

Alina Kowalczyk-Juško

# POTENCJAŁ SUROWCÓW DO PRODUKCJI BIOGAZU NA TERENIE GMINY ŁASZCZÓW

---

Alina Kowalczyk-Juško, dr – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

adres korespondencyjny:  
Wydział Nauk Rolniczych w Zamościu  
ul. Szczepińska 10, 22-400 Zamość  
e-mail: alina.jusko@up.lublin.pl

## POTENTIAL OF RAW MATERIALS FOR BIOGAS PRODUCTION IN THE ŁASZCZÓW COMMUNITY

**SUMMARY:** Biogas can be produced from purposeful raw material like arable crops silages (e.g. corn, rye, grasses), sewage treatment plants sediments, organic wastes from waste dumps and also from wastes from agriculture and food industry. In the specific case of Łaszczów commune the biggest potential of biogas was identified in agriculture with raw material in the form of manure from big animal farms and maize silage cultivated at 10% of marginal agricultural soils area. Total quantity of biomethan from all sources in the area of Łaszczów commune account to 369-435 thousand m<sup>3</sup>, with energy equivalent of 5,7-6,7 GJ when proper energy demand from biogas plant is considered.

**KEY WORDS:** biomass, biogas, organic wastes

---

## Wstęp

Poszukiwanie alternatywnych źródeł energii skłania do sięgania po biomasę, która po odpowiednim przygotowaniu może być przetworzona w różnych procesach na energię. Jedną z metod konwersji biomasy jest beztlenowa fermentacja, nazywana też metanową, prowadzona w instalacjach określanych jako biogazownie lub bioelektrownie. Biogazownie jako źródła odnawialnej energii cieszą się coraz większym zainteresowaniem w całej Europie, w tym także w Polsce. Opracowane zostały rządowe strategie rozwoju produkcji biogazu, co świadczy o wadze tego problemu. Bioelektrownie to jednak instalacje kosztowne, dlatego każda decyzja inwestycyjna powinna być poprzedzona analizą możliwości pozyskania substratów, które będą w niej przetwarzane.

Celem opracowania było wskazanie możliwości produkcji biogazu z różnych źródeł oraz metod oceny zasobów substratów do produkcji biogazu. Proponowana metodyka została zastosowana do oszacowania potencjału produkcji biogazu na terenie jednej z gmin na Lubelszczyźnie.

## 1. Podstawy produkcji biogazu

Człowiek w wyniku działalności produkcyjnej, rolniczej, a także w gospodarstwach domowych wytwarza ogromne ilości odpadów i ścieków. Gromadzone są one na ewidencjonowanych wysypiskach oraz na nieokreślonej liczbie dzikich wysypisk śmieci. Ulegają ciągłym przemianom, a produktem anaerobowej fermentacji związków pochodzenia organicznego jest gaz wysypiskowy (biogaz). Pomimo że nie jest on toksyczny, ze względu na swoją gęstość (1,04 razy większa niż gęstość powietrza), niską zawartość tlenu oraz wysoką łatwopalność stanowi poważne zagrożenie środowiska i mieszkańców okolic wysypisk. Biogaz, który gromadzi się przy powierzchni ziemi i w jej zagłębieniach zawiera od 5 do 15% metanu, który w połączeniu z powietrzem tworzy mieszaninę wybuchową<sup>1</sup>. Biogaz powstaje w środowisku naturalnym, w niekontrolowanych warunkach wysypisk odpadów, a także w zorganizowanych instalacjach nazywanych biogazowniami. Szczególnym rodzajem biogazowni są biogazownie rolnicze, w których biogaz produkowany jest z odpadów i surowców pochodzących z rolnictwa.

Ustawa z 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne<sup>2</sup> definiuje biogaz rolniczy jako paliwo gazowe otrzymywane z surowców rolniczych, produktów ubocznych rolnictwa, płynnych lub stałych odchodów zwierzęcych, produktów ubocznych lub pozostałości przemysłu rolno-spożywczego, czy też biomasy leśnej w procesie fermentacji metanowej.

Ze względu na rodzaj substratu wykorzystywanego do wytworzenia biogazu wyróżnić można następujące jego źródła:

<sup>1</sup> W. M. Lewandowski, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa 2006, s. 339.

<sup>2</sup> Dz. U. nr 54, poz. 348 z późn. zm.

- zwierzęce (gnojowica i obornik);
- pochodzące z produkcji roślinnej (uprawy energetyczne);
- komunalne (odpady organiczne, osad ściekowy);
- pochodzące z przemysłu spożywczego (na przykład odpady z browarów, cukrowni, rzeźni)<sup>3</sup>.

Występujące w odpadach i ściekach komunalnych, odpadach z przemysłu rolno-spożywczego, a także w odchodach zwierząt: celuloza, białko, węglowodany i skrobia są w drodze fermentacji beztlenowej przetwarzane przez bakterie między innymi na gaz, który średnio zawiera:

- 65% metanu;
- 34,8% dwutlenku węgla;
- 0,2% siarkowodoru;
- śladowe ilości wodoru, tlenku węgla II, azotu oraz tlenu.

Biogaz jest produktem fermentacji beztlenowej związków pochodzenia organicznego, zawierających tłuszcze, białko i węglowodany. Związki te występują w odpadach komunalnych pochodzenia biologicznego, ściekach komunalnych i przemysłu rolno-spożywczego, a także w odchodach zwierząt.

Produkcja biometanu w procesie fermentacji metanowej przebiega w następujących fazach:

- faza hydrolityczna, umożliwiająca proces zakwaszania, podczas którego dominujące, fakultatywne bakterie acidogenne przetwarzają rozpuszczone w wodzie substancje chemiczne, w tym produkty hydrolizy, do krótkołańcuchowych kwasów organicznych, alkoholi (metanol, etanol), aldehydów i produktów gazowych:  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2$ ;
- faza acidogenna (kwasogeneza) to rozkład produktów hydrolizy do krótkołańcuchowych kwasów organicznych, głównie do lotnych kwasów tłuszczowych, alkoholi, aldehydów,  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2$ , oraz w mniejszej ilości do octanów. Niektóre związki powstałe w tej fazie mają metanogeny charakter i są wykorzystywane przez bakterie metanowe;
- faza acetogenna (octanogeneza), w czasie której następuje przetwarzanie etanolu oraz lotnych kwasów tłuszczowych do octanów oraz  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2$  przez bakterie acetogenne;
- faza metanogenna – to najważniejsza faza tego procesu, podczas której następuje produkcja metanu przez bakterie metanowe z kwasu octowego,  $\text{H}_2$  i  $\text{CO}_2$  oraz mrówczanu, metanolu, metyloaminy lub siarczku dwumetylowego.

Z bilansu dobrze przeprowadzonej fermentacji wynika, że z 1 kg substancji organicznej otrzymuje się około 0,4 m<sup>3</sup> biogazu, który ma wartość opałową 16,8-23 MJ/m<sup>3</sup>. W przypadku oddzielenia z biogazu  $\text{CO}_2$  jego wartość opałowa zwiększa się do 35,7 MJ/m<sup>3</sup>. Energia zawarta w 1 m<sup>3</sup> takiego biogazu odpowiada energii zawartej w 0,93 m<sup>3</sup> gazu ziemnego, w 1 dm<sup>3</sup> oleju napędowego, w 1,25 kg węgla lub odpowiada 9,4 kW·h energii elektrycznej.

<sup>3</sup> *Pozyskiwanie i energetyczne wykorzystanie biogazu rolniczego*, red. E. Głodek, Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych, Opole 2007.

W komorze fermentacyjnej muszą być utrzymywane właściwe warunki biologiczne, aby produkcja biogazu przebiegała efektywnie. Wynikają one z proporcji i stężeń poszczególnych kosubstratów (na przykład kiszzonek, gnojowicy). Ich dobór wynika z analizy fizykochemicznej oraz wstępnej symulacji procesu przeprowadzonego w warunkach laboratoryjnych. Konfiguracja instalacji zapewnia optymalizację procesu, nawet przy zmianach proporcji udziałowych kosubstratów lub zmianach ich rodzaju<sup>4</sup>. Udział poszczególnych substratów zależy od stężenia suchej masy w fermentorze. Utrzymanie właściwego stężenia wsadu w przestrzeni fermentora zapewniają mechaniczne, hydrauliczne bądź gazowe systemy mieszania, które zapobiegają wystąpieniu stref przeciążenia ładunkiem organicznym. Bakterie powodujące fermentację są wrażliwe na odczyn, który musi być lekko zasadowy (pH ok. 7,5), nie znoszą tlenu i światła i rozwijają się w wąskim przedziale temperatur: 33-38°C – bakterie mezofilne i 55-65°C – bakterie termofilne.

Wybór technologii produkcji biogazu zależy od wielu czynników, z których najważniejsze to surowiec, z którego ma być on produkowany, oraz ekonomiczna opłacalność, uwzględniająca poniesione nakłady inwestycyjne.

Główne źródła uzyskiwania biogazu to:

- fermentacja osadu czynnego w komorach fermentacyjnych oczyszczalni ścieków;
- fermentacja biodegradowalnej frakcji odpadów komunalnych na wysypisku;
- fermentacja organicznych odpadów z przemysłu rolno-spożywczego;
- fermentacja odpadów poprodukcyjnych i surowców pozyskanych z produkcji celowej w gospodarstwach rolnych<sup>5</sup>.

Źródła te należy rozpatrywać oddzielnie, gdyż pozyskiwanie biogazu z każdego z nich różni się technologicznie. Wprawdzie rozwija się technologia tak zwanej wspólnej fermentacji, jednak dla oceny aktualnego stanu zasobów biogazu odrębne potraktowanie wymienionych czterech jego źródeł wydaje się poprawne.

## 2. Biogaz z oczyszczalni ścieków

Znaczącym źródłem biogazu mogą stać się oczyszczalnie ścieków. W Polsce funkcjonuje ponad 4 tys. oczyszczalni ścieków komunalnych i przemysłowych, gdzie powstają znaczne ilości osadów, stanowiące doskonały surowiec do produkcji biogazu.

Osady ściekowe stanowią uboczny produkt oczyszczania ścieków. W ich skład wchodzi cząstki stałe mineralne i organiczne, ciecz osadowa z rozpuszczonymi w niej substancjami oraz pęcherzyki gazów. Zawartość suchej masy w osa-

<sup>4</sup> A. Kowalczyk-Juśko, *Wpływ doboru substratów na wskaźniki opłacalności inwestycyjnej produkcji biogazu*, Roczniki Naukowe SERiA, t. 10, Z. 6, Warszawa 2008, s. 48-51.

<sup>5</sup> W. M. Lewandowski, *Proekologiczne...*, op.cit., s. 339.

dach wynosi około 4-5%, w tym ponad 90% masy organicznej, co pozwala na ich beztlenową fermentację.

Wyróżnia się następujące rodzaje osadów ściekowych:

- osady wstępne, które wydzielane są w osadnikach wstępnych, w procesie mechanicznego oczyszczania ścieków;
- osady wtórne (nadmierne), które powstają w osadnikach wtórnych, w wyniku oddzielania ze ścieków osadu czynnego.

Osady te noszą nazwę osadów surowych i charakteryzują się dużą zagniwalnością, nieprzyjemnym zapachem oraz, ze względu na zawartość mikroorganizmów chorobotwórczych, znacznym zagrożeniem sanitarnym. Stanowią 1-2% ogólnej objętości dopływających ścieków. Zawierają wodę na poziomie 99% i materię organiczną na poziomie 81,5%.

Do bezpośredniej produkcji biogazu najlepiej dostosowane są oczyszczalnie biologiczne, które mają zastosowanie we wszystkich oczyszczalniach ścieków komunalnych oraz w części oczyszczalni przemysłowych. Ponieważ oczyszczalnie ścieków mają stosunkowo wysokie zapotrzebowanie własne na energię cieplną i elektryczną, energetyczne wykorzystanie biogazu z fermentacji osadów ściekowych może w istotny sposób poprawić rentowność usług komunalnych. Ze względów ekonomicznych pozyskanie biogazu do celów energetycznych jest uzasadnione na większych oczyszczalniach ścieków, przyjmujących średnio 8-10 tys. m<sup>3</sup>/dobę.

Fermentacja metanowa jest jedną z najstarszych metod stabilizacji osadów ściekowych. Zachodzi ona zarówno w zbiornikach otwartych, w warunkach panujących w danym czasie w środowisku, jak również w wydzielonych komorach fermentacji, w beztlenowych, kontrolowanych warunkach. Biogaz powstający podczas fermentacji osadów ściekowych zawiera 55-70% biometanu, 27-44% dwutlenku węgla, 0,2-1,0% wodoru, 0,2-3,0% siarkowodoru. Często w oczyszczalniach biogaz spalany jest w pochodni, jednak bardziej racjonalne jest jego spalanie w kotłach gazowych lub silnikach przystosowanych do spalania gazu połączonych z prądnicą, produkujących ciepło i energię elektryczną, zaś pochodnie powinny służyć tylko do spalania nadmiaru gazu w przypadku jego nadprodukcji.

Fermentację metanową można stosować nie tylko przy utylizacji osadów ściekowych, ale również procesowi temu można poddawać ścieki bogate w substancje organiczne, szczególnie gdy w procesach technologicznych powstają ścieki podgrzane lub istnieje odpadowe źródło ciepła technologicznego. Procesowi temu poddawane są ścieki przemysłowe, szczególnie z cukrowni, drożdżowni, zakładów produkujących mączkę ziemniaczaną.

Przefermentowane osady, które nie zawierają związków toksycznych, są po zagęszczeniu i odwodnieniu wykorzystane przyrodniczo, najczęściej do nawożenia i użyźniania gleby, zakładania trawników, zagospodarowania nieużytków, rekultywacji gruntów. Oczyszczalnie często oferują rolnikom taki organiczny nawóz bez jakiegokolwiek odpłatności, a skład i jakość tego osadu badane są regularnie (zgodnie z obowiązującymi przepisami), nie ma więc ryzyka zanieczyszczenia gruntu metalami ciężkimi czy biogenami. Takie wykorzystanie osadów

uzależnione jest od spełnienia wszystkich wymogów higieniczno-sanitarnych, a przeznaczenie ich do rolniczego wykorzystania poprzedzane jest oceną przydatności i oddziaływania na środowisko, ponieważ mogą one zawierać substancje szkodliwe (metale ciężkie) i toksyczne. Gdy stężenie substancji niekorzystnych w przefermentowanym substracie jest wysokie, osady poddawane są procesom termicznym, z możliwością odzysku energii z ich spalania. Uzyskany popiół, którego ilość jest zdecydowanie mniejsza w porównaniu z wyjściową ilością osadów, jest ostatecznie deponowany na składowiskach odpadów<sup>6</sup>.

## 2.1. Potencjał biogazu z oczyszczalni w gminie Łaszczów

Poziom produkcji biogazu z osadów ściekowych zależy od ilości oczyszczalnych ścieków. Metodyka szacowania potencjału biogazu opiera się na informacjach dotyczących wydajności oczyszczalni ścieków. Przyjmuje się przyrost suchej masy osadu nadmiernego na 1 m<sup>3</sup> odprowadzonych ścieków na poziomie 0,3 kg s.m.o./m<sup>3</sup>. Produkcja biometanu z 1 kg s.m.o. wynosi około 0,3 m<sup>3</sup> <sup>7</sup>.

$$P_{bo} = V \cdot S \cdot W_{CH} \text{ [m}^3\text{/rok]}, \quad (1)$$

gdzie:

- $P_{bo}$  – potencjał biometanu z oczyszczalni ścieków,
- $V$  – ilość oczyszczanych ścieków w ciągu roku [m<sup>3</sup>/rok],
- $S$  – przyrost suchej masy osadu nadmiernego na m<sup>3</sup> odprowadzanych ścieków (0,3 kg s.m.o./m<sup>3</sup>),
- $W_{CH}$  – produkcja metanu na kg s.m.o (0,3 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg s.m.o.).

Potencjał energetyczny biometanu otrzymuje się z zależności:

$$P_{boe} = P_{bo} \cdot Q_{CH} \text{ [MJ/rok]}, \quad (2)$$

gdzie:

- $Q_{CH}$  – wartość opałowa biometanu (36 MJ/m<sup>3</sup>).

Z uwagi na konieczność dostarczania ciepła do ogrzania komór fermentacyjnych należy przyjąć, że średniorocznie 60% wytworzonego ciepła zostanie zużyte w tym celu. W związku z tym dla obliczenia potencjału technicznego biometanu należy potencjał energetyczny  $P_{boe}$  pomniejszyć o tę wartość.

Gmina Łaszczów jest w trakcie budowy oczyszczalni ścieków, której przepustowość będzie wynosić 378 m<sup>3</sup> na dobę. Osad z planowanej oczyszczalni uwzględniono jako potencjalny substrat do produkcji biogazu. Przyjmując przyrost suchej masy osadu nadmiernego na 1 m<sup>3</sup> odprowadzonych ścieków na poziomie 0,3 kg s.m.o./m<sup>3</sup> oraz produkcję biometanu z 1 kg s.m.o. na poziomie 0,3 m<sup>3</sup>, obliczy się potencjał biometanu (tabela 1).

Oszacowana ilość biogazu, którą można pozyskać w gminie Łaszczów po uruchomieniu oczyszczalni ścieków, pozwoli wyprodukować 192,22 GJ energii, po uwzględnieniu zapotrzebowania własnego instalacji.

<sup>6</sup> A. Kowalczyk-Juško, *Technologie produkcji biogazu, w: Energetyka a ochrona środowiska naturalnego w skali globalnej i lokalnej*, red. B. Kościak, M. Sławińska, Warszawa 2009, s. 78-94.

<sup>7</sup> E. Klugmann-Radziemska, *Odnawialne źródła energii – przykłady obliczeniowe*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2009.

Tabela 1  
Obliczenia potencjału biometanu z oczyszczalni ścieków

Parametr	Oznaczenie	Jednostka	Wartość
Ilość oczyszczanych ścieków w ciągu roku	V	m <sup>3</sup> /rok	137 970,0
Przyrost suchej masy osadu nadmiernego na m <sup>3</sup> odprowadzanych ścieków	S	kg s.m.o./m <sup>3</sup>	0,3
Produkcja metanu na kg s.m.o.	WCH	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg s.m.o.	0,3
Potencjał biometanu z oczyszczalni ścieków	Pbo	m <sup>3</sup> /rok	12 417,3

Źródło: opracowanie własne.

### 3. Biogaz z wysypisk odpadów

Ilość odpadów komunalnych produkowanych w Polsce w ciągu roku oceniana jest na około 10 mln t. W grupie niesegregowanych odpadów mieszanych frakcja biodegradowalna stanowi ponad 50%. Biodegradacja, a więc rozkład tych odpadów odbywa się na składowiskach, a jednym z produktów rozkładu jest biogaz, który można wykorzystać do produkcji energii. Zakładając wydajność biogazu na poziomie 200 m<sup>3</sup>/t odpadów, można obliczyć, że produkcja biogazu z biodegradowalnej frakcji odpadów w Polsce mogłaby wynieść miliard m<sup>3</sup>. Przyjmując, że udział metanu w uzyskanym biogazie stanowi 50%, to teoretyczna ilość metanu wynosi 500 mln m<sup>3</sup>. Wartość energetyczna biometanu wynosi 36 MJ/m<sup>3</sup>, a więc zaniechanie odzysku biogazu z odpadów biodegradowalnych oznacza utratę 18 tys. TJ w skali kraju.

Bezproduktywne uwalnianie biometanu do atmosfery na składowiskach odpadów to nie tylko strata energii, ale też negatywny wpływ na środowisko, gdyż metan ma 21-krotnie większy wpływ na powstanie efektu cieplarnianego niż dwutlenek węgla, ponadto stwarza określone zagrożenia: wybuchowe, samozapłonu składowisk, zanieczyszczenia wód gruntowych, emisji odorów. Jednak pozyskanie biometanu z odpadów obarczone jest wieloma ograniczeniami organizacyjnymi i technologicznymi. Wyróżnić można dwa podejścia do problemu biodegradacji odpadów: odbiór biogazu uwalniającego się podczas ich rozkładu na wysypisku lub fermentacja odpadów w kontrolowanych warunkach przed zdeponowaniem pozostałości pofermentacyjnych<sup>8</sup>.

Technologia fermentacji odpadów komunalnych nie odbiega od technologii stosowanych w przypadku osadów ściekowych, wysoko obciążonych ścieków, czy też substratów pochodzących z produkcji rolnej (biogazowni rolniczych). Jedynie budowa reaktorów i dobór urządzeń peryferyjnych powinny uwzględniać wymagania specyficznego substratu, jakim są zmieszane odpady. Realizowane są zarówno technologie mezofilowe, jak i termofilowe, głównie jednostop-

<sup>8</sup> J. Oleszkiewicz, *Eksploatacja składowiska odpadów. Poradnik decydenta*, Lem Projekt, Kraków 1999; K. Grzesik, *Wykorzystanie biogazu wysypiskowego*, w: *Zielone prądy w edukacji*, Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej, Kraków 2005.

niowe. Najwięcej zakładów wybudowano w Niemczech, przy czym są to głównie instalacje o małej przepustowości, podczas gdy w Belgii, Holandii i Francji dominują jednostki znacznie większe. W Polsce pierwsze instalacje powstały w Zgorzelcu i w Puławach.

W beztlenowych warunkach występujących na składowisku odpadów ich frakcja organiczna ulega rozkładowi, przy czym na większości krajowych wysypisk gaz ulatnia się do atmosfery. Nie wszystkie odpady organiczne ulegają pełnemu rozkładowi, a przebieg procesu fermentacji metanowej zależy od wilgotności, składu, gęstości (ubicia) odpadów, wysokości ich składowania, temperatury i innych czynników. Gaz składowiskowy różni się od biogazu z innych źródeł zawartością znacznej liczby śladowych substancji organicznych, których do tej pory wykryto około 300.

Odgazowanie składowiska odpadów może odbywać się w sposób:

- pasywny – wykonanie odwiertów (tak zwanych studni) w składowisku na całą jego głębokość i zainstalowanie pochodni spalających gaz wydobywający się pod własnym ciśnieniem lub tylko kominów wentylacyjnych)
- aktywny – studnie poboru gazu połączone są ze sobą kolektorami poziomymi, a całość podłączona jest do odpowiednich urządzeń wytwarzających w układzie podciśnienie o stałej wartości; metoda ta daje większą efektywność odgazowania i pozwala wykorzystać pozyskany gaz do celów energetycznych.

W wyniku trwania procesów mikrobiologicznych z upływem czasu zmniejsza się ilość substancji organicznych w odpadach i tym samym następuje spadek ilości pozyskiwanego metanu oraz opłacalności jego pozyskiwania i wykorzystywania energetycznego. Okres eksploatacji składowiska odpadów komunalnych w kierunku pozyskania biogazu ocenia się na około 20 lat. Istnieje możliwość odgazowania już istniejących składowisk, jak też instalacji systemów odgazowujących na nowo tworzonych składowiskach odpadów. Liczba składowisk wyposażonych w instalacje odgazowywania stale rośnie, a część instalacji wyposażona jest w urządzenia do produkcji energii cieplnej i/lub elektrycznej.

Sterowana fermentacja metanowa odpadów polega na przeprowadzaniu beztlenowego, biochemicznego rozkładu substancji organicznej w bioreaktorze w ściśle kontrolowanych warunkach, a jej produktami są biogaz oraz pozostałość stała o własnościach nawozowych. W Europie wybudowano kilkadziesiąt zakładów, w których przetwarzane są podczas fermentacji odpady zawierające więcej niż 10% wagowo biofrakcji z odpadów komunalnych<sup>9</sup>.

W praktyce stosowane są trzy najważniejsze kierunki utylizacji gazu składowiskowego:

- wytwarzanie w kotłach gazowych gorącej wody lub pary;
- wytwarzanie energii elektrycznej przez spalanie gazu w silnikach lub turbinach;
- oddanie gazu do sieci dystrybucji lub przesyłowej po doprowadzeniu gazu do odpowiedniej jakości.

<sup>9</sup> A. Kowalczyk-Juško, *Technologie...*, op.cit., s. 78-94.



### 3.1. Potencjał biogazu z odpadów komunalnych w gminie Łaszczów

Pozyskiwanie biogazu jest zasadne na tych wysypiskach, gdzie składa się ponad 10 tys. ton odpadów rocznie. Wartość opałową biogazu wysypiskowego przyjmuje się na poziomie  $21,6 \text{ MJ/m}^3$ . Wykorzystując te informacje, ilość pozyskiwanego biogazu można oszacować według wzoru:

$$P_{\text{bw}} = L \cdot R \cdot (1 - k \cdot c - e^{-kt}) \text{ [m}^3/\text{rok}], \quad (3)$$

gdzie:

- $P_{\text{bw}}$  – potencjał biogazu wysypiskowego,
- $L$  – ilość biogazu pozyskiwanego z 1 kg odpadów ( $0,17 \text{ m}^3/\text{kg}$ ),
- $R$  – szybkość napełniania wysypiska [ $\text{kg}/\text{rok}$ ],
- $k$  – odwrotność liczby lat pozyskiwania biogazu,
- $c$  – liczba lat od zamknięcia wysypiska (w przypadku funkcjonującego wysypiska  $c = 0$ ),
- $e$  – liczba logarytmiczna = 2,718,
- $t$  – liczba lat, od kiedy otwarte jest wysypisko.

Na terenie gminy Łaszczów od 9 lat funkcjonuje wysypisko odpadów, którego szybkość napełniania wynosi  $190 \text{ t}/\text{rok}$ . W związku z tym, że pozyskiwanie biogazu jest zasadne na tych wysypiskach, gdzie deponuje się ponad 10 tys. ton odpadów rocznie, nie zakłada się pozyskiwania biogazu na samym składowisku, co nie wyklucza wykorzystania części odpadów organicznych do produkcji biogazu. Technologia taka, nazywana wspólną fermentacją, pozwala zagospodarować organiczną frakcję odpadów komunalnych, która może być fermentowana łącznie z osadami ściekowymi, odpadami z przemysłu rolno-spożywczego i rolnictwa. Charakter gminy pozwala przypuszczać, że frakcja biodegradowalna nie stanowi dużej części odpadów deponowanych na tym składowisku. W związku z powyższym odstąpiono od oszacowania potencjału energii możliwej do pozyskania z odpadów komunalnych.

## 4. Biogaz rolniczy

Biogazownie rolnicze, oparte na procesie fermentacji metanowej, wdrażane są na szeroką skalę na całym świecie. Wykorzystuje się w nich biomasę pochodzącą z plantacji roślin energetycznych oraz produkty uboczne, a także odpady pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. W zależności od charakteru działalności produkcyjnej gospodarstw rolnych różne są produkty odpadowe, z których można wytwarzać biogaz. Do surowców bardzo dobrze nadających się do zastosowania w biogazowniach rolniczych należą takie materiały, jak nawozy naturalne (na przykład gnojowica, obornik), odpady rolne poprodukcyjne (na przykład odpady zbożowe, odpady pasz), rośliny uprawne (na przykład kukurydza, pszenżyto, pszenica, jęczmień, rzepak, lucerna, trawa sudańska, burak pastewny, burak cukrowy, ziemniak). W biogazowniach rolniczych możliwe jest również przetwa-

rzanie na biogaz odpadów organicznych, pochodzących na przykład z produkcji spożywczej lub biopaliw<sup>10</sup>.

Biogazownia rolnicza składa się z komory lub kilku komór fermentacyjnych, zbiornika pofermentacyjnego w postaci komory, laguny oraz modułu kogeneracyjnego. Kosubstraty, zgromadzone uprzednio w zbiornikach wstępnych (na przykład gnojowica), oraz kiszonki stają się po rozdrobnieniu i homogenizacji wsadem energetycznym dla instalacji biogazowej.

Pozostałości pofermentacyjne transportowane są do komory pofermentacyjnej lub laguny. Zachodzi tu proces wygaszania fermentacji i odgazowania osadu, który następnie wykorzystywany jest jako nawóz rolniczy. Wyprodukowany biometan, po usunięciu siarkowodoru, jest kierowany do modułu kogeneracyjnego (silnika gazowego), w którym energia chemiczna biogazu ulega konwersji na energię elektryczną oraz ciepłą. Część tej energii jest przeznaczona na pokrycie potrzeb własnych biogazowni (ogrzanie komór), a pozostała jest sprzedawana odbiorcom zewnętrznym. Jeżeli instalacja kogeneracyjna jest poza trybem pracy, urządzeniem spalającym biogaz jest pochodnia gazowa. Elektrociepłownia biogazowa wyposażona jest w urządzenia i podzespoły zapewniające bezpieczną eksploatację, takie jak na przykład system detekcji gazu, system zabezpieczeń poziomów oraz ciśnień, a także zdalny monitoring wyposażony w automatykę sterującą i kontrolującą. Ponadto istnieje możliwość oczyszczenia biometanu poprzez osuszenie i usunięcie siarkowodoru i dwutlenku węgla, co umożliwia wprowadzenie go do gazociągu.

Obecnie podstawowym substratem wykorzystywanym w biogazowniach rolniczych jest gnojowica. W zależności od gatunku zwierząt ilość energii zawartej w biogazie pochodzącym z gnojowicy jest różna. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że najwyższą wartość energetyczną biogazu uzyskuje się z odchodów drobiu, nieco niższą natomiast z gnojowicy pochodzącej od bydła i trzody chlewnej. Biogaz z gnojowicy bydłowej charakteryzuje się niższą zawartością biometanu, co wynika z faktu, że w żołądkach bydła, a więc zwierząt przeżuwających zachodzi już wstępna fermentacja związków organicznych, przez co gnojowica jest nieco uboższa. Stężenie substancji organicznych wpływa na ekonomikę procesu fermentacji. Ze względu na niskie stężenie substancji organicznych w gnojowicy uzasadnione jest uzupełnianie wsadu różnymi substratami organicznymi dostępnymi na lokalnym rynku. Mogą to być odpady z rzeźni, pozostałości z produkcji roślinnej, a także biomasa z celowych upraw polowych. Kosubstraty w procesie fermentacji beztlenowej umożliwiają właściwe obciążenie komory fermentacyjnej, optymalizują kinetykę procesu fermentacji metanowej poprzez lepszą konfigurację proporcji węgla do azotu, polepszając jej efektywność i opłacalność ekonomiczną. Fermentacja samej gnojowicy jest nieefektywna. Aby zintensyfikować proces, należy zwiększyć zawartość suchej masy w komorze przez dodanie kosubstratów. Często w tym celu wykorzystuje się biomasę z celowych upraw: kukurydzy, żyta, sorgo, lucerny. Mogą być to również odpady z przetwórci owoców, warzyw, a nawet substraty pochodzenia

<sup>10</sup> W. M. Lewandowski, *Proekologiczne...*, op.cit., s. 339.

zwierzęcego z ubojni i rzeźni, odpadowy tłuszcz, frakcja glicerynowa. Istotne jest zachowanie proporcji pomiędzy węglem i azotem (stosunek C:N). Jeśli ta relacja jest za wysoka (dużo C i mało N), nie może dojść do całkowitej przemiany węgla, a tym samym nie można uzyskać możliwego potencjału metanu. W odwrotnym przypadku przy nadmiarze azotu może dojść do powstania amoniaku ( $\text{NH}_3$ ), który już w niewielkich stężeniach hamuje wzrost bakterii. Do prawidłowego przebiegu procesu stosunek C:N powinien mieścić się w zakresie 10-30. Ważne są też relacje pomiędzy zawartością fosforu i siarki. Aby bakterie otrzymywały dostateczną porcję substancji pokarmowych, stosunek C:N:P:S powinien wynosić 600:15:5:1. W składzie substratów niezbędne jest też występowanie pierwiastków śladowych i składników pokarmowych, takich jak żelazo, nikiel, kobalt, selen, molibden i wolfram, koniecznych do wzrostu i przetrwania bakterii.

Nie tylko gnojowica może być surowcem z produkcji zwierzęcej, ale również odchody o większej zawartości suchej masy, jak obornik czy odchody drobiu. O ile obornik znajduje obecnie w Polsce w całości wykorzystanie w rolnictwie jako nawóz organiczny, o tyle kurzeniec często nastęrcza problemy, gdyż fermy kurze prowadzące chów bezściółkowy nie potrzebują gruntów, na których mógłby on być stosowany. W tej sytuacji fermentacja jest racjonalnym sposobem utylizacji odchodów i zmniejszenia obciążenia środowiska biogenami wprowadzanymi wraz ze świeżym kurzeńcem. Ze względu na fakt, że odchody drobiu charakteryzują się dość wysokim stężeniem (zawartość suchej masy na poziomie 25-40% w zależności od systemu utrzymania zwierząt), niezbędne jest zastosowanie kosubstratów płynnych, które pozwolą na odpowiednie rozcieńczenie wsadu do poziomu poniżej 15%, co jest wartością graniczną dla procesu fermentacji mokrej.

#### 4.1. Potencjał biogazu rolniczego w gminie Łaszczów

Największe możliwości pozyskania biogazu w Polsce mają gospodarstwa specjalizujące się w produkcji zwierzęcej o koncentracji powyżej 100 DJP (duża jednostka przeliczeniowa, dawniej sztuka duża o masie 500 kg). Nie wyklucza to możliwości budowy biogazowni przez grupy producenckie utrzymujące mniejszą liczbę zwierząt w poszczególnych gospodarstwach.

Wielkość potencjału biomasy do produkcji biogazu w badanej gminie ustalono na podstawie informacji dotyczących stanu pogłównia (Charakterystyka gospodarstw rolnych w danym roku, GUS). Ze względów praktycznych analizą obejmuje się fermy o następującej wielkości pogłównia: bydła i trzody chlewnej powyżej 100 DJP oraz drobiu z ferm utrzymujących powyżej 3000 sztuk drobiu kurzego lub grupy gospodarstw, w których łączne pogłównie spełnia powyższe kryteria. Na podstawie posiadanych informacji o fermach na temat dominującej średniej struktury stada bydła i trzody chlewnej oraz głównego kierunku chowu drobiu (kury brojlery i nioski) do przeliczenia sztuk fizycznych na sztuki duże przyjmuje się następujące średnie wskaźniki: bydło – 0,8 DJP, trzoda chlewna – 0,2 DJP, drób – 0,004 DJP. Do oznaczenia rocznego potencjału produkcji biogazu rolniczego można posłużyć się następującym wzorem:

$$P_{br} = L \cdot W_{bsd} \cdot 365, \quad (4)$$

gdzie:

$P_{br}$  – potencjał biogazu rolniczego [ $m^3$ /rok],

$L$  – liczba DJP [szt.],

$W_{bsd}$  – wskaźnik produkcji biogazu w przeliczeniu na DJP [ $m^3$ /DJP/d].

Tabela 2

Wskaźnik produkcji biogazu  $W_{bsd}$  [ $m^3$ /DJP/d]

Bydło		Trzoda chlewna	Drób
Gnojowica 1,5-2,9	Obornik 0,56-1,5	0,6-1,25	3,5-4,0
Średnio 1,5		Średnio 1,0	Średnio 3,75

Źródło: E. Klugmann-Radziemska, *Odnawialne źródła energii – przykłady obliczeniowe*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2009.

W celu obliczenia ilości energii w oszacowanym potencjale biogazu wyrażonym w  $m^3$  należy otrzymane wyniki pomniejszyć o współczynnik zawartości metanu w biogazie, który jest różny dla konkretnych substratów i technologii fermentacji. Można jednak przyjąć, że wynosi średnio 0,57. Po uwzględnieniu powyższego oraz wartości energetycznej biometanu w wysokości 36 MJ/ $m^3$  wzór przyjmuje postać:

$$P_{bre} = P_{br} \cdot w_{zm} \cdot 36, \quad (5)$$

gdzie:

$P_{bre}$  – potencjał energetyczny biogazu rolniczego [M]/rok],

$P_{br}$  – potencjał biogazu rolniczego [ $m^3$ /rok],

$w_{zm}$  – współczynnik zawartości  $CH_4$  w biogazie (średnio 0,57).

Tabela 3

Obliczenia potencjału biogazu rolniczego z produkcji zwierzęcej:

Parametr	Oznaczenie	Jednostka	Wartość
Liczba sztuk fizycznych trzody chlewniej	–	szt.	3000
Liczba DJP	$L$	szt.	600
Wskaźnik dobowej produkcji biogazu w przeliczeniu na DJP	$W_{bsd}$	$m^3$ /DJP/d	1
Potencjał biogazu rolniczego	$P_{br}$	$m^3$ /rok	219 000

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie informacji dotyczących stanu produkcji zwierzęcej w gminie Łaszczów stwierdzono, że jedyną fermą, która może dostarczać podstawowe substraty dla biogazowni jest Zarodowa Ferma Trzody Chlewniej w Pukarzowie, utrzymująca około 3000 sztuk trzody. Ponadto rozdrobniona produkcja zwierzęca i utrzymywanie zwierząt w chowie ściółowym wskazuje, że na tym terenie możliwe jest rozpatrywanie budowy biogazowni rolniczej w oparciu o ewentualne grupy producenckie, które mogłyby powstać w celu wspólnej budowy i eksploatacji biogazowni.

Uzupełnieniem substratów do produkcji biogazu rolniczego (oprócz odchodów zwierzęcych) może być kiszonka z roślin uprawnych. Najczęściej w biogazowniach wykorzystywana jest kiszonka z całych roślin kukurydzy, gdyż roślina ta ma relatywnie małe wymagania glebowe, daje wysoki plon, a jej jednostkowa wydajność biogazu jest dość wysoka. Nie wyklucza to oczywiście innych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne.

Aby oszacować potencjalne zasoby kukurydzy do wykorzystania w biogazowniach, przyjęto założenie, że będzie ona uprawiana na 10% powierzchni gruntów marginalnych, czyli gruntów o niskiej jakości, należących do niższych klas bonitacyjnych. Powierzchnię gruntów marginalnych oceniano na podstawie ich przynależności do klas bonitacji i kompleksów glebowej przydatności rolniczej. Wydajność jednostkową kukurydzy określono na podstawie Rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi w sprawie plonów reprezentatywnych roślin energetycznych z 2009 r<sup>11</sup>. Zastosowano następującą formułę:

$$P_k = A_m \cdot w_{re} \cdot Y_z \cdot 0,3 \cdot 0,83 \cdot 575 \text{ [m}^3\text{/rok]}, \quad (6)$$

gdzie:

- $P_k$  – potencjał biogazu z kukurydzy [m<sup>3</sup>/rok],
- $A_m$  – powierzchnia gruntów marginalnych [ha],
- $w_{re}$  – współczynnik wykorzystania gruntów pod uprawę kukurydzy 10%,
- $Y_z$  – przeciętny plon zielonki kukurydzy [t/ha/rok],
- 0,3 – zawartość suchej masy w kukurydzy (30%),
- 0,83 – zawartość suchej masy organicznej w stosunku do suchej masy (83% s.m.),
- 575 – średni uzysk biogazu z tony suchej masy organicznej [m<sup>3</sup>/t s.m.o.].

Tabela 4  
Obliczenia potencjału biogazu z kukurydzy

Parametr	Oznaczenie	Jednostka	Wartość	Uwagi
Współczynnik wykorzystania gruntów pod uprawę kukurydzy	$w_{re}$	[%]	10	
Przeciętny plon zielonki kukurydzy	$Y_z$	[t/ha/rok]	45,7	plon reprezentatywny
Powierzchnia marginalnych gruntów ornych	$A_m$	[ha]	458,0	według kompleksów glebowych
Potencjał biogazu z kukurydzy	$P_k$	[m <sup>3</sup> /rok]	299 674,0	według kompleksów glebowych
Powierzchnia marginalnych gruntów ornych	$A_m$	[ha]	303,0	według klas bonitacyjnych
Potencjał biogazu z kukurydzy	$P_k$	[m <sup>3</sup> /rok]	198 256,0	według klas bonitacyjnych

Źródło: opracowanie własne.

Wynik obliczeń dotyczących ilości biogazu, jaki można pozyskać, przeliczając 10% gruntów marginalnych pod uprawę kukurydzy, a następnie fermentację beztlenową uzyskanej biomasy, okazał się znacząco różny w zależności od kryterium oceny gruntów. Zastosowanie jako wartości odniesienia kompleksów

<sup>11</sup> Dz. U. nr 36, poz. 283.

glebowych pozwoliło na oszacowanie potencjału biogazu na poziomie niemal 300 tys. m<sup>3</sup> biogazu, natomiast gdy podstawę stanowiły klasy bonitacyjne, ich powierzchnia okazała się mniejsza, a co za tym idzie – potencjał kukurydzy i wytworzonego biogazu także uległy zmniejszeniu. Należy mieć na uwadze, że wszelkie szacunki w tym zakresie charakteryzują się dużą ogólnością, a uzyskanie bardziej precyzyjnych danych wymagałoby obliczenia potencjału ekonomicznego odnawialnych źródeł energii. Jednak nawet taka analiza może być w dużym stopniu modyfikowana na przykład przez warunki pogodowe w danym sezonie wegetacji, przez sytuację rynkową, społeczną.

## 5. Biogaz z przemysłu rolno-spożywczego

Efektywne funkcjonowanie biogazowni wykorzystującej mniej wydajne surowce wymaga dodatku kosubstratów o znacznej wydajności produkcji metanu, jak na przykład frakcja glicerynowa z produkcji biodiesla, tłuszcze zwierzęce i posmażalnice czy odpady poubojowe z rzeźni. Zasadne jest stosowanie wysokowydajnych kosubstratów w procesie fermentacji typowych rolniczych substratów. W przypadku surowców roślinnych, zawierających przede wszystkim celulozę i hemicelulozę, wzrost wydajności biogazu można uzyskać w wyniku kofermentacji, to znaczy wspólnego przetwarzania surowców roślinnych i odpadów przemysłu spożywczego.

Odpady organiczne z produkcji spożywczej: odpady warzyw i owoców, odpady z mleczarni (tłuszcze, serwatka, odpady z zakładowych oczyszczalni), gliceryna, wysłodziny gorzelniane, browarniane i cukrownicze przedstawiają wysoki potencjał energetyczny, są tanim surowcem dla biogazowni, gdyż w wielu przypadkach wymagają od ich producentów (na przykład rzeźni) kosztownej utylizacji. Szczególnie zakłady przetwórstwa spożywczego powinny być zainteresowane zagospodarowaniem odpadów własnej produkcji, które w myśl obowiązujących przepisów muszą być utylizowane jako uciążliwe dla środowiska i ich bezpośrednio składowanie nie jest możliwe. Do takich odpadów należą resztki poubojowe, w tym zawartość żywicy zwierząt, krew, resztki tłuszczowe, odpady rybne. Zakłady przetwórcze ponoszą znaczne koszty z tytułu ich utylizacji, które to koszty mogłyby istotnie zwiększyć efektywność ekonomiczną biogazowni<sup>12</sup>.

Substraty do produkcji biogazu mogą być pozyskiwane z zakładów przetwarzających płody rolne – gorzelnii i browarów, gdzie powstają produkty uboczne: wywar gorzelniany i młoto (wysłodziny) browarnicze. Gorzelnia wówczas jest z jednej strony dostawcą podstawowego kosubstratu, z drugiej zaś odbiorcą ciepła z biogazowni, co znacząco podnosi efektywność ekonomiczną inwestycji. Stały odbiorca tej energii, jakim byłaby gorzelnia, to ogromny atut tego rozwiązania technologicznego. W zależności od zapotrzebowania gorzelnii, mogłaby ona

<sup>12</sup> W. Pezacki, *Przetwarzanie surowców rzeźnych. Wpływ na środowisko przyrodnicze*, PWN, Warszawa 1991.

zagospodarowywać nie tylko nadmierną część ciepła z kogeneratora, ale też na przykład spalać część biogazu w kotle parowym. Biogazownia może być także dostawcą energii elektrycznej dla gorzelni, uniezależniając ją od dostawców zewnętrznych. Takie rozwiązanie ma także zalety środowiskowe: zmniejszenie zużycia energii konwencjonalnej i węgla, utylizacja wywaru, zmniejszenie uciążliwości związanych z jego stosowaniem w przypadku rozlewania na polach, eliminacja odoru, zmniejszenie zawartości suchej masy, podwyższenie stopnia mineralizacji składników, a dzięki temu wzrost ich biodostępności.

Innym odpadem powstającym przy przerobie surowców pochodzenia rolniczego jest serwatka. Jako uboczny produkt, powstający w zakładach mleczarskich podczas wytwarzania serów twardych i twarogów, jest złożoną mieszaniną wielu wartościowych składników: węglowodanów (zwłaszcza laktozy), białek, tłuszczu, kwasów organicznych, witamin i soli mineralnych. Z całkowitej objętości mleka wykorzystywanego do produkcji serów blisko 80-90% opuszcza proces technologiczny jako serwatka. Pomimo istnienia wielu możliwości przemysłowego zagospodarowania serwatki stanowi ona w mleczarniach olbrzymi problem. W związku z tym ciągle poszukiwane są nowatorskie i efektywne metody przekształcenia serwatki w użyteczne produkty. Serwatka jest doskonałym substratem fermentacyjnym. Ocenia się, że w Polsce objętość powstającej serwatki wynosi blisko 2 mln m<sup>3</sup>/rok. Z takiej ilości serwatki w procesie fermentacji metanowej można uzyskać rocznie 198-560 GWh energii.

Potencjał produkcji biogazu występuje w zakładach przetwarzających produkty pochodzenia rolniczego, takich jak: cukrownie, gorzelnie, browary, ubojnie, czy też w zakładach przetwórstwa owocowo-warzywnego. Potencjał ten ustalić można na podstawie ilości odpadów, dla których fermentacja metanowa jest zalecaną metodą przetwarzania<sup>13</sup>. Kategorie odpadów, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów<sup>14</sup> oraz wydajności biogazu z tych substratów, przedstawiają tabele 5 i 6.

<sup>13</sup> Ocena możliwości zagospodarowania osadów ściekowych i innych odpadów ulegających biodegradacji w Polsce w świetle propozycji zmian prawa Unii Europejskiej, Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska, Częstochowa 2004.

<sup>14</sup> Dz. U. nr 112, poz. 1206 z późn. zm.

Tabela 5

Odpady z wybranych gałęzi przemysłu rolno-spożywczego przydatne do produkcji biogazu

Kod odpadu	Opis
02	Odpady z rolnictwa, sadownictwa, upraw hydroponicznych, rybołówstwa, leśnictwa, łowiectwa oraz przetwórstwa żywności
02 01	Odpady z rolnictwa, sadownictwa, upraw hydroponicznych, leśnictwa, łowiectwa i rybołówstwa
02 01 01	Osady z mycia i czyszczenia
02 01 02	Odpadowa tkanka zwierzęca
02 01 03	Odpadowa masa roślinna
02 01 06	Odchody zwierzęce
02 01 07	Odpady z gospodarki leśnej
02 02	Odpady z przygotowywania i przetwórstwa produktów spożywczych pochodzenia zwierzęcego
02 02 01	Odpady z mycia i przygotowywania surowców
02 02 02	Odpadowa tkanka zwierzęca
02 02 03	Surowce i produkty nienadające się do spożycia i przetwórstwa
02 02 04	Osady z zakładowych oczyszczalni ścieków
02 02 81	Odpadowa tkanka zwierzęca stanowiąca materiał szczególnego i wysokiego ryzyka, w tym odpady z produkcji pasz mięsno-kostnych inne niż wymienione w 02 02 80 (02 02 80* – odpadowa tkanka zwierzęca wykazująca właściwości niebezpieczne)
02 03	Odpady z przygotowania, przetwórstwa produktów i używek spożywczych oraz odpady pochodzenia roślinnego, w tym odpady z owoców, warzyw, produktów zbożowych, olejów jadalnych, kakao, kawy, herbaty oraz przygotowania i przetwórstwa tytoniu, drożdży i produkcji ekstraktów drożdżowych, przygotowywania i fermentacji melasy (z wyłączeniem 02 07)
02 03 01	Szlamy z mycia, oczyszczania, obierania, odwirowywania i oddzielania surowców
02 03 04	Surowce i produkty nienadające się do spożycia i przetwórstwa
02 03 05	Osady z zakładowych oczyszczalni ścieków
02 03 80	Wytłoki, osady i inne odpady z przetwórstwa produktów roślinnych (z wyłączeniem 02 03 81)
02 03 81	Odpady z produkcji pasz roślinnych
02 04	Odpady z przemysłu cukrowniczego
02 04 03	Osady z zakładowych oczyszczalni ścieków
02 04 80	Wysłodki
02 05	Odpady z przemysłu mleczarskiego
02 05 01	Surowce i produkty nieprzydatne do spożycia oraz przetwarzania
02 05 02	Osady z zakładowych oczyszczalni ścieków
02 05 80	Odpadowa serwatka
02 06	Odpady z przemysłu piekarniczego i cukierniczego
02 06 01	Surowce i produkty nieprzydatne do spożycia i przetwórstwa
02 06 03	Osady z zakładowych oczyszczalni ścieków
02 07	Odpady z produkcji napojów alkoholowych i bezalkoholowych (z wyłączeniem kawy, herbaty i kakao)
02 07 01	Odpady z mycia, oczyszczania i mechanicznego rozdrabniania surowców
02 07 02	Odpady z destylacji spirytualiów
02 07 80	Wytłoki, osady moszczowe i pofermentacyjne, wywary

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Ocena możliwości zagospodarowania osadów ściekowych i innych odpadów ulegających biodegradacji w Polsce w świetle propozycji zmian prawa Unii Europejskiej*, Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska, Częstochowa 2004; Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r.



Tabela 6  
Potencjał biogazu z wybranych odpadów przemysłu rolno-spożywczego

Kod odpadu	Zawartość s.m. [%]	Współczynnik zawartości suchej masy $w_{sm}$	Zawartość s.m.o. [%]	Współczynnik zawartości suchej masy organicznej $w_{smo}$	Wydajność $CH_4$ [ $m^3/kg$ s.m.o.]
020101	4,0	0,04	92,0	0,92	0,33
020102	20,0	0,20	80,0	0,80	0,43
020103	15,0	0,15	80,0	0,80	0,32
020106	15,0	0,15	80,0	0,80	0,27
020107	20,0	0,20	90,0	0,90	0,35
020201	4,0	0,04	80,0	0,80	0,25
020202	20,0	0,20	80,0	0,80	0,43
020203	20,0	0,20	80,0	0,80	0,43
020204	3,0	0,03	90,0	0,90	0,45
020281	20,0	0,20	80,0	0,80	0,43
020301	4,0	0,04	92,0	0,92	0,33
020304	15,0	0,15	80,0	0,80	0,32
020305	3,0	0,03	90,0	0,90	0,45
020380	30,0	0,30	90,0	0,90	0,38
020381	34,0	0,34	92,5	0,93	0,31
020403	3,0	0,03	90,0	0,90	0,45
020480	22,0	0,22	95,0	0,95	0,18
020501	8,6	0,09	88,8	0,89	0,48
020502	3,0	0,03	90,0	0,90	0,45
020580	5,5	0,06	92,2	0,92	0,38
020601	87,7	0,88	97,0	0,97	0,39
020603	3,0	0,03	90,0	0,90	0,45
020701	4,0	0,04	92,0	0,92	0,33
020702	40,0	0,40	95,0	0,95	0,4
020780	8,0	0,08	83,0	0,83	0,38

Źródło: opracowanie własne na podstawie różnych źródeł literaturowych.

## 5.1. Potencjał biogazu z odpadów z przemysłu rolno-spożywczego w gminie Łaszczów

Po zinventaryzowaniu ilości odpadów z przemysłu rolno-spożywczego na terenie gminy potencjał biogazu, możliwy do pozyskania z odpadów, obliczono na podstawie wzoru:

$$P_{bp} = \sum_{i=1}^n V \cdot w_{sm} \cdot w_{smo} \cdot W_{CH} \quad [m^3/rok], \quad (7)$$

gdzie:

- $P_{bp}$  – potencjał biogazu z przemysłu rolno-spożywczego [ $m^3/rok$ ];
- $V$  – ilość  $i$ -tego odpadu [ $kg/rok$ ];
- $w_{sm}$  – współczynnik zawartości suchej masy w  $i$ -tym odpadzie;
- $w_{smo}$  – współczynnik zawartości suchej masy organicznej w suchej masie  $i$ -tego odpadu;
- $W_{CH}$  – wydajność metanu  $i$ -tego odpadu [ $m^3/kg$  s.m.o.].

Tabela 7  
Obliczanie potencjału biometanu z przemysłu rolno-spożywczego

Kod odpadu	Ilość odpadu [kg]	Współczynnik zawartości suchej masy $w_{sm}$ [%]	Współczynnik zawartości suchej masy organicznej $w_{smo}$ w s.m. [%]	Wydajność CH <sub>4</sub> [m <sup>3</sup> /kg s.m.o.]	Potencjał biometanu [m <sup>3</sup> ]
02 03 80	100 000	0,3	0,9	0,38	10 260,0
02 05 80	3 913 000	0,055	0,922	0,38	75 403,0
Razem	4 013 000	–	–	–	85 663,0

Źródło: opracowanie własne.

Na terenie gminy Łaszczów występują znaczące zasoby tylko dwu rodzajów odpadów: serwatki z lokalnej mleczarni oraz wyłoków z przetwórstwa owocowo-warzywnego powstających w chłodni. Ilość tych odpadów przekracza 4 tys. ton rocznie, jednak są one silnie zróżnicowane, gdyż serwatka charakteryzuje się niską zawartością suchej masy. Oszacowana ilość odpadów przetwórczych pozwoliłaby na produkcję ponad 85 tys. m<sup>3</sup> biometanu, co odpowiada wartości energetycznej 3 083,87 GJ. Jednakże uwarunkowania technologiczne (zapotrzebowanie własne biogazowni na energię i sprawność urządzeń) pozwolić mogą na produkcję 1 326,06 GJ energii użytecznej.

## Podsumowanie

Produkcja biogazu cieszy się ostatnio rosnącym zainteresowaniem, gdyż mieszanina gazów nazywanych biogazem zawiera znaczny udział (50-80%) palnego gazu – metanu. Fermentacja beztlenowa to jedyna technologia, która pozwala na pozyskiwanie energii z surowców o wysokiej wilgotności, bez konieczności ich wcześniejszego osuszania. Produkcja biogazu wymaga budowy złożonej instalacji, której poprawne funkcjonowanie uzależnione jest od zachowania ścisłych reżimów procesu. Instalacje takie, nazywane biogazowniami, funkcjonują przy oczyszczalniach ścieków, gdzie fermentowany jest osad ściekowy, a także cieszą się coraz większym zainteresowaniem gospodarstw rolnych, w których substratem są produkty uboczne, jak gnojowica, wywar, melasa, czy też celowo uprawiane rośliny. Biogaz powstaje też podczas składowania odpadów komunalnych, zawierających dużą część frakcji organicznej. Fermentacja odpadów na wysypiskach prowadzi do emisji metanu do atmosfery, co jest niekorzystne z punktu widzenia ochrony środowiska ze względu na fakt, iż metan jest jednym z gazów cieplarnianych. Na dużych składowiskach obligatoryjna jest budowa sieci odgazowującej. Każda instalacja wytwarzająca biogaz powinna być zakończona urządzeniem przetwarzającym energię zawartą w metanie na energię użyteczną. W przypadku braku ekonomicznego uzasadnienia zakupu relatywnie drogich silników lub kotłów do spalania biogazu instalowane są pochodnie zapobiegające jego emisji do atmosfery.

Biogazownie mogą być budowane jako inwestycje dochodowe lub utylizacyjne. W niektórych krajach (na przykład w Austrii i we Włoszech) tworzone są wspólnoty użytkujące wspólną instalację biogazową. Aby ustalić zasadność budowy biogazowni na terenie wybranej gminy, oceniono dostępność różnych substratów. Wzięto pod uwagę zarówno produkty celowe (kiszonkę z kukurydzy), jak i odpady powstające w rolnictwie i przemyśle rolno-spożywczym. Pewien potencjał zidentyfikowano też w obszarze osadu ściekowego w nowo budowanej oczyszczalni. Jedynie odpady komunalne nie zostały ujęte w obliczeniach, gdyż w związku z likwidacją składowisk gminnych odpady z terenu gminy transportowane są na składowisko zorganizowane.

Zidentyfikowano zasoby biomasy o różnorodnym charakterze (wilgotności, zawartości suchej masy organicznej, wydajności biogazowej), przy czym największym potencjałem charakteryzują się zasoby substratów celowych pochodzących z gruntów marginalnych. Kolejne ważne źródła substratów do produkcji biogazu w gminie Łaszczów to gnojowica z ferm trzody chlewnej, wyłoki z przetwórstwa roślinnego oraz odpadowa serwatka z mleczarni. Racjonalne wykorzystanie substratów w biogazowni może pozwolić na produkcję 5,7-6,7 tys. GJ energii. Rozwiązanie takie jest pożądane z punktu widzenia ochrony środowiska (redukcja emisji zanieczyszczeń), gospodarki (lokalne rynki zbytu, bezpieczeństwo energetyczne, zmiana przepływu strumieni pieniężnych za energię) i społeczeństwa (miejsca pracy, poprawa zamożności lokalnej społeczności).