdzenie przez Sejm umożliwi potencjalnym inwestorom zdobycie informacji dotyczących zasad i warunków działalności w zakresie wytwarzania energii i biogazu z odnawialnych źródeł energii w instalacjach odnawialnego źródła energii. Określi także mechanizmy i instrumenty wsparcia oraz zasady jego udzielania biogazowniom. Brak tej wiedzy uniemożliwia inwestorom stworzenie biznesplanu i zdobycie środków finansowych w postaci kredytu.

Obowiązującym w Polsce systemem wsparcia Odnawialnych Źródeł Energii (OZE) jest system tzw. świadectw pochodzenia, zwanych również gwarancjami pochodzenia (Gnatowska 2010). Stanowią one potwierdzenie wytworzenia energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. Rozróżnia się świadectwa dla OZE (tzw. czerwone certyfikaty) oraz dla źródeł kogeneracyjnych (tzw. żółte i zielone certyfikaty). System świadectw pochodzenia oraz podstawy prawne ich wydawania i obrotu zostały szczegółowo określone w rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. (Dz. U. 2008 Nr 156, poz. 969), zmienione rozporządzeniem 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. 2010 Nr 34, poz. 182).

Utrzymujące się na stałym poziomie w latach 2011 i 2012 ceny zielonych certyfikatów zaczęły spadać w ubiegłym roku, odzwierciedlając rosnącą nadpodaż na rynku. Spadek cen certyfikatów, będących filarem wsparcia dla rozwoju OZE na Towarowej Giełdzie Energii, stał się czynnikiem zniechęcającym potencjalnych inwestorów do podejmowania działań mających na celu budowę biogazowni rolniczych. W 2014 r. sytuacja na rynku zielonych certyfikatów nieco poprawiła się, co daje szansę na wzrost zainteresowania nowymi inwestycjami.

Niekorzystne dla rynku biogazu w Polsce skutki miało także wygaszenie z początkiem 2013 r. żółtych certyfikatów, będące przyczyną strat wielu biogazowni rolniczych. Dopiero 26 czerwca br. Sejm uchwalił i przekazał Prezydentowi do podpisu nowelizację prawa energetycznego, przywracającą system wsparcia wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w jednostkach wysokosprawnej kogeneracji. Nowelizacja zakłada funkcjonowanie systemu aż do 2018 r. (Ustawa 2014). Dzięki przywróceniu żółtych certyfikatów, wiele biogazowni zyskało szansę na przynoszenie zysków.

14.3.3. Bariery rozwoju biogazowni w Polsce

Czynnikami stanowiącymi przeszkodę dla rozwoju technologii biogazowych w Polsce są wysokie koszty i niewystarczające wsparcie finansowe dla inwestycji i badań naukowych nad rozwojem nowych technologii. Głównymi barierami rozwoju rynku biogazu są (Curkowski i in. 2009, Dach 2010, Szczypko 2008, Założenia Programu 2009):

- bariery infrastrukturalne,
- bariery organizacyjne,
- bariery techniczne,
- bariery prawne,
- bariery ekonomiczne,
- bariery społeczne.

14.3.3.1. Bariery infrastrukturalne

Przyczyną problemów infrastrukturalnych, uniemożliwiających budowę biogazowni rolniczej w Polsce, może być duża odległość miejsca budowy od stacji transformatorowych. Budowa inwestycji w znacznej odległości od siedzib ludzkich eliminuje bariery społeczne, jednak może nieść ze sobą wysokie koszty wynikające z konieczności budowy linii przesyłowej na potrzeby biogazowni. W Polsce koszt budowy jednego kilometra linii przesyłowej o napięciu 400 kV wynosi w przybliżeniu 2,5 mln zł (Energetykon 2014), co oznacza, że koszt samej budowy kilku lub kilkunastu kilometrów linii przemysłowej może być porównywalny lub większy od kosztów budowy biogazowni. Inny problem stanowi brak możliwości wtłaczania energii do sieci przemysłowej z powodu wcześniejszego uzyskania warunków przyłączenia do sieci przez inwestorów z energetyki wiatrowej.

14.3.3.2. Bariery organizacyjne

Niewielka liczba działających obecnie na terenie Polski instalacji biogazowych oraz trafiające do opinii publicznej informacje o niepowodzeniach i trudnościach istniejących instalacji skutkują brakiem zaufania do technologii wśród rolników, inwestorów i całego społeczeństwa. Konieczna zatem staje się budowa oraz praktyczne wdrażanie instalacji demonstracyjno-pilotażowych, które umożliwią pokazanie realnych zalet biogazowni, udowodnią racjonalność i skuteczność proponowanych rozwiązań oraz ich zasadność ekonomiczną.

Barierę organizacyjną dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczej w Polsce stanowi także brak krajowego zaplecza merytoryczno-eksperymentalnego. Obecność w Ośrodkach Doradztwa Rolniczego doradców z zakresu pozyskiwania funduszy, budowy oraz eksploatacji biogazowni w znacznym stopniu

ułatwiłaby podejmowanie ważnych decyzji przez inwestorów i realizację działań związanych z budową biogazowni oraz mogłaby podnieść efektywność ich pracy.

14.3.3.3. Bariery techniczne

Czynnikiem ograniczającym inwestycje biogazowe jest wybór odpowiedniej dla danej biogazowni technologii, determinowanej dostępnymi substratami. Wydajności różnych technologii są różne, w zależności od rodzaju stosowanych substratów. Niewłaściwy wybór technologii może znacznie obniżyć wydajność pracy biogazowni, powodując straty i problemy ekonomiczne.

Barierą uniemożliwiającą efektywne funkcjonowanie biogazowni jest ograniczona możliwość odbioru wyprodukowanej w niej energii cieplnej w okresie letnim. W przypadku niewykorzystania ciepła na potrzeby własne maleje znacznie efektywność ekonomiczna inwestycji. Rozwiązaniem tego problemu jest lokalizacja biogazowni w sąsiedztwie lokalnych zakładów ciepłowniczych lub zakładów przemysłowych wykazujących zapotrzebowanie na energię ciepłą przez cały rok.

Budowa instalacji biogazowych wymaga nowoczesnego zaplecza technicznego, rynku maszyn i urządzeń oraz firm budowlanych wyspecjalizowanych w projektowaniu, budowie i eksploatacji biogazowni rolniczych. Ich brak w Polsce może stanowić barierę uniemożliwiającą rozwój rynku biogazu.

14.3.3.4. Bariery prawne

Brak odpowiednich przepisów prawnych dotyczących zarówno budowy, jak i funkcjonowania biogazowni rolniczych na terenie Polski czyni realizację inwestycji długotrwałą i skomplikowaną. Z uwagi na istnienie wielu barier prawnych ograniczających rozwój biogazowni rolniczych w Polsce, poniżej przedstawiono tylko kilka wybranych, dotyczących różnych sfer działalności biogazowni.

Sejmowa „Strategia rozwoju energetyki odnawialnej” z 2000 roku (Strategia rozwoju 2000) zakłada wzrost udziału energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych w bilansie kraju do poziomu 7,5% w 2010 roku, jednak nie stworzono do tychczas odpowiedniego programu wykonawczego dla poszczególnych technologii z określeniem celu ilościowego i sposobów jego osiągnięcia.

Produkcja biogazu rolniczego nie jest ujęta w Polskiej Kwalifikacji Działalności (PKD) (Dz. U. 2007 Nr 251, poz. 1885), zaś wytwarzanie biogazu z odchodów zwierzęcych i odpadów produkcji rolnej nie figuruje w spisie działalności Działów specjalnych produkcji rolnej (Działy specjalne produkcji rolnej 2010). Proces i przebieg fermentacji jest zatem uznawany za produkcję przemysłową, a pochodzących z niej odpadów nie można przekazywać osobom fizycznym, np. rolnikom jako nawóz.

Określone w Rozporządzeniu 2002/1174/WE (Dz. U. 2002 Nr 140, poz. 1174) i obowiązujące w krajach Unii Europejskiej zasady postępowania z niejadalnymi produktami zwierzęcymi nakładają na biogazownie rolnicze obowiązek budowy dodatkowych jednostek do uzdatniania odpadów, co stanowi barierę dla rozwoju biogazowni wykorzystujących proces współfermentacji.

Istotnymi ograniczeniami rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce jest również brak spójności w prawodawstwie, rozproszenie legislacyjne zagadnień związanych z ich instalacją i funkcjonowaniem oraz brak jednoznacznej interpretacji przepisów o uzyskaniu świadectw pochodzenia z odnawialnych źródeł i energii wytworzonej w wysokosprawnej kogeneracji (Mikołajczak i in. 2009).

Sprzedaż energii i świadectw pochodzenia przez rolników będących inwestorami i operatorami biogazowni jest niemożliwy, gdyż rolnik, jako jednostka nie prowadząca działalności gospodarczej, nie posiada numeru KRS, w związku z czym nie ma możliwości otrzymania koncesji na produkcję energii elektrycznej. Nie może on także otrzymać świadectwa pochodzenia energii, co w znacznym stopniu ogranicza jego możliwości uzyskania dodatkowych przychodów ze sprzedaży energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych.

Istotną barierą dla rolników, zniechęcającą do podejmowania inwestycji, może być wprowadzenie obowiązku uzyskania koncesji na wytwarzanie biogazu rolniczego, zgodnie z propozycją Ministerstwa Gospodarki.

14.3.3.5. Bariery ekonomiczne

Najpoważniejszą barierą ekonomiczną rozwoju biogazowni w Polsce są wysokie nakłady finansowe oraz stosunkowo długi okres zwrotu poniesionych kosztów. Czynnikiem utrudniającym budowę biogazowni są trudności z uzyskaniem dofinansowania oraz ze sprzedażą wyprodukowanej energii (Szczypko 2008).

Czynnikiem wpływającym negatywnie na rentowność inwestycji jest niedostateczna podaż wsadu do biogazowni, będąca wynikiem np. upadłości jednego z dostawców. Niewystarczająca ilość substratów obniża produkcję biogazowni, powodując straty finansowe.

Barierę ekonomiczną stanowi także brak regulacji prawnych, określających minimalny poziom ceny za zakupioną energię ze źródeł energii odnawialnej, gwarantującą opłacalność inwestycji. Niepewność co do cen świadectw może być czynnikiem powodującym nieudzielenie inwestorowi kredytu przez bank lub jego udzielenie na mniej korzystnych warunkach.

14.3.3.6. Bariery społeczne

Źródłem barier społecznych powstających przy budowie biogazowni jest wciąż zbyt mała wiedza społeczeństwa na temat technologii biogazowych. Ludność,

niechętna powstaniu w okolicy biogazowni, może mieć duży wpływ na lokalną administrację, czego skutkiem jest często nieotrzymanie przez inwestora zgody na budowę. Przykładami inwestycji nie podjętych na skutek protestów i sprzeciwów lokalnego społeczeństwa są biogazownie rolnicze w Malborku i Parczewie.

15. PLANOWANIE I BUDOWA BIOGAZOWNI ROLNICZEJ

Budowę biogazowni rolniczej poprzedza szereg działań, mających na celu ocenę rentowności inwestycji, zdobycie wymaganych pozwoleń oraz dotacji na budowę. Przygotowanie formalno-prawne inwestycji stanowi kluczowy etap jego realizacji, a sprawność przebiegu tego procesu decyduje o sukcesie inwestycji.

Przygotowanie formalno-prawne inwestycji polegającej na budowie biogazowni rolniczej podzielić można na następujące etapy:

- planowanie,
- montaż finansowy,
- pozyskanie pozwoleń,
- przygotowanie dokumentacji technicznej.

15.1. Planowanie biogazowni rolniczej

Planowanie budowy biogazowni rolniczej obejmuje wiele kwestii decydujących o rentowności inwestycji i sensowności jej realizacji. Do najważniejszych należą:

- dostępność substratów,
- lokalizacja,
- wielkość biogazowni,
- wybór technologii,
- uwarunkowania środowiskowe.

15.1.1. Dostępność substratów

Kwestią, której rozpatrzenie jest niezbędne podczas planowania inwestycji biogazowej, jest dostępność substratów, możliwości zapewnienia ich dostaw oraz ocena produktywności biogazu ze stosowanego substratu. W przypadku konieczności transportowania surowców z ferm lub innych źródeł substratu należy ocenić możliwość rozbudowy lokalnych dróg. Zastosowanie roślin energetycznych wymaga określenia dostępnego arealu i klasy gruntów przeznaczonych pod ich uprawę.

15.1.2. Lokalizacja

Istnieje kilka czynników, których uwzględnienie przy wyborze lokalizacji biogazowni determinuje rentowność inwestycji oraz podnosi szansę jego powodzenia. Do najistotniejszych należą: stan infrastruktury, dostępność substratów na terenie inwestycji, możliwość zagospodarowania energii cieplnej oraz odpadów pofermentacyjnych. Wybór lokalizacji o dobrej infrastrukturze sieci energetycznej zapewnia możliwość odebrania wyprodukowanej energii elektrycznej oraz funkcjonowania biogazowni bez dodatkowych nakładów związanych z koniecznością budowy linii przesyłowej. Dostęp do substratów, niezależnie od pory roku, pogody, czy innych czynników wpływających na ilość i jakość surowców gwarantuje ciągłość pracy instalacji biogazowej oraz uzyskiwanie maksymalnych poziomów wydajności. W przypadku wykorzystania jako substratu gnojowicy, której transport z obory do biogazowni jest nieopłacalny, najlepszym rozwiązaniem jest budowa instalacji w bliskim sąsiedztwie farmy, tak by możliwe było transportowanie surowca rurociągiem. Wybór odpowiedniej lokalizacji inwestycji, uwzględniający możliwość zagospodarowania energii cieplnej, pozwala na efektywne wykorzystanie ciepła wyprodukowanego w biogazowni oraz obniża koszty związane z rozbudową sieci ciepłowniczej do jego transportu. Możliwość zagospodarowania odpadów pofermentacyjnych jako nawozu na polach sąsiadujących z terenem biogazowni eliminuje koszty związane z transportem materiału na duże odległości.

15.1.3. Wielkość biogazowni

Wielkość biogazowni rolniczej determinowana jest rodzajem substratów oraz możliwością ich pozyskania do produkcji biogazu. Wielkość komory fermentacyjnej zależy od jakości surowca, tzn. zawartości suchej masy i suchej masy organicznej, biogazodochodowości oraz dynamiki rozkładu. Wymiary działki przeznaczonej do budowy biogazowni rolniczej wpływają z kolei na wybór technologii produkcji. Do budowy małej biogazowni wystarczy działka o powierzchni do 1,5 ha.

15.1.4. Wybór technologii

Bardzo ważnym etapem budowy instalacji biogazowej jest wybór właściwej technologii. Jest on determinowany rodzajem przetwarzanych substratów, sposobem wykorzystania uzyskanego biogazu oraz możliwościami zagospodarowania pozostałości pofermentacyjnych.

Od rodzaju zastosowanych surowców zależy dobór elementów instalacji produkcji biogazu, takich jak zbiorniki do przechowywania biogazu i masy pofermentacyjnej, urządzenia do obróbki wstępnej, podajniki i in. W przypadku stosowania substratów niejednorodnych pod względem wielkości cząstek, konieczne

staje się zastosowanie maceratorów i rozdrabniaczy. Wykorzystanie odpadów poubojowych, mogących być źródłem patogenów, wymaga obecności w ciągu technologicznym urządzeń do higienizacji/sterylizacji. Wybór odpowiedniej technologii dla zastosowanych substratów pozwala na osiągnięcie zamierzonej mocy biogazowni oraz optymalne wykorzystanie surowca.

Wytworzony w procesie fermentacji biogaz może być przeznaczony do produkcji energii elektrycznej lub ciepła, bądź zarówno energii elektrycznej, jak i ciepłej (przy wykorzystaniu układów kogeneracyjnych). W zależności od przeznaczenia biogazu dokonuje się wyboru technologii opartych na pracy generatorów prądu, kotłów gazowych lub kogeneratorów.

Konieczność zagospodarowania osadu pofermentacyjnego powstałego w procesie produkcji biogazu, również stanowi ważną kwestię podczas doboru technologii biogazowej. Duża ilość masy pofermentacyjnej, przechowywanej w okresie zimowym, wymusza potrzebę budowania obszernych zbiorników do jej magazynowania.

15.1.5. Uwarunkowania środowiskowe

Jednym z pierwszych etapów poprzedzającym budowę biogazowni rolniczej jest uzyskanie wstępnej opinii środowiskowej dotyczącej lokalizacji inwestycji. Umożliwia ona ograniczenie negatywnego oddziaływania biogazowni na środowisko. Z uwagi na skutki awarii, które mogą pojawić się na terenie biogazowni, nie powinna być ona zlokalizowana w odległości mniejszej od 300 m od obszarów chronionych oraz obiektów mieszkalnych i siedlisk ludzkich znajdujących się po stronie zawietrznej.

15.2. Montaż finansowy

Działaniem, którego realizacja decyduje w dużym stopniu o sukcesie przedsięwzięcia, jest montaż finansowy. Montaż finansowy inwestycji polega na wskazaniu źródeł finansowania projektu i ich procentowego udziału w całym przedsięwzięciu (Montaż finansowy 2011). Odpowiednio przygotowany montaż finansowy zapewnia maksymalizację osiągniętych efektów ekonomicznych oraz uwzględnia optymalne rozłożenie ryzyka pomiędzy inwestorów, bank i innych doręczycieli kapitału lub środków trwałych (Curkowski 2011b). Pierwszym etapem w przygotowaniu montażu jest określenie wydatków związanych z projektem oraz wysokości środków własnych. Źródłami finansowania biogazowni są (Curkowski 2011b):

- środki własne inwestorów,
- dotacje, kredyty i dopłaty ze środków publicznych i UE,
- bankowe kredyty komercyjne,
- rynek finansowy.

Biogazownie rolnicze mogą uzyskać bezpośrednie dofinansowanie inwestycji ze środków publicznych.

Narodowy Funduszy Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, w ramach programu „System zielonych inwestycji”, część 2 „Biogazownie rolnicze” (Przewodnik 2013), umożliwia dofinansowanie przedsiębiorstw zainteresowanych budową lub modernizacją biogazowni rolniczych. Program Priorytetowy 5.4. „Efektywne wykorzystanie energii”, część 2, „Dofinansowanie zadań inwestycyjnych prowadzących do oszczędności energii lub wzrostu efektywności energetycznej przedsiębiorstw” skierowany jest do przedsiębiorców, którzy mogą otrzymać dzięki niemu pożyczkę pokrywającą do 75% kosztów kwalifikowanych z przeznaczeniem na racjonalizację zużycia energii elektrycznej, ciepłej i gazu, modernizację procesów przemysłowych oraz wdrażanie systemów zarządzania energią i jej jakością.

Programem ogłoszonym przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej jest również program BOCIAN, skierowany do przedsiębiorców zainteresowanych inwestycjami w rozproszone, odnawialne źródła energii. Celem programu jest ograniczenie bądź uniknięcie emisji CO₂ poprzez zwiększenie produkcji energii z instalacji wykorzystujących odnawialne źródła energii. Celem kolejnego programu, PROJEKT, jest zwiększenie produkcji energii odnawialnych źródeł energii i obiektów wysokosprawnej kogeneracji. Również jego beneficjentami mogą być inwestorzy i właściciele biogazowni rolniczych.

Dofinansowanie ze środków unijnych jest realizowane głównie za pomocą Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko (POIiŚ 2014) oraz Regionalnych Programów Operacyjnych realizowanych we wszystkich województwach (RPO 2009).

W ramach I osi priorytetowej „Promocja odnawialnych źródeł energii i efektywności energetycznej”, Unia Europejska na lata 2014-2020 przygotowała 1,46 mld euro (POIiŚ 2014). W zależności od priorytetu inwestycyjnego, beneficjentami projektu mogą być jednostki samorządu terytorialnego, administracji rządowej, organizacje pozarządowe, przedsiębiorcy oraz podmioty świadczące usługi publiczne w ramach realizacji obowiązków własnych jednostek samorządu terytorialnego niebędące przedsiębiorcami. Wsparcie obejmuje budowę oraz rozbudowę instalacji na biogaz, zwiększenie efektywności energetycznej przedsiębiorstw oraz wdrażanie i rozwijanie inteligentnych systemów dystrybucji energii elektrycznej.

W ramach Programu Operacyjnego – Innowacyjna Gospodarka finansowanie w 2014 roku będą mogły otrzymać projekty prowadzące do zmniejszenia szkodliwego oddziaływania na środowisko. Działanie skierowane jest do przedsiębiorstw produkcyjnych i usługowych dokonujących nowych inwestycji oraz realizujących niezbędne dla ich realizacji projekty doradcze i szkoleniowe, obejmujące nabycie nowoczesnych rozwiązań technologicznych.

Zarządy Województw realizują programy regionalne, których celem jest wsparcie inwestycji OZE planowanych na lata 2014-2020 (RPO 2009).

Kredyty bankowe stanowią uzupełnienie dotacji państwowych lub unijnych. Wzrost konkurencyjności biogazowni w Polsce może w przyszłości uczynić kredyty głównym źródłem finansowania inwestycji.

W związku z kończącymi się publicznymi środkami finansowania inwestycji biogazowych, źródłem uzupełniającym finansowanie bankowe może stać się w przyszłości rynek finansowy – Giełda Papierów Wartościowych i jej segment przeznaczony do finansowania małych i średnich przedsiębiorstw – New Connect (Curkowski 2011a).

15.3. Pozyskanie pozwoleń

Uzyskanie pozwolenia na budowę biogazowni rolniczej wymaga złożenia do Starostwa Powiatowego wniosku o wydanie takiego pozwolenia na podstawie umowy Prawo budowlane z dnia 17 sierpnia 2006 r. (Dz. U. 2006 Nr 156, poz. 1118) wraz z zaświadczeniem potwierdzającym uprawnienia do projektowania, oświadczeniem o posiadanym prawie do dysponowania nieruchomością na cele budowlane oraz kompletem uzyskanych uprzednio opinii, uzgodnień, pozwoleń i innych dokumentów wymaganych przepisami szczególnymi.

Decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach zgody na realizację przedsięwzięcia (opinia środowiskowa) wydawana jest przez urząd gminy na podstawie Rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie określenia przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko oraz szczegółowych uwarunkowań związanych z kwalifikowaniem przedsięwzięcia do sporządzania raportu oddziaływania na środowisko z dnia 9 listopada 2010 r. (Dz. U. 2010 Nr 213 poz. 1397). Jej uzyskanie jest niezbędne, ponieważ instalacja biogazowa jest inwestycją uznawaną za oddziałującą na środowisko.

Uzyskanie decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu oraz miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego wymaga złożenia wniosku do urzędu gminy, zgodnie z ustawą o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym z dnia 27 marca 2003 r. (Dz. U. 2003 Nr 80 poz. 717).

Wykonanie przyłączy do pobierania wody, wybudowanie studni, gromadzenie ścieków, a także inne działania mogące mieć wpływ na stan wód podczas budowy lub eksploatacji biogazowni rolniczej, wymagają uzyskania pozwolenia wodnoprawnego, wydawanego przez starostwo powiatowe, zgodnie z ustawą prawo wodne z dnia 18 listopada 2005 r. (Dz. U. 2005 Nr 115 poz. 1229).

Zgodność usytuowania projektu z uzbrojeniem terenu potwierdza uzgodnienie Zespołu Uzgadniania Dokumentacji Projektowej (ZUD), uzyskane na podstawie Rozporządzenia Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa w sprawie

ewidencji sieci uzbrojenia terenu oraz zespołów uzgadniania dokumentacji projektowej z dnia 2 kwietnia 2001 r. (Dz. U. 2001 Nr 38 poz. 455).

W przypadku konieczności wybudowania zjazdu z drogi publicznej na teren pod inwestycję, od urzędu gminy należy uzyskać decyzję zezwalającą na lokalizację zjazdu, zgodnie z ustawą o drogach publicznych z dnia 25 stycznia 2007 r. (Dz. U. 2007 Nr 19 poz. 115). Uzgodnienia odnośnie zjazdów z dróg, placów, sieci i przyłączy infrastruktury technicznej oraz organizacji ruchu na czas budowy dokonywane są na wniosek inwestora przez lokalnego zarządcę dróg.

Inwestorzy planujący działalność gospodarzą mającą na celu wytwarzanie energii elektrycznej z odnawialnego źródła energii, zobowiązani są od dnia 01.01.2011 r. wpisać się do rejestru prowadzonego przez Prezesa Agencji Rynku Rolnego, na zasadach określonych w przepisach wykonawczych do ustawy Prawo energetyczne.

Zgodnie z ustawą Prawo energetyczne z dnia 10 kwietnia 1997 r. (Dz. U. 1997 Nr 54 poz. 348), uzyskanie warunków przyłączenia do sieci energii elektrycznej wymaga złożenia wniosku do zakładu energetycznego o określenie warunków technicznych podłączenia i uzgodnienie rozwiązań projektowych. W przypadku biogazowni o mocy większej niż 2 MW może być wymagana przez operatora sieci ekspertyza przyłączeniowa, potwierdzająca brak niekorzystnego wpływu podłączenia inwestycji do sieci na pozostałych uczestników systemu.

W zależności od rodzaju działań, których realizacja jest konieczna podczas budowy i eksploatacji biogazowni rolniczej, potrzebne może być uzyskanie także innych decyzji i pozwoleń, wydawanych przez różne jednostki organizacyjne i rzeczoznawców. Należą do nich:

- decyzja o wycince drzew i krzewów, wydawana przez urząd gminy;
- decyzja zatwierdzająca projekt lub dokumentację geologiczną, hydrogeologiczną i geologiczno-inżynierską, wydawana przez urząd gminy;
- uzgodnienia dotyczące wytwarzanych odpadów, wydalanych zanieczyszczeń do atmosfery, stref ochrony ujęć wody, geologii, wydawane przez starostwo powiatowe;
- opinia geotechniczna, wydawana przez uprawnionego rzeczoznawcę;
- uzgodnienia projektu budowlanego w zakresie wymagań przeciwpożarowych, wydawane przez uprawnionego rzeczoznawcę;
- uzgodnienia w zakresie zachowania przepisów BHP, wydawane przez uprawnionego rzeczoznawcę;
- uzgodnienia w zakresie wymagań higieniczno-sanitarnych oraz ochrony epidemiologicznej, wydawane przez Państwowego Inspektora Sanitarnego;
- zgoda na podłączenie obiektu do sieci dystrybucyjnej gazowej lub ciepłowniczej, wydanie warunków technicznych podłączenia i uzgodnienie rozwiązań, dokonywane przez jednostkę zarządzającą infrastrukturą sieciową.

Realizacja projektu budowy biogazowni rolniczej wiąże się z zawarciem szeregu umów z różnymi podmiotami. Do najważniejszych, decydujących o powodzeniu inwestycji, należą: umowa na dostawę substratów, umowa o przyłączenie obiektu do sieci elektroenergetycznej, umowa na kompleksowe wykonanie prac projektowych, umowa na dostawę technologii i wykonawstwo inwestycji, umowa na dostawę i odbiór mediów, umowa na sprzedaż ciepła, umowa ubezpieczenia oraz umowa o dofinansowanie projektu inwestycyjnego.

15.4. Przygotowanie dokumentacji technicznej

Projekt techniczny (projekt wykonawczy) jest dokumentem stanowiącym ostatnie stadium dokumentacji projektowej. Jest on opracowywany dla poszczególnych zadań lub obiektów, na podstawie dokumentacji wstępnej i dokumentacji zasadniczej. Sporządzenie projektu technicznego ma na celu określenie wszystkich szczegółów budowy obiektu, uzupełnienie zamówień aparatury i urządzeń, wykonanie prefabrykatów, prowadzenie robót budowlano-montażowych oraz wykonanie prac rozruchowych (Projekt techniczny 2014, Curkowski i in. 2011a).

Opracowanie dokumentacji wstępnej obejmuje inwentaryzację oraz przygotowanie projektu techniczno-technologicznego.

Celem inwentaryzacji jest lustracja terenu i obiektów na nim się znajdujących, sporządzenie protokołu opisującego istniejące uszkodzenia lub ich brak oraz wykonanie dokumentacji fotograficznej obiektów na potrzeby biogazowni. Zawiera ona także szczegółowy spis istniejących uszkodzeń dróg dojazdowych i objazdów, opis stanu rurociągów, torfowisk, trakcji elektrycznych, zapór, infrastruktury, itp.

Projekt techniczno-technologiczny zawiera (Curkowski i in. 2011b):

- charakterystykę i opis przebiegu procesów produkcyjnych wraz ze schematami technologicznymi oraz określeniem zapotrzebowania na surowce, produkty, urządzenia, ilości i rodzajów odpadów oraz sposobu ich zagospodarowania;
- określenie zapotrzebowania na surowce, produkty i urządzenia;
- zestawienie maszyn i urządzeń stanowiących wyposażenie technologiczne;
- zestawienie powierzchni produkcyjnych i pomocniczych;
- określenie zapotrzebowania na czynniki energetyczne i inne media;
- wytyczne w zakresie BHP, ppoż., sanitarno-higienicznym, ochrony środowiska;
- szczegółowe wytyczne dla projektów branżowych i opracowań specjalistycznych (np. w zakresie ochrony środowiska);
- zestawienie załogi.

Efektem opracowania dokumentacji zasadniczej jest sporządzenie projektu budowlanego, zgodnie z wymaganiami ustawy „Prawo budowlane” z dnia 7 lipca 1994 r.

(Dz. U. 1994 Nr 89 poz. 414). Projekt budowlany obejmuje projekt zagospodarowania działki lub terenu oraz projekt architektoniczno-budowlany (Curkowski i in. 2011a).

15.5. Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczej

Uzyskanie pozwolenia na budowę biogazowni kończy formalno-prawny etap przygotowań inwestycji i umożliwia rozpoczęcie kolejnego etapu, którym jest rozpoczęcie prac budowlanych. Pozwolenie na budowę ważne jest przez trzy lata. W tym czasie inwestor musi rozpocząć prace budowlane, które nie mogą być przerwane na okres dłuższy niż trzy lata. W przypadku przerwania robót na okres przekraczający trzy lata, decyzja o pozwoleniu na budowę wygasa.

Po dokonaniu wyboru wykonawcy robót budowlanych rozpoczyna się proces budowy. Po zakończeniu robót budowlanych wymagane jest jego zgłoszenie oraz uzyskanie decyzji o pozwoleniu na użytkowanie obiektu. Przed jej uzyskaniem budynki i instalacje biogazowni muszą być poddane kontroli inspekcji nadzoru budowlanego, inspekcji Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska, inspekcji pracy oraz kontroli Straży Pożarnej i Urzędu Dozoru Technicznego.

Po zakończeniu robót budowlanych i montażowych przystępuje się do kolejnej fazy – rozruchu instalacji. Jego celem jest sprawdzenie działania zaprojektowanych technologicznych i ekonomicznych parametrów pracy oraz ustalenie optymalnych parametrów pracy urządzeń. Rozruch składa się z trzech następujących etapów:

- rozruch mechaniczny „na sucho” – bez podania mediów roboczych; celem jego przeprowadzenia jest sprawdzenie kompletności i prawidłowości działania maszyn, urządzeń i instalacji;
- szkolenie stanowiskowe załogi w zakresie BHP, ppoż. oraz obsługi biogazowni;
- rozruch hydrauliczny – prowadzony z użyciem medium neutralnego (wody);
- rozruch technologiczny – prowadzony z użyciem właściwego medium; rozruch technologiczny umożliwia osiągnięcie założonych parametrów technologicznych.

Podczas rozruchu technologicznego odbywa się zaszczepienie biogazowni odpowiednim szczepem bakterii. Bakterie pochodzą z innej instalacji biogazowej lub z pobliskiej oczyszczalni ścieków.

Uzyskanie pozwolenia na użytkowanie biogazowni wymaga zdobycia m. in. pozwolenia emisyjnego, zezwolenia na prowadzenie działalności w zakresie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów oraz zezwolenia na eksploatację urządzeń technicznych. Po dopełnieniu obowiązku wpisu do rejestru przedsiębiorstw energetycznych zajmujących się wytwarzaniem biogazu rolniczego, prowadzonego przez Agencję Rynku Rolnego, możliwe staje się rozpoczęcie normalnej eksploatacji biogazowni.

16. PIŚMIENNICTWO

- Abbasi T., Tauseef S.M., Abbasi S.A., 2012. *Biogas Energy*, Springer, New York.
- Adamiec R., Broda W., 2013. Celowe uprawy roślin jako źródło biomasy na cele energetyczne. Dostępny w Internecie: <http://energia2020.pl/?p=561>.
- Agroenergetyka, 2010. Zagrożenia technologiczne eksploatacji biogazowi. Dostępny w Internecie: <http://agroenergetyka.pl>.
- ARR, 2014. Informacja o działalności przedsiębiorstw energetycznych zajmujących się wytwarzaniem biogazu rolniczego w latach 2011-2012 oraz w I półroczu 2013 r. Dostępny w Internecie: http://www.arr.gov.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=1639&Itemid=631
- Bartkowiak A., 2010. Opracowanie sektorального planu działań określającego obszary współpracy w ramach partnerstwa „Methane to Markets” w zakresie zmniejszenia metanu z rolnictwa, raport z realizacji umowy pomiędzy Ministrem Rolnictwa i Rozwoju Wsi a Instytutem Technologiczno-Przyrodniczym w Falentach.
- Ben M., Kennes C., Veiga M.C., 2013. Environmentally-friendly bioenergy. Biogas, Kennes C., Veiga M.C. (Ed.) *Air Pollution Prevention and Control: Bioreactors and Bioenergy*, Wiley-Blackwell, Oxford, 321-323.
- Biega B., 2012. Substraty do produkcji biogazu na przykładzie wybranych biogazowni rolniczych, *Młodzi Naukowcy dla Polskiej Nauki* 5. CreativeTime, 22-31.
- Bioenergia, 2014. Rejestr przedsiębiorstw energetycznych zajmujących się wytwarzaniem biogazu rolniczego. Bioenergia. Dostępny w Internecie: http://www.arr.gov.pl/data/02004/rejestr_biogazowni_rolniczych_04092014.pdf.
- Biogaz, 2005. Biogaz. Produkcja, wykorzystanie. Poradnik napisany przez Institut für Energetik und Umwelt gGmbH oraz Instytut Technologii i Biotechniki Braunschweig.
- Biomasa, 2014. Pod Wrocławiem niebawem ruszy największa biogazownia rolnicza w Polsce. Dostępny w Internecie: <http://ebiomasa.pl/bio/item/484-pod-wroclawiem-niebawem-ruszy-najwieksza-biogazownia-rolnicza-w-polsce>.
- BioMaster, 2013, 2013. Newsletter 04, BioMaster biomethane for transport. Dostępny w Internecie: <http://www.biomaster-project.eu>.
- BioPolinex, 2014. Fermentacja metanowa, Dostępny w Internecie: <http://biopolinex.pl/biogazownie/fermentacja-metanowa>.
- Bond T., Templeton M.R., 2011. History and future of domestic biogas in the developing world, *Energy for Sustainable Development* 15, 347-354.
- Broszura Biogaz rolniczy. Opracowanie Stowarzyszenie Gmin Turystycznych Pojezierza Gostynińskiego. Dostępny w Internecie: <http://www.pojezierzegostyninskie.pl/pliki/file/broszura.pdf>.
- CES, 2014. Materiały własne firmy CES Sp. z o.o.
- Cheremisinoff N. P., Cheremisinoff P. N., Ellerbush F., 1980. *Biomass : Applications, Technology and Production*, Maroell Dekker Inc., New York, USA.
- Curkowski A., Mroczkowski P., Oniszk-Popławska A., Wiśniewski G., 2009. Biogaz rolniczy – produkcja i wykorzystanie, Mazowiecka Agencja Energetyczna Sp. z o.o.
- Curkowski A., Oniszk-Popławska A., Mroczkowski P., Zowski M., Wiśniewski G., 2011a. Przewodnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa.
- Curkowski A., Oniszk-Popławska A., Wiśniewski G., Zowski M., 2011b. Mała biogazownia rolnicza z lokalnym zagospodarowaniem ciepła odpadowego i masy pofermentacyjnej, Wydawca Fundacja Instytut na Rzecz Ekorozwoju, Warszawa.
- Dach J., 2010. Rynek biogazowni w Polsce – ocena i perspektywy, *Czysta Energia* 5.

- Deluga W., Mickiewicz B., Zienkiewicz P., Krużewski W., Katewicz E., 2013. OZE odnawialne źródła energii, Koszalin 2013, ISBN: 978-83-62621-08-8.
- Deublein D., Steinhauser A., 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Doan J., 2009. Biogas Projects in Australia: Commercial Applications and Preliminary Project Risk Assessment, Bakers Research Note.
- Dupont L., Accrosi A., 2006. Explosion characteristics of synthesized biogas at various temperatures. *Journal of hazardous materials*, BI 36, 520-525.
- Duszek H., Gawlik O., Sołtysik M., Szambelan A., 2009. Cała prawda o odpadach, Kompost. Zeszyt 3, Wrocław.
- Dz.U. 2001 Nr 97, poz. 1055. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 lipca 2001 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe.
- Dz.U. 2002 Nr 140, poz. 1174. Rozporządzenie Ministra zdrowia z dnia 15 lipca 2002 r. w sprawie substancji niebezpiecznych i preparatów niebezpiecznych, których opakowania należy zaopatrywać w zamknięcia utrudniające otwarcie przez dzieci i w wyczuwalne dotykem ostrzeżenie o niebezpieczeństwie.
- Dz.U. 2006 Nr 156, poz. 1118. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 17 sierpnia 2006 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo budowlane.
- Dz.U. 2007 Nr 147, poz. 1033. Ustawa z dnia 10 lipca 2007 roku o nawozach i nawożeniu.
- Dz.U. 2007 Nr 251, poz. 1885. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24.12.2007 r. w sprawie Polskiej Klasyfikacji Działalności (PKD).
- Dz.U. 2008 Nr 156, poz. 969. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. 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. 2010 Nr 34, poz. 182. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 23 lutego 2010 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. z 2010 Nr 213 poz. 1397. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko.
- Dz.U. 1994 Nr 89 poz. 414. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane.
- Dz.U. 1997 Nr 54 poz. 348. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne.
- Dz.U. 2001 Nr 115 poz. 1229. Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne.
- Dz.U. 2001 Nr 38 poz. 455. Rozporządzenie Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z 2 kwietnia 2001r. w sprawie geodezyjnej ewidencji sieci uzbrojenia terenu oraz zespołów uzgadniania dokumentacji projektowej.
- Dz.U. 2003 Nr 80 poz. 717. Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym.
- Dz.U. 2007 Nr 19 poz. 115. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 25 stycznia 2007 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o drogach publicznych.
- Dz.U. z 2011 Nr 86 poz. 476. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 kwietnia 2011 r. w sprawie procesu odzysku R10.

- Działy specjalne produkcji rolnej, 2010. Wikipedia : wolna encyklopedia, 2010-12-31 21:48Z [dostęp: 2014-03-18 09:29Z]. Dostępny w Internecie: [//pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Dzia%C5%82y_specjalne_produkcji_rolnej&oldid=24724837](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Dzia%C5%82y_specjalne_produkcji_rolnej&oldid=24724837).
- Enbridge, 2014. Dostępny w Internecie: <https://www.enbridgegas.com/gas-safety/about-natural-gas/components-natural-gas.aspx>.
- Energetykon, 2014. Przesył bez tajemnic. Dostępny w Internecie: <http://energetykon.pl/przesyl-bez-tajemnic,23057.html>.
- Fermentacja metanowa, 2010. Podstawy procesu fermentacji metanowej. Dostępny w Internecie: <http://agroenergetyka.pl/?a=article&idd=7>.
- FuelCal, 2014. Obszary stosowania technologii FuelCal®. Dostępny w Internecie: <http://www.multichem-eko.pl>.
- Gawlik J., 2007. Produkcja zwierzęca a ochrona środowiska, Lubuskie Aktualności Rolnicze nr 12.
- Gaz ziemny, 2014. Wikipedia : wolna encyklopedia, 2014-03-09 18:45Z [dostęp: 2014-03-18 09:28Z]. Dostępny w Internecie: [//pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Gaz_ziemny&oldid=38873972](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Gaz_ziemny&oldid=38873972).
- Gerardi M.H., 2003. The Microbiology of Anaerobic Digesters, Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 17-31.
- Ginalski Z., 2012. Substraty dla biogazowni rolniczych, Centrum Doradztwa Rolniczego Oddział w Radomiu.
- Głodek E., 2010. Przewodnik. Biogaz rolniczy. Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Opole.
- Gmiński Z., Polak D., 2007. Oczyszczanie gazu ziemnego 811[01].Z3.01, Poradnik dla ucznia, Wydawca Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom.
- Gnatowska R., 2010. Charakterystyka polskiego systemu certyfikacji pochodzenia energii elektrycznej, Polityka Energetyczna 13, 145-155.
- Holewa J., Kukulska-Zajac E., Pęgielska M., 2012. Analiza możliwości wprowadzania biogazu do sieci przemysłowej. Nafta-Gaz 8, 523-529.
- Jonsson O., Polman E., Jensen J.K., Eklund R., Schyl H., Ivarsson S., 2003. Sustainable gas enters the European gas distribution system. Raport Danish Gas Technology Center. Dostępny w Internecie: http://www.dgc.eu/sites/default/files/filarkiv/documents/C0301_sustainable_gas.pdf
- Kierunki rozwoju 2010, Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010-2020. Dokument przygotowany we współpracy z Ministrem Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa.
- Kołodziejek G., 2012. Możliwości wykorzystania potencjału energetycznego biogazu powstającego w trakcie procesu oczyszczania ścieków. Analiza opłacalności proponowanych rozwiązań, Nafta-Gaz 12, 1036-1043.
- Komora fermentacyjna 2010. Dostępny w Internecie: <http://rener.pl/?p=1797>
- Korozja elektrochemiczna 2013. Wikipedia : wolna encyklopedia, 2013-03-14 01:55Z [dostęp: 2014-03-18 09:26Z]. Dostępny w Internecie: [//pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Korozja_elektrochemiczna&oldid=35262234](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Korozja_elektrochemiczna&oldid=35262234).
- Korycińska A., 2009. Stan rozwoju sektora bioenergii. Odnawialne źródła energii nowym wyzwaniem dla obszarów wiejskich w Polsce. Wyd. Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa FA-PA, Opole.
- Kosewska K., Kamiński J.R., 2008. Analiza ekonomiczna budowy i eksploatacji biogazowni rolniczych w Polsce, Inżynieria Rolnicza 1, 189-194.
- Kostowski W., Górny K., 2010. Analiza możliwości mieszania biogazu z gazem ziemnym z uwzględnieniem limitów wymaganej jakości gazu sieciowego. INSTAL. Teoria i praktyka w instalacjach 3, 18-21.
- Kowalczyk-Juśko A., 2010. Źródło przychodu czy kłopot? Agroenergetyka 3.

- Kuczyńska I., Nogaj A., Pomykała R., 2011. Odpady w produkcji biogazu. Cz. II. Recycling 10 (130).
- Kuzdrański A., 2011. Fermentacja metanowa. Dostępny w Internecie: <http://www.e-biotechnologia.pl/Artykuly/fermentacja-metanowa>.
- Łucka I.A., Kołodziej A.U., Szymańska M., Pilarski K., 2011. Wykorzystanie biomasy w energetyce – aspekty ekonomiczne i ekologiczne. Rozdział: Rolnicze wykorzystanie masy pofermentacyjnej z biogazowni rolniczej. 277-304. Polskie Towarzystwo Ekonomiczne, Politechnika Koszalińska w Koszalinie.
- Margel L., 2004. Prognozowanie procesu fermentacji metanowej mieszaniny osadów ściekowych oraz gnojowicy, Białystok. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Rozprawy Naukowe, 112, pp. 21.
- Metanogeny, 2013. Wikipedia : wolna encyklopedia, 2013-12-05 16:46Z [dostęp: 2014-03-18 09:25Z]. Dostępny w Internecie: [//pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Metanogeny&oldid=38076267](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Metanogeny&oldid=38076267).
- Mikołajczak J., Wróbel B., Jurkowski A., 2009. Możliwości i bariery w produkcji biogazu z biomasy trwałych użytków zielonych w Polsce, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 9, 139-155.
- Montaż finansowy, 2011. Wikipedia : wolna encyklopedia, 2011-01-01 01:17Z [dostęp: 2014-03-18 09:27Z]. Dostępny w Internecie: [//pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Monta%C5%BC_finansowy&oldid=24763097](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Monta%C5%BC_finansowy&oldid=24763097).
- MT-Energie 2012, Środki ochrony przeciwpożarowej i przeciwybuchowej podczas budowy i eksploatacji biogazowni, MT-Energie Polska Sp. z o.o.
- Myczko A., Myczko R., Kołodziejczyk T., Golimowska R., Lenarczyk J., Janas Z., Kliber J., Karłowska J., Dolska M., 2011. Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych - poradnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych, Wydawnictwo ITP. Warszawa-Poznań.
- Ökobit 2014. Dostępny w Internecie: <http://www.oekobit-biogas.com>.
- Oleszkiewicz J., 1999. Eksploatacja składowisk odpadów. Poradnik decydenta, Lem Projekt s.c., Kraków, 126-127.
- Oniszk-Popławska A., Zowski M., Wiśniewski G., 2003. Produkcja i wykorzystanie biogazu rolniczego, EC BREC, Warszawa.
- OSM, 2014, Jak są zalety użytkowe gazu ziemnego.
- Piskowsia-Wasiak J., 2014. Uzdatanianie biogazu do parametrów gazu wysokometanowego, Nafta-Gaz, 2, 94-105.
- PN-C-04750:2011, 2011. PN-C-04750:2011 Paliwa gazowe. Klasyfikacja, oznaczenie i wymagania.
- PN-C-04752:2011, PN-C-04752:2011 Gaz ziemny. Jakość gazu w sieci przesyłowej.
- Pochodnia awaryjna, 2014. Dostępny w Internecie: <http://aat-biogas.pl/realizacje,pochodnie-spalania-biogazu,26.html>.
- POIiŚ, 2014. Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko 2014-2020. Dostępny w Internecie: <http://www.pois.gov.pl>.
- Pokrzywiak C., Nagy S., 2009. Porównanie separacji i koalescencji w układach zabezpieczających kolumnę absorpcyjną. Oczyszczanie gazu ziemnego. Technologie, 4, 38-41.
- Projekt OZE, 2012. Projekt ustawy o odnawialnych źródłach energii z dnia 09.10.2012 r.
- Projekt OZE, 2014. Projekt ustawy o odnawialnych źródłach energii z dnia 29.01.2014 r.
- Projekt techniczny, 2014. Wikipedia : wolna encyklopedia, 2014-03-12 15:13Z [dostęp: 2014-03-18 09:31Z]. Dostępny w Internecie: [//pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Projekt_tekniczny&oldid=38925890](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Projekt_tekniczny&oldid=38925890).
- Przewodnik, 2013. Przewodnik po programach priorytetowych NFOŚiGW – 2014 rok, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Warszawa.

- Rasi S., Veijanen A., Rintala J., 2007. Trace compounds of biogas from different biogas production plants. *Energy*, 32, 1375-1380.
- Rozporządzenie, 2002. Rozporządzenie (WE) nr 1774/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 3 października 2002 r. ustanawiające przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi.
- RPO, 2009. Regionalne Programy Operacyjne. Dostępny w Internecie: <http://www.fundusze-europejskie.gov.pl>
- Stacja CNG, 2013. Stacja tankowania CNG. Dostępny w Internecie: <http://www.vitkovice-milmet.pl/news/message/detail/id/240/lang/pl/site/39>.
- Strategia rozwoju, 2000. Strategia rozwoju energetyki odnawialnej, Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- Szczytko A., 2008. Tendencje oraz perspektywy rozwoju technologii biogazowych w Polsce. Praca magisterska, Wydział Elektryczny, Politechnika Wrocławska.
- Szlachta J., 2009. Ekspertyza. Możliwości pozyskiwania biogazu rolniczego jako odnawialnego źródła energii, Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.
- Ustawa 2014. Ustawa z dnia 24 stycznia 2014 r. o zmianie ustawy – Prawo energetyczne oraz niektórych innych ustaw.
- Wartość opałowa, 2013. Wikipedia: wolna encyklopedia, 2013-12-24 23:45Z [dostęp: 2014-03-18 09:23Z]. Dostępny w Internecie: http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Warto%C5%9B%C4%87_opa%C5%82owa&oldid=38234971.
- WEC, 2007: Survey of Energy Resources.
- Wiese J., Kujawski O., 2006. Biogaz zyskuje na znaczeniu. *Czysta Energia*, 10, 1-4.
- Wodolazski A., Rejman-Burzyńska A., 2011. Metan z biogazu – nowe paliwo dla pojazdów samochodowych, *Czysta energia* 8, 119-120. Dostępny w Internecie: <http://www.e-czytelnia.abrys.pl/?mod=tekst&id=13403>.
- Założenia Programu, 2009. Założenia Programu rozwoju biogazowni rolniczych, Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Warszawa.
- Zbiornik biogazu, 2014. Dostępny w Internecie: <http://jackhome.w.interia.pl/ferment.htm>.

17. STRESZCZENIE

Głównymi nieodnawialnymi surowcami energetycznymi są obecnie węgiel kamienny, ropa naftowa oraz ich pochodne. Stopniowe wyczerpywanie się złóż tych surowców, a także wzrost ich cen w ostatnich latach spowodował wzrost intensywności poszukiwań alternatywnych źródeł energii. Jednym z takich źródeł jest biogaz, pozyskiwany w procesie beztlenowej fermentacji biomasy, składający się głównie z metanu, dwutlenku węgla oraz niewielkich ilości azotu, siarkowodoru i wodoru. Możliwości wykorzystania oraz aspekty środowiskowe związane z wytwarzaniem biogazu stanowią interesujący temat, szczególnie w obliczu obowiązku redukcji emisji dwutlenku węgla do atmosfery, nałożonego na kraje Unii Europejskiej. Ważną kwestią jest także wybór technologii produkcji biogazu, determinowany rodzajem wykorzystanego substratu. Pomimo istnienia wielu działających już od wielu lat biogazowni rolniczych na całym świecie, wciąż prowadzone są badania i prace mające na celu optymalizację technologii wytwarzania

biogazu oraz minimalizację kosztów produkcji i wynikających z niej zagrożeń dla środowiska.

Niniejsza praca przedstawia zagadnienia dotyczące zarówno technicznych, jak i technologicznych aspektów związanych z wytwarzaniem i zastosowaniem biogazu wytwarzanego w biogazowniach rolniczych. Wspomniano także o aspektach prawnych i ekonomicznych związanych z budową biogazowni w Polsce. Praca zawiera podstawowe informacje dotyczące procesu fermentacji beztlenowej, ze szczególnym uwzględnieniem takich parametrów jak: temperatura, pH, czas retencji, dostarczanie składników odżywczych, stężenie inhibitorów czy równomierne mieszanie zawartości komory fermentacyjnej. Są to najbardziej krytyczne parametry, które wpływają na stabilność procesu fermentacji, jak również na ilość uzyskanego biogazu. W opracowaniu opisano możliwości zastosowania biogazu do wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej oraz użycia biogazu po procesie uzdatniania w sieciach gazowych bądź też jako paliwo w silnikach pojazdów samochodowych. Przedstawiono technologie wykorzystywane obecnie na świecie do produkcji i oczyszczania biogazu oraz uwarunkowania rozwoju biogazowni w Polsce, dobre praktyki i negatywne aspekty produkcji biogazu oraz wykorzystania przefermentowanej biomasy w rolnictwie. Publikacja dostarcza najnowszych informacji do oceny możliwości budowy biogazowni i wykorzystania biogazu pod kątem technicznym, ekonomicznym oraz prawnym.

Słowa kluczowe: biogaz, produkcja biogazu, fermentacja metanowa, wykorzystanie biogazu

18. SUMMARY

Nowadays, the main non-renewable fuels are coal, crude oil and their derivatives. The gradual exhaustion of deposits of these materials and high increase in their prices in the last decade resulted in increased intensity of the search for alternative energy sources. Biogas is one of the alternative energy sources, produced during anaerobic digestion of biomass. It contains methane, carbon dioxide and small amounts of nitrogen, hydrogen sulphide and hydrogen. The possibilities of biogas application and the environmental aspects associated with the production of biogas constitute an interesting topic, especially in view of the commitment to reduce emissions of carbon dioxide, imposed on the member states of the European Union. The choice of technology for biogas production, determined by the type of substrate used, is a crucial issue. In spite of the great number of farm biogas plants all over the world, research aimed at the optimisation of technology of biogas production and at reducing the production cost and the threat to the environment is still continued.

This paper presents the technical and technological aspects related to the production and application of biogas produced in farm biogas plants. It describes the legal and economic aspects related to the construction of biogas plants in Poland.

The paper contains basic information about anaerobic digestion and parameters such as temperature, pH, retention time, nutrients or mixing. These are the crucial parameters which determine the stability and efficiency of the process. The authors describe the applicability of biogas for the production of electric and thermal power and its application in the gas networks and as a vehicle fuel. The technologies for biogas production and cleaning applied in biogas plants all over the world and the negative aspects of biogas production are also presented here. The paper provides information allowing the estimation of the opportunity of building biogas plants and the application of biogas, with special attention to the technical, economic and legal aspects.

Key words: biogas, biogas production, methane fermentation, biogas applications

Adresy Autorów:

Dariusz Wiącek
Jerzy Tys
Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
ul. Doświadczalna 4
20-290 Lublin
e-mail: d.wiacek@ipan.lublin.pl

Address of Authors:

Dariusz Wiącek
Jerzy Tys
The Bohdan Dobrzański Institute of Agrophysics
Polish Academy of Sciences
ul. Doświadczalna 4
20-290 Lublin