



Raport 2024/23 | Miasto Tomaszów Mazowiecki



# Możliwości produkcji biogazu w Miejskim Obszarze Funkcjonalnym Tomaszów Mazowiecki-Opoczno (MOFTMO) w Polsce

## Wstępne studium wykonalności dla biogazowni w Miejskim Obszarze Funkcjonalnym Tomaszów Mazowiecki-Opoczno

Anna Bojanowicz-Bablok, Sarah Eidsmo, Andreas Hoel-Holt, Natalia Horak, Izabela Potapowicz, Agnieszka Sobol and Haakon Vennemo

# Szczegóły dokumentu

Tytuł	Możliwości produkcji biogazu w Miejskim Obszarze Funkcjonalnym Tomaszów Mazowiecki-Opoczno (MOFTMO) w Polsce
Numer raportu	2024/23
Autorzy	Anna Bojanowicz-Bablok, Sarah Eidsmo, Andreas Hoel-Holt, Natalia Horak, Izabela Potapowicz, Agnieszka Sobol i Haakon Vennemo
ISBN	978-82-8126-685-8
Numer projektu	23-HVE-13
Lider projektu	Haakon Vennemo
Data ukończenia	29.07.2024
Źródło zdjęcia na pierwszej stronie	Vladyslav Horoshevych (iStock)
Dostępność	Publiczny dostęp
Słowa kluczowe	energia, zielona transformacja, analiza lokalna i regionalna

## O nas

Vista Analyse jest firmą konsultingową w dziedzinie nauk społecznych, która koncentruje się na badaniach ekonomicznych, analizach polityki i doradztwie oraz prowadzeniu ocen. Realizujemy projekty zgodnie z najwyższymi standardami zawodowymi, z zachowaniem niezależności i integralności. Nasze kluczowe obszary tematyczne obejmują zmiany klimatu, energię, transport, planowanie urbanistyczne i kwestie dobrobytu.

Nasi pracownicy posiadają wysokie kwalifikacje akademickie i szerokie doświadczenie w doradztwie. W razie potrzeby korzystamy z rozległej sieci firm i osób odpowiedzialnych za zasoby w kraju i za granicą. Firma jest w pełni własnością pracowników.

Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy (IOŚ-PIB) jest instytutem badawczo-rozwojowym prowadzącym badania naukowe w zakresie ochrony środowiska, zrównoważonego rozwoju, przeciwdziałania zmianom klimatu oraz racjonalnego użytkowania środowiska i jego zasobów. Rozwija naukowe podstawy ochrony środowiska, dostarcza wiedzę władzom krajowym, regionalnym i lokalnym oraz przedsiębiorstwom, a także prowadzi działania na rzecz podnoszenia świadomości ekologicznej i kształtowania postaw ekologicznych społeczeństwa. Pracownicy Instytutu są wysoko wykwalifikowani, bardzo aktywni i zaangażowani w realizację swoich zadań, a poziom prowadzonych prac badawczo-rozwojowych spełnia wysokie standardy.

# Wstęp

Niniejsze wstępne studium wykonalności jest rezultatem projektu pn. Zielona transformacja w praktyce: demonstracja i upowszechnianie korzyści płynących z produkcji biogazu z bioodpadów, finansowanego ze środków Funduszu Współpracy Dwustronnej w ramach Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego na lata 2014-2021 oraz Norweskiego Mechanizmu Finansowego na lata 2014-2021. Głównym założeniem projektu jest porównanie podobieństw i różnic w wyzwaniach stojących przed biogazem w Polsce i Norwegii. Wstępne studium wykonalności identyfikuje wyzwania i możliwości w Miejskim Obszarze Funkcjonalnym Tomaszów Mazowiecki-Opoczno (MOFTMO) w Polsce. Studium zostało przygotowane w okresie październik 2023 - lipiec 2024. Autorzy chcieliby podziękować przedstawicielom Urzędu Miasta w Tomaszowie Mazowieckim oraz Zakładu Gospodarki Wodno-Kanalizacyjnej w Tomaszowie Mazowieckim za życzliwe wsparcie podczas realizacji projektu, a także Zbigniewowi Gielecia-kowi (IOŚ-PIB) i Barbarze Petrykowskiej (KOWR) za dzielenie się wiedzą, konsultacje i cenne uwagi. Dziękujemy Leifowi Grandum i Jonasowi J. Lie (Vista Analyse) za doskonałe wsparcie w badaniach.

29.07.2024

**Haakon Vennemo**  
Profesor, partner  
Vista Analyse AS

29.07.2024

**Anna Bojanowicz-Bablok**  
Główny specjalista  
IOŚ-PIB

# Spis treści

Streszczenie .....	7
<b>1 Kontekst i zakres .....</b>	<b>13</b>
1.1 Europejski kontekst polityczny .....	13
1.2 Polska polityka i regulacje .....	14
1.3 Infrastruktura, technologia i logistyka .....	17
1.4 Aspekty finansowe .....	27
<b>2 Ocena zasobów MOFTMO .....</b>	<b>32</b>
2.1 Obszar MOFTMO .....	32
2.2 Mapowanie dostępnych surowców w MOFTMO .....	33
2.3 Perspektywy przyszłego potencjału surowcowego .....	37
2.4 Biogaz i potencjał energetyczny dostępnego surowca .....	38
2.5 Interesariusze w sektorze rolniczym i gminach .....	42
<b>3 Ograniczenia i bariery .....</b>	<b>44</b>
3.1 Bariery techniczne .....	44
3.2 Bariery ekonomiczne .....	44
3.3 Bariery instytucjonalne, bariery organizacyjno-prawne .....	44
3.4 Bariery społeczne .....	45
<b>4 Możliwości i najlepsze praktyki.....</b>	<b>47</b>
4.1 Przykłady z innych regionów Polski .....	47
4.2 Przykłady z Norwegii .....	50
4.3 Przykłady z innych krajów .....	53
4.4 Lokalne realizacje .....	55
4.5 Wnioski .....	56
<b>5 Biogaz w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim – analiza finansowa .....</b>	<b>58</b>
5.1 Produkcja biogazu w dwóch fazach .....	58
5.2 Faza 1: Osady ściekowe jako substrat .....	59
5.3 Faza 2 – Odpady komunalne i przemysłowe .....	69
5.4 Minimalna dotacja na 10-12 procent realnej stopy zwrotu .....	75
5.5 Korzyści zewnętrzne z produkcji biogazu w Tomaszowie Mazowieckim .....	76
<b>6 Podsumowanie .....</b>	<b>81</b>
<b>Literatura .....</b>	<b>83</b>
<b>Załączniki .....</b>	<b>85</b>
A Potencjał produkcji metanu z wybranych substratów .....	85
<b>Spis rysunków</b>	
Rysunek S.1 Pokrycie terenu w granicach MOFTMO .....	8
Rysunek 1.1 Średnie koszty technologii produkcji biogazu na jednostkę wytworzonej energii (bez kosztu wsadu), 2018 r. ....	28

Rysunek 1.2	Zakres CAPEX zakładu produkcji biogazu w zależności od jego wydajności i rodzaju surowca .....	29
Rysunek 1.3	Zakres OPEX zakładu produkcji biogazu w zależności od jego wydajności i rodzaju wykorzystywanego surowca .....	30
Rysunek 1.4	Koszty związane z wstępnym przetwarzaniem surowca .....	31
Rysunek 2.1	Podział administracyjny MOFTMO .....	32
Rysunek 2.2	Pokrycie terenu w obszarze MOFTMO .....	33
Rysunek 2.3	Teoretyczny roczny potencjał energetyczny pozyskiwany z biogazu rolniczego i energii elektrycznej wytwarzanej przez agregaty prądotwórcze .....	41
Rysunek 4.1	Elektrownia Copenhill .....	54
Rysunek 5.1	Ilość suchej masy osadów ściekowych wytworzonych w ciągu roku w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim .....	60
<b>Spis tabel</b>		
Tabela 1.1	Klasyfikacja technologii produkcji biogazu .....	23
Tabela 1.2	Stopnie oczyszczania biogazu i możliwości wykorzystania .....	26
Tabela 2.1	Dostępny surowiec do produkcji biogazu w MOFTMO .....	37
Tabela 2.2	Potencjalne ilości odpadów biologicznych (odpadów spożywczych i kuchennych) przy założeniu wzrastających poziomów zbiórki .....	38
Tabela 2.3	Teoretyczny potencjał produkcji metanu w MOFTMO .....	39
Tabela 5.1	Charakterystyka osadu po zagęszczaniu .....	60
Tabela 5.2	Opcje w Fazie 1 .....	62
Tabela 5.3	CAPEX dla wszystkich opcji w Fazie 1 (in PLN) .....	62
Tabela 5.4	OPEX dla wszystkich opcji w Fazie 1 (in PLN) .....	63
Tabela 5.6	Roczne przychody i zredukowane wydatki dla każdej opcji w Fazie 1 (in PLN) .....	65
Tabela 5.7	Suma kosztów, przychodów i rocznych przepływów pieniężnych dla każdej opcji w 1 (w mln PLN) .....	66
Tabela 5.8	Wartość bieżąca netto dla różnych stóp dyskontowych przy okresie trwania projektu 20 lat (w mln PLN) .....	67
Tabela 5.9	Wartość bieżąca netto dla różnych stóp dyskontowych przy okresie trwania projektu 20 lat w porównaniu do wartości bazowej (mln PLN) .....	67
Tabela 5.10	Minimalny czas trwania projektu, aby opcje w Fazie 1 były bardziej opłacalne w porównaniu z wartością bazową .....	67
Tabela 5.11	Wewnętrzna stopa zwrotu dla opcji w Fazie 1 .....	68
Tabela 5.12	Wewnętrzna stopa zwrotu dla opcji 1B, w przypadku wzrostu kosztów w po-równaniu do wartości bazowej .....	68
Tabela 5.13	Wewnętrzna stopa zwrotu dla opcji 1B w przypadku wzrostu dochodu w po-równaniu do wartości bazowej .....	68
Tabela 5.14	Opcje i scenariusze dla Fazy 2 .....	69
Tabela 5.15	CAPEX dla każdej opcji w Fazie 2 (w PLN) .....	70
Tabela 5.16	OPEX dla wszystkich opcji w Fazie 2 (w PLN) .....	70
Tabela 5.17	Substraty do procesu produkcji biogazu w Fazie 2 .....	70
Tabela 5.18	Roczne przychody i zredukowane wydatki dla każdej opcji w Fazie 2 (PLN) .....	71
Tabela 5.19	Suma kosztów, przychodów i rocznych przepływów pieniężnych dla każdej opcji w Fazie 2 (mln PLN) .....	72
Tabela 5.20	Wartość bieżąca netto w mln PLN .....	72
Tabela 5.21	Wartość bieżąca netto w porównaniu do sytuacji bazowej (mln PLN) .....	73
Tabela 5.22	Wartość bieżąca netto dla różnych stóp dyskontowych przy okresie trwania projektu 20 lat w porównaniu do wartości bazowej (mln PLN) .....	73

Tabela 5.23	Minimalny czas trwania projektu, aby opcje w Fazie 1 i Fazie 2 były bardziej opłacalne niż opcja bazowa .....	74
Tabela 5.24	Wewnętrzna stopa zwrotu dla opcji w fazie 1 i fazie 2 w porównaniu do linii bazowej .....	74
Tabela 5.25	Zwiększone koszty inwestycji (w %) w porównaniu do opcji bazowej .....	74
Tabela 5.26	Minimalna dotacja dla dwóch najlepszych opcji w Fazie 1 i 2, aby były rentowne (mln PLN) .....	75
Tabela 5.27	Szacunki emisji gazów cieplarnianych i NH <sub>3</sub> w Fazie 1 i porównanie z danymi bazowymi .....	78
Tabela 5.28	<b>Szacunki emisji gazów cieplarnianych i NH<sub>3</sub> w Fazie 2 i porównanie z wartościami bazowymi .....</b>	<b>78</b>
Tabela 5.29	Szacunki emisji GHG i NH <sub>3</sub> w Fazie 2 i porównanie do wartości bazowej, bez suszenia pofermentu .....	79
Tabela A.1	Potencjał produkcji metanu z wybranych substratów .....	85

# Streszczenie

*W ramach wstępnego studium wykonalności przeanalizowano możliwości produkcji biogazu w Miejskim Obszarze Funkcjonalnym Tomaszów Mazowiecki-Opoczno (MOFTMO) w Polsce. MOFTMO posiada znaczne zasoby biomasy. Na podstawie analizy dostępnych zasobów, a także warunków prawnych i technicznych, przeprowadzono analizę finansową dla inwestycji w produkcję biogazu przy oczyszczalni ścieków zarządzanej przez Zakład Gospodarki Wodno-Kanalizacyjnej w Tomaszowie Mazowieckim. Pierwsza faza inwestycji wykorzystuje osady ściekowe. W drugiej fazie uwzględnia się wykorzystanie jako substratów dodatkowo odpadów komunalnych i przemysłowych. W porównaniu z obecną praktyką stwierdzono, że pierwsza faza generuje oczekiwaną wewnętrzną stopę zwrotu (rzeczywistą) na poziomie 4,7%. Dodanie drugiej fazy zwiększa wewnętrzną stopę zwrotu do 7,8%. W celu zwiększenia rentowności inwestycji ważne jest rozważenie uwzględnienia w planach inwestycyjnych drugiej fazy, pomimo wyższych kosztów i wydłużonego czasu realizacji inwestycji.*

## Biogaz jest częścią strategii na rzecz europejskiej neutralności klimatycznej

Przywódcy Unii Europejskiej uzgodnili osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku. Biogaz jest ważny dla osiągnięcia tego celu. Dyrektywa UE w sprawie odnawialnych źródeł energii (dyrektywa (UE) 2023/2413) stanowi, że do 2030 r. co najmniej 42,5% końcowego zużycia energii brutto powinno pochodzić ze źródeł odnawialnych. Dyrektywa podkreśla rolę produkcji energii z biomasy i bioodpadów. Cel UE w zakresie produkcji biogazu i biometanu wynosi 35 miliardów metrów sześciennych rocznie do 2030 roku. W 2022 r. w Europie działało prawie 20 000 biogazowni i ponad 1300 biometanowni, produkujących 16,8 mld metrów sześciennych biogazu i 4,2 mld metrów sześciennych oczyszczonego biogazu (biometanu) (dane Europejskiego Stowarzyszenia Biogazu).

Polska i Norwegia są zaangażowane w zwiększanie roli biogazu w swoich miksach energetycznych, ponieważ oba kraje mają niską produkcję biogazu w porównaniu z potencjałem. Szersze wykorzystanie biogazu pomoże Polsce wypełnić zobowiązania paryskie i poprawić bezpieczeństwo energetyczne. Polska posiada dobrze rozwiniętą krajową sieć gazociągów, do których biometan może być potencjalnie wprowadzany. Zwiększa to elastyczność końcowych zastosowań biogazu. Kolejnym potencjalnym zastosowaniem bioodpadów w Polsce jest ogrzewanie sieciowe.

Kolejne rządowe plany zielonej transformacji w Norwegii (Meld. St. 13 (2020-2021)) ponownie wskazują bioodpady i bioenergię jako kluczowe zasoby do osiągnięcia celów. Norwegia nie posiada krajowej sieci gazowej, ale ma potencjał dla wykorzystania skroplonego biogazu do transportu i potencjał dla zwiększonego ogrzewania opartego na bioodpadach.

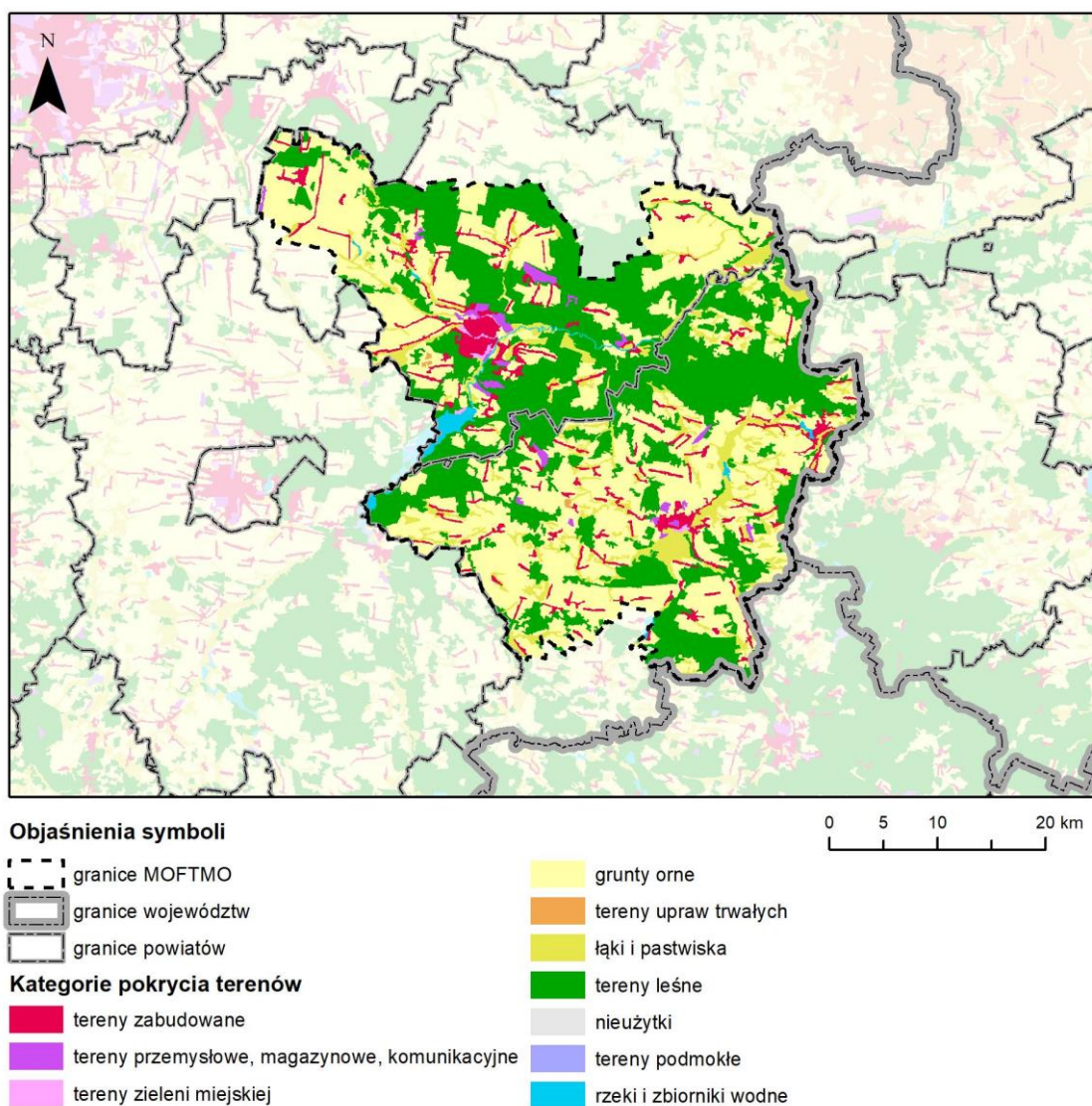
Podobieństwa i różnice w wyzwaniach każdego kraju sugerują, że Norwegia i Polska mogą uczyć się od siebie w tej dziedzinie. Niniejszy raport przyczynia się do zbadania możliwości produkcji biogazu w Miejskim Obszarze Funkcjonalnym Tomaszów Mazowiecki-Opoczno (MOFTMO) w Polsce. Mamy nadzieję, że badanie MOFTMO będzie stanowić przykład i inspirację dla innych obszarów Polski. Jednocześnie badanie pokazuje pewne bariery, które obecnie ograniczają możliwości

wykorzystania pełnego potencjału do produkcji biogazu. Bariery te mają charakter zarówno regulacyjny oraz techniczny, jak i ekonomiczny.

## Stopień zabudowania MOFTMO

MOFTMO składa się z 14 gmin powiatów tomaszowskiego i opoczyńskiego w województwie łódzkim. W celu opracowania wspólnej strategii zintegrowanych inwestycji terytorialnych i jej wdrożenia utworzono związek międzygminny. Pod względem użytkowania gruntów MOFTMO jest obszarem głównie rolniczym (Rysunek S.1). Grunty rolne, z przewagą gruntów ornych, zajmują ponad połowę omawianego obszaru. Ponadto, blisko 40 procent obszaru pokrywają lasy, które znajdują się w jego centralnej części, wzdłuż doliny Pilicy, głównej rzeki w granicach MOFTMO oraz mniejszych cieków wodnych.

Rysunek S.1 Pokrycie terenu w granicach MOFTMO



Źródło: IOŚ-PIB na podstawie Corine Land Cover (EEA) i Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK)

MOFTMO zamieszkuje około 160 000 osób (stan na 2021 r.). Największym miastem jest Tomaszów Mazowiecki (największy teren zaznaczony czerwonym kolorem na Rys. S.1), w którym



mieszka 1/3 ludności obszaru. W omawianym obszarze znajdują się trzy mniejsze miasta oraz liczne miasteczka i wsie.

Przeprowadzone mapowanie dostępnych zasobów biomasy w regionie dało następujące wyniki:

- Odpady biodegradowalne z przemysłu: ok. 7 600 Mg/rok;
- Osady z komunalnych oczyszczalni ścieków: ok. 2 300 - 2 700 Mg suchej masy/rok;
- Bioodpady komunalne (odpady spożywcze i kuchenne): ok. 590 Mg/rok;
- Biomasa roślinna: ok. 128 000 Mg/rok, głównie kukurydza i słoma;
- Biomasa zwierzęca: ok. 675 000 Mg/rok, z czego ok. 430 000 Mg obornika i 245 000 Mg gnojowicy.

Są to znaczące zasoby. Odpady rolnicze ilościowo mają niewątpliwie największy potencjał.

## Bariery ograniczające potencjał

Zgodnie z polskimi przepisami, biogazownie można podzielić na biogazownie rolnicze i inne niż rolnicze. Biogazownie inne niż rolnicze podlegają rejestracji w Urzędzie Regulacji Energetyki (URE), centralnym organie administracji rządowej, powołanym do realizacji zadań związanych z regulacją gospodarki paliwami i energią oraz promocją konkurencji. Biogazownie inne niż rolnicze nie są ograniczone wyborem substratów. W zależności od technologii, mogą one przyjmować różne materiały wsadowe, takie jak osady ściekowe i bioodpady przemysłowe lub komunalne.

Biogazownie rolnicze są rejestrowane w Krajowym Ośrodku Wsparcia Rolnictwa (KOWR), to jest agencji wykonawczej Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi odpowiedzialnej za wdrażanie i stosowanie instrumentów wspierających aktywną politykę rolną i rozwój obszarów wiejskich. Ustawa o ułatwieniach w przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie biogazowni rolniczych oraz ich eksploatacji dotyczy instalacji zarządzanych przez rolników i wprowadza szereg ograniczeń prawnych dotyczących maksymalnej rocznej produkcji biogazu oraz dopuszczalnych substratów. Krótko mówiąc, gminy i związki międzygminne mają ograniczone możliwości wpływania na rozwój biogazowni rolniczych. Dlatego też, pomimo dużego potencjału biogazu rolniczego, nie jest on przedmiotem niniejszego studium wykonalności.

Ze względu na swoje właściwości, biogaz mógłby być wprowadzany do istniejącej sieci gazowej w kraju po odpowiednim przetworzeniu. Niestety dostęp do tej sieci jest ograniczony, gdyż sieć gazowa nie jest rozpowszechniona w całym kraju. Ponadto, wysokie koszty podłączenia do sieci i konieczność dostosowania parametrów biogazu do tych, które są wymagane przez sieć mogą stanowić ogromne wyzwanie technologiczne i finansowe. Energia elektryczna wytwarzana z biogazu mogłaby być dostarczana do krajowej sieci elektroenergetycznej. Niemniej jednak, podłączenie do sieci elektrycznej może również wiązać się z wysokimi kosztami. Wysokie koszty i brak zdolności przyłączeniowej u operatorów sieci dystrybucyjnych skutkują odmową podłączenia.

Istnieją również inne bariery ekonomiczne i finansowe. Biogazownia wymaga wysokich kosztów inwestycyjnych, zwłaszcza jeśli obejmuje przetwarzanie surowego biogazu na biometan. Należy jednak pamiętać o korzyściach skali. Koszty jednostkowe są generalnie niższe w większych instalacjach, ale wymagają one logistyki w celu zapewnienia większych dostaw biomasy.

## Systemy wsparcia zwiększają potencjał

Przepisy krajowe przewidują kilka systemów wsparcia przeznaczonych dla biogazowni, a mianowicie system taryf gwarantowanych (ang. *feed-in tariff*, FIT), system dopłat do ceny rynkowej (ang. *feed-in premium*, FIP) oraz system aukcyjny. Przepisy umożliwiają również uzyskanie gwarancji pochodzenia energii elektrycznej wytworzonej z biogazu (nie stanowiące pomocy publicznej). Wsparcie dla biometanu ma formę systemu premii gwarantowanej. W Polsce obowiązuje system taryf gwarantowanych dla instalacji OZE wprowadzających energię do sieci elektroenergetycznej. System jest przeznaczony dla instalacji o łącznej mocy elektrycznej poniżej 0,5 MW, produkujących energię m.in. z biogazu rolniczego, biogazu ze składowisk odpadów lub biogazu z osadów ściekowych. System gwarantuje sprzedaż całości lub części energii niewykorzystanej przez producenta po stałej cenie równej 95% ceny referencyjnej na rzecz upoważnionego dostawcy lub wybranego podmiotu. System dopłat do ceny rynkowej ma zastosowanie w sytuacji większych instalacji (od 0,5 MW do 1 MW w przypadku produkcji energii z biomasy). Premia gwarantowana umożliwia sprzedaż energii elektrycznej z biogazu po stałej cenie równej 90% ceny referencyjnej wyłącznie podmiotowi wybranemu przez wytwórcę. Możliwość skorzystania ze wskazanego wsparcia jest ograniczona do 17 lat. Cena referencyjna różni się w zależności od konkretnej technologii i mocy instalacji oraz jest określana przez przepisy na poziomie wyższym niż cena rynkowa energii. System aukcyjny, stosowany powszechnie przez wytwórców energii w biogazowniach o mocy powyżej 1 MW, polega na składaniu przez konkurujących ze sobą wytwórców ofert sprzedaży określonej ilości energii w danym roku kalendarzowym. Producent, który wygra aukcję, zyskuje prawo do otrzymania wsparcia na pokrycie ujemnego salda, czyli różnicy pomiędzy rynkową ceną energii elektrycznej a zwycięską ofertą złożoną w aukcji, przez okres nieprzekraczający 15 lat. Ten system wsparcia znany jest pod nazwą „kontraktu różnicowego”.

## Analiza finansowa produkcji biogazu w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim

W ramach wstępnego studium wykonalności przeprowadziliśmy analizę finansową dla inwestycji polegającej na produkcji biogazu z bioodpadów w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim. Wzorując się na innych oczyszczalniach ścieków w omawianym obszarze, w Polsce, Norwegii i na świecie, oczyszczalnia posiada konkretne plany rozwoju produkcji biogazu w dwóch fazach:

- Faza 1 to biogazownia z osadami ściekowymi jako substratem;
- Faza 2 to rozbudowa o bioodpady komunalne i przemysłowe jako substraty do produkcji biogazu.

### Faza 1: Biogaz z osadów ściekowych

W ostatnich latach w procesie oczyszczania ścieków wytwarzano rocznie 2100-2700 Mg suchej masy osadów ściekowych. Do 2020 r. wytworzone osady ściekowe były odwadniane i przekazywane do dalszego przetwarzania firmie zewnętrznej. Od 2021 r. osady są odwadniane i suszone w temperaturze 130 stopni, a następnie produkowany jest polepszacz gleby. Nagły wzrost cen gazu w 2022 r. spowodował, że oczyszczalnia ograniczyła suszenie osadu i została zmuszona do przekazania nieprzetworzonego osadu bezpośrednio po odwodnieniu do dalszego przetwarzania.

W Fazie 1 inwestycja polegałaby na modernizacji oczyszczalni ścieków, pozwalającej na:

- stabilizację osadów w procesie fermentacji metanowej wspomaganej hydrolizą termiczno-ciśnieniową oraz produkcję energii elektrycznej i ciepłej z biogazu;
- odzysk wody z oczyszczonych ścieków;
- odzysk fosforu w postaci struwitu.

Rezultatem projektu będzie:

1. Przebudowa i rozbudowa linii przetwarzania osadów ściekowych na instalację przetwarzania osadów ściekowych ze sterylizacją osadów, produkcją i utylizacją biogazu (Zadanie 1);
2. Odzysk fosforu w postaci granulowanego struwitu (Zadanie 2);
3. Oczyszczanie i dezynfekcja ścieków oczyszczonych w celu odzyskania wody do celów przemysłowych (np. mycia ulic lub podlewania zieleni) (Zadanie 3);
4. Rozszerzenie systemu dowodzenia i kierowania o wyposażenie nowej linii osadowej oraz instalacje do odzysku fosforu i wody.

Przewidywany koszt inwestycji w fazie 1 to 65 mln PLN. Roczne przepływy pieniężne w porównaniu do scenariusza bazowego, przy różnych założeniach, szacuje się na 3,6-5,1 mln PLN, przy wewnętrznej stopie zwrotu 0-4,7% rocznie. Stopa zwrotu na poziomie 4,7% wynika z faktu, że część biogazu jest wykorzystywana do suszenia pofermentu i produkcji polepszacza gleby, podczas gdy pozostała część biogazu jest wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej i ciepła na własne potrzeby. Wytworzona energia elektryczna (2,6 GWh) zastąpi energię elektryczną z sieci.

## Faza 2: Bioodpady komunalne i przemysłowe

Beztlenowa kofermentacja osadów ściekowych z innymi materiałami biodegradowalnymi może przynieść szereg korzyści, obejmujących aspekty środowiskowe, ekonomiczne i operacyjne.

Wydajność biogazu z fermentacji samych osadów ściekowych zaplanowana w Fazie 1 nie zapewni samowystarczalności energetycznej, do której oczyszczalnie ścieków są zobowiązane dążyć. Rozbudowa biogazowni i dodanie współsubstratów może poprawić bilans energetyczny instalacji.

W kilku badaniach wykazano, że beztlenowa kofermentacja osadów ściekowych z organiczną frakcją stałych odpadów komunalnych (ang. *organic fraction of municipal solid waste*, OFMSW) skutkuje wyższą produkcją biogazu niż fermentacja samego osadu, a także poprawia jakość biogazu, poprzez zwiększenie zawartości metanu. Podobne efekty uzyskuje się w przypadku kofermentacji odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego.

Dodatkowe korzyści są związane z poprawą gospodarki odpadami komunalnymi w omawianym obszarze. Wdrożenie selektywnej zbiórki frakcji organicznej stałych odpadów komunalnych i wykorzystanie jej jako jednego z substratów spowodowałoby zamknięcie obiegu odpadów w systemie odpadów w obszarze MOFTMO.

W Fazie 2 inwestycja obejmowałaby instalację wstępnego przetwarzania odpadów biodegradowalnych ze źródeł komunalnych i przemysłowych oraz dodatkową komorę fermentacyjną (bioreaktor).

Rezultatem Fazy 2 będzie:

1. Zwiększona wydajność biogazu i metanu oraz lepszy bilans energetyczny oczyszczalni ścieków.
2. Lepsze zarządzanie frakcją organiczną stałych odpadów komunalnych.

Przewidywany koszt inwestycji w Fazie 2 wynosi 69-72 mln PLN, w zależności od scenariusza. Roczne przepływy pieniężne w porównaniu do scenariusza bazowego, przy różnych założeniach, szacuje się na 5,3-7,2 mln PLN, co daje wewnętrzną stopę zwrotu na poziomie 4,5-7,8% rocznie. Stopa zwrotu na poziomie 7,8% wynika z dodania bioodpadów przemysłowych do odpadów spożywczych i kuchennych z gmin. W tym przypadku potrzebne są dwa dodatkowe bioreaktory, co zwiększa koszt inwestycji, niemniej jednak dodatkowy koszt może być z nadwyżką sponacony w ramach dochodu z przetwarzania bioodpadów i taryf przyjęcia, a także dzięki niższym wydatkom na energię elektryczną. Jest to wstępna ocena na etapie wstępnej wykonalności. Potrzebne są dalsze badania, aby ocenić, co jest praktycznie osiągalne.

## Obserwacje i wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdziliśmy że:

- Opłacalność produkcji biogazu w Tomaszowie Mazowieckim wzrasta znacząco po uwzględnieniu odpadów komunalnych i przemysłowych. Dodatkowe koszty związane z włączeniem odpadów są niskie, a zakład pokryje znaczną część swojego zapotrzebowania na energię elektryczną, przy znacznych oszczędnościach kosztów.
- Aby osiągnąć rentowność na poziomie 10-12 procent, potrzebna jest dotacja. Dla Fazy 1. dotacja powinna mieścić się w przedziale 22-29 mln zł. W przypadku Fazy 2. dotacja może być mniejsza i wynieść 10-23 mln PLN. Rentowność wzrasta w Fazie 2.
- Nie ma możliwości, aby mniejsze oczyszczalnie ścieków stały się samowystarczalne energetycznie bez wykorzystania innych substratów niż osady ściekowe. Oczyszczalnia ścieków w Tomaszowie Mazowieckim potrzebuje 5,5 GWh energii elektrycznej rocznie, a na bazie osadów ściekowych oczyszczalnia wyprodukuje około 2,6 GWh. Po dodaniu bioodpadów z gospodarstw domowych i przemysłu, produkcja energii elektrycznej wzrośnie do 4,4 GWh. To oznacza, że dostępne dotacje/pożyczki nie powinny ograniczać substratów do jednego strumienia (np. tylko rolniczego, tylko osadów ściekowych, tylko bioodpadów komunalnych), jak to czasami ma miejsce.
- Istnieje potrzeba znalezienia zastosowania dla nadmiaru ciepła. W Fazie 1. rentowność wzrasta, gdy ciepło jest wykorzystywane do suszenia pofermentu. Jednak zarówno w tym scenariuszu, jak i w Fazie 2. ciepło pozostaje niewykorzystane. Znalezienie zastosowania dla ciepła może poprawić rentowność i akceptację społeczną. Może również zmniejszyć wpływ na środowisko (w tym klimat), ponieważ nadmiar ciepła po prostu ogrzewa powietrze. Można rozważyć uwzględnienie pełnego wykorzystania ciepła jako warunku w umowach kredytowych.
- Pod względem formalno-prawnym sposób przetwarzania pofermentu (jako bionawóz lub jako odpad) ma wpływ na rentowność. Widać to wyraźnie zarówno w Fazie 1., jak i w Fazie 2. w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim. Konieczna jest poprawa przepisów i warunków wykorzystania pofermentu w rolnictwie (i nie tylko).
- Dotacje zewnętrzne lub kredyty preferencyjne poprawią zysk inwestora w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim.

# 1 Kontekst i zakres

Celem niniejszego raportu jest stymulowanie zielonej transformacji w Polsce, poprzez wykazanie wykonalności i korzyści płynących z wykorzystania bioodpadów do produkcji biogazu w Miejskim Obszarze Funkcjonalnym Tomaszów Mazowiecki - Opoczno (MOFTMO). Raport ma na celu stworzenie podstaw do skalowania i promowania działań w innych regionach i obszarach funkcjonalnych.

W niniejszym rozdziale przedstawiono kontekst polityczny i regulacyjny dla produkcji biogazu, niezbędną infrastrukturę dla łańcucha wartości biogazu oraz aspekty finansowe produkcji biogazu. W Rozdziale 2. omówiono potencjał produkcji biogazu w MOFTMO, zarówno obecnie, jak i w przyszłości. Rozdział 3. omawia ograniczenia i bariery w realizacji potencjału w MOFTMO. Rozdział 4. koncentruje się na możliwościach, a także przykładach najlepszych praktyk z innych regionów Polski, Norwegii, Niemiec i Danii.

Wniosek płynący z rozdziałów 1-4 jest taki, że realne możliwości komercyjnej produkcji biogazu w MOFTMO leżą obecnie w wykorzystaniu osadów ściekowych i odpadów komunalnych. W związku z tym, w Rozdziale 5. opracowaliśmy analizę finansową odnośnie budowy biogazowni w dwóch fazach. Faza 1. wykorzystuje osady ściekowe jako substrat. Faza 2. to rozszerzenie o wykorzystanie bioodpadów komunalnych i przemysłowych.

## 1.1 Europejski kontekst polityczny

Przywódcy Unii Europejskiej zgodzili się osiągnąć neutralność klimatyczną do 2050 roku. Jako krok w kierunku osiągnięcia tego celu, zdecydowali o zmniejszeniu do 2030 roku emisji gazów cieplarnianych (GHG) w UE o ponad połowę w porównaniu z poziomami z 1990 roku. Osiągnięcie tych celów wymaga znacznej redukcji emisji gazów cieplarnianych w krajach UE oraz strategii radzenia sobie z wszelkimi nieuniknionymi emisjami. Innym kluczowym aspektem wysiłków UE na rzecz neutralności klimatycznej jest pakiet „Gotowi na 55” (ang. *Fit for 55 package*), który obejmuje przepisy dotyczące energii, transportu, handlu emisjami i redukcji emisji, a także użytkowania gruntów i leśnictwa. Inwestycje w odnawialne źródła energii (OZE) są niezbędne do osiągnięcia neutralności klimatycznej.

Zwiększenie produkcji biogazu i biometanu w UE może pomóc w osiągnięciu neutralności klimatycznej i realizacji innych celów w zakresie gospodarki wodno-ściekowej, ochrony przyrody i gospodarki odpadami.

Dyrektywa w sprawie energii ze źródeł odnawialnych (Dyrektywa (UE) 2023/2413) wyznacza cel co najmniej 42,5% końcowego zużycia energii brutto w Unii w 2030 r. dla energii ze źródeł odnawialnych. Dyrektywa podkreśla rolę produkcji energii z biomasy i bioodpadów.

Oczekuje się, że również sektor gospodarki wodno-ściekowej przyczyni się do realizacji celów klimatycznych i gospodarki o obiegu zamkniętym. Zgodnie z proponowaną polityką (COM/2022/541 final), komunalne oczyszczalnie ścieków muszą osiągnąć neutralność energetyczną do 2045 roku.

Oprócz wytwarzania energii na własne potrzeby, będą one zobowiązane do stosowania oczyszczania trzeciego stopnia, tj. usuwania fosforu i azotu. Biogazownie komunalne, zasilane osadami ściekowymi mogą pomóc w spełnieniu obu tych zobowiązań.

Unijna strategia „Od pola do stołu” (ang. *Farm-to-Fork Strategy*, COM/2020/381 final) podkreśla rolę i potencjał gospodarki o obiegu zamkniętym dla rolników, którzy mogą i powinni skorzystać z możliwości ograniczenia emisji metanu z hodowli zwierząt gospodarskich oraz możliwości zagospodarowania odpadów i pozostałości rolniczych, w tym obornika. Proponowanym rozwiązaniem w strategii jest rozwój energii odnawialnej i inwestowanie w biogazownie. Strategia wyznacza kierunek działań w zakresie ochrony przyrody, zobowiązując kraje UE do zmniejszenia utraty substancji odżywczych o co najmniej 50%, przy jednoczesnym zapewnieniu, że żyzność gleby nie ulegnie spadkowi oraz redukcji zużycia nawozów o co najmniej 20% do 2030 roku.

W badaniu zleconym przez Dyрекcyję Generalną ds. Działań w dziedzinie Klimatu Komisji Europejskiej j (2023) przeanalizowano możliwe sposoby wyceny emisji gazów cieplarnianych z działalności rolniczej w łańcuchu wartości produktów rolno-spożywczych w celu ograniczenia emisji z tego sektora. W badaniu przedstawiono pięć wariantów systemu handlu uprawnieniami do emisji (ETS), który mógłby zachęcać do działań na rzecz łagodzenia zmian klimatu w rolnictwie. Ponieważ największe źródła emisji gazów cieplarnianych pochodzą z fermentacji jelitowej zwierząt gospodarskich, emisji podtlenku azotu głównie w wyniku stosowania nawozów sztucznych oraz gospodarki obornikiem z produkcji zwierzęcej, potencjalne regulacje będą miały wpływ na wszystkie te obszary. Wdrożenie ETS w rolnictwie będzie zachętą do zmiany sposobu gospodarowania obornikiem. Wykorzystanie go do produkcji biogazu jest jednym ze sposobów na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych.

Cel UE w zakresie produkcji biogazu i biometanu wynosi 35 miliardów metrów sześciennych rocznie do 2030 roku. W 2022 r., według Europejskiego Stowarzyszenia Biogazu, w Europie działało prawie 20 000 biogazowni i ponad 1300 biometanowni, produkujących 16,8 mld metrów sześciennych biogazu i 4,2 mld metrów sześciennych biometanu.

## 1.2 Polska polityka i regulacje

Na sektor biogazu w Polsce mają wpływ dyrektywy i rozporządzenia UE, dotyczące łagodzenia zmian klimatu, energii odnawialnej, gospodarki odpadami, oczyszczania ścieków i ochrony środowiska. Jednocześnie sektor jest kształtowany przez warunki krajowe, takie jak dostępność zasobów, infrastruktura, krajowe ustawodawstwo i polityka. Polityka i regulacje w kilku obszarach administracyjnych wpływają na system biogazu, ze względu na jego międzysektorowy charakter.

Polska, jako członek UE, jest zaangażowana w zwiększanie roli odnawialnych źródeł energii, w tym biogazu, w swoim miksie energetycznym. Krajowa Polityka Energetyczna 2040 (PEP2040) wyznacza cele w zakresie zwiększenia wykorzystania odnawialnych źródeł energii do 21% końcowego zużycia energii brutto i ograniczenia emisji o 30% do 2030 r. (w porównaniu z poziomami z 1990 r.). Ze względu na swoje właściwości, biometan pochodzący z biogazu może z powodzeniem zastąpić gaz ziemny jako źródło ogrzewania lub paliwo. PEP2040 zakłada, że w 2030 r. osiągnięta zostanie zdolność do transportu sieciami gazowymi miksu zawierającego około 10% gazów zdekarbonizowanych (szczególnie biometanu pochodzącego z biogazu i wodoru).

Według szacunków Unii Europejskiej (Guidehouse, 2022), a także instytucji krajowych (Jacyszyn, 2021), Polska ma duży potencjał do produkcji biogazu, z uwagi na duży udział rolnictwa w kraju. Produkty uboczne i odpady powstające podczas produkcji rolnej stanowią odpowiedni wsad do procesu fermentacji metanowej. Według naukowców z Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu (Kowalczyk-Juśko, Dach, 2022) potencjał produkcji biogazu rolniczego w Polsce wynosi około 13,5 mld metrów sześciennych biogazu rocznie (7,8 mld metrów sześciennych biometanu). Zagospodarowanie odpadów i biomasy wpłynie na poprawę jakości środowiska.

Głównymi źródłami (substratami) wsadu do produkcji biogazu są biomasa rolnicza i odpady (zwierzęce i roślinne), odpady komunalne i przemysłowe ulegające biodegradacji oraz ścieki i osady ściekowe. Źródła te mają różne charakterystyki, a także różne cele ich wykorzystania i regulacje prawne.

Zarówno Ministerstwo Klimatu i Środowiska, jak i Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi mają wpływ na możliwość wykorzystania biomasy i odpadów do produkcji biogazu. W kierunku interwencji, „Strategia Zrównoważonego Rozwoju Wsi, Rolnictwa i Rybactwa 2030” wymienia inwestycje mające na celu wykorzystanie lokalnie dostępnych surowców energetycznych i innych zasobów według potencjału danego terytorium (w tym biomasy i odpadów). „Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2028” (KPGO 2028) określa kierunki działań w zakresie gospodarki odpadami ulegającymi biodegradacji (komunalnymi i innymi) oraz komunalnymi osadami ściekowymi. Jednym z celów w gospodarce odpadami ulegającymi biodegradacji innymi niż komunalne jest zwiększenie udziału przetwarzania odpadów z rolnictwa i przemysłu spożywczego w procesie fermentacji, w tym w biogazowniach rolniczych. W zakresie stałych odpadów komunalnych celem jest zapewnienie selektywnego zbierania bioodpadów od mieszkańców i placówek gastronomicznych oraz ograniczenie składowania odpadów komunalnych ulegających biodegradacji. W dokumencie wyraźnie wskazano zagospodarowanie bioodpadów w biogazowniach jako jeden z kierunków postępowania z odpadami komunalnymi.

Istniejące przepisy (Ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach) zobowiązują gminy do:

- ograniczenia składowania odpadów komunalnych do 30% rocznie w latach 2025-2029, do 20% rocznie w latach 2030-2034 oraz do 10% rocznie począwszy od 2035 r.;
- ograniczenia składowania bioodpadów do maksymalnie 35% ilości bioodpadów wytworzonych w 1995 r.;
- przygotowania do ponownego użycia i recyklingu następujący odsetek odpadów komunalnych: w 2023 r. - 35%, w 2024 r. - 45%, w 2025 r. - 55%, a następnie co roku o 1% więcej - do 2035 r. - 65%.

W odniesieniu do komunalnych osadów ściekowych, KPGO 2028 stawia za cel zmniejszenie ilości komunalnych osadów ściekowych wytwarzanych jako odpady, całkowite zaniechanie ich składowania oraz zwiększenie ilości osadów poddawanych przetwarzaniu przed wprowadzeniem do środowiska. Zaproponowany w „Krajowym Programie Oczyszczania Ścieków Komunalnych” (VI AKPOŚK 2022) kierunek działań w zakresie redukcji osadów obejmuje intensyfikację procesu stabilizacji beztlenowej (i produkcji biogazu) oraz intensyfikację procesu końcowego odwadniania osadów. Osady ściekowe, po odpowiednim przetworzeniu, mogą być wykorzystywane do produkcji kompostu i nawożenia w rolnictwie.

Na etapie produkcji biogazu rozróżnia się biogazownie i biogazownie rolnicze. Rozróżnienie to wynika z rodzaju przetwarzanych substratów oraz wynikającego z tego podziału odpowiedzialności i kompetencji pomiędzy różnymi obszarami administracyjnymi. Biogazownie rolnicze wytwarzają biogaz rolniczy (lub energię elektryczną, ciepło i biometan z biogazu rolniczego), przy czym biogaz rolniczy definiowany jest jako gaz otrzymywany w procesie fermentacji metanowej ograniczonego katalogu substratów pochodzenia rolniczego lub z przetwórstwa rolno-spożywczego. Biogazownie rolnicze rejestrowane są w Krajowym Ośrodku Wsparcia Rolnictwa (KOWR)<sup>1</sup>, agencji wykonawczej Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, odpowiedzialnej za wdrażanie i stosowanie instrumentów wspierających aktywną politykę rolną i rozwój obszarów wiejskich.

Ustawa o ułatwieniach w przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie biogazowni rolniczych oraz ich eksploatacji wprowadza wiele uproszczeń, które przyspieszają budowę i ułatwiają zarządzanie istniejącymi biogazowniami rolniczymi, m.in. preferencyjne warunki lokalizacji i uproszczenia w zakresie wykorzystania pofermentu jako nawozu. Ustawa nie dotyczy jednak wszystkich instalacji, a jedynie tych zarządzanych przez rolników i wprowadza szereg ograniczeń prawnych, dotyczących maksymalnej rocznej produkcji biogazu oraz dopuszczalnych substratów.

Biogazownie inne niż rolnicze nie są ograniczone wyborem substratów. W zależności od technologii mogą one przyjmować różne materiały wsadowe, takie jak osady ściekowe i bioodpady przemysłowe lub komunalne. Biogazownie te są rejestrowane w Urzędzie Regulacji Energetyki (URE)<sup>2</sup>, centralnym organie administracji rządowej powołanym do realizacji zadań związanych z regulacją gospodarki paliwami i energią oraz promocją konkurencji.

Nadzór nad rynkiem wytwarzania energii elektrycznej z biogazu, z wyłączeniem biogazu rolniczego, sprawuje Prezes URE. Urząd udziela koncesji na wykonywanie działalności gospodarczej w tym zakresie i sprawdza spełnianie jej warunków. Dokonuje również wpisu do rejestru małych instalacji odnawialnych źródeł energii i sprawdza spełnianie ustawowych wymagań dotyczących prowadzenia regulowanej działalności gospodarczej w tym zakresie. Nadzór nad rynkiem biogazu rolniczego, biokomponentów i biopłynów, a także funkcjonowaniem spółdzielni energetycznych i wytwarzaniem przez rolników biopaliw ciekłych na ich potrzeby, sprawuje Dyrektor Generalny KOWR.

Inwestycje w biogazownie w Polsce zyskują na popularności, ze względu na pojawiające się rozwiązania ułatwiające wdrożenie, takie jak ramy prawne dla małych rolniczych biogazowni i możliwości finansowania. Krajowe przepisy przewidują kilka systemów wsparcia dedykowanych biogazowniom, w tym taryfy gwarantowane (FIT), system dopłat do ceny rynkowej (FIP) i system aukcyjny. Przepisy te pozwalają również na uzyskanie gwarancji pochodzenia energii elektrycznej wytwarzanej z biogazu (nie stanowią one pomocy publicznej).

Polska posiada system wsparcia FIT (*feed-in tariff*, FIT) dla instalacji odnawialnych źródeł energii (OZE), które wprowadzają energię do sieci elektroenergetycznej. System ten jest przeznaczony dla instalacji o łącznej mocy elektrycznej poniżej 0,5 MW, wytwarzających energię z takich źródeł jak biogaz rolniczy, biogaz wysypiskowy lub biogaz z osadów ściekowych. Gwarantuje on sprzedaż całości lub części energii niewykorzystanej przez wytwórcę po stałej cenie równej 95% ceny refe-

---

<sup>1</sup> Rejestr: <https://www.gov.pl/web/kowr/rejestr-wytworcow-biogazu-rolniczego>

<sup>2</sup> Rejestr: <https://rejestry.ure.gov.pl/o/21>



rencyjnej uprawnionemu dostawcy lub wybranemu podmiotowi. Drugi system, to jest system dopłat do cen rynkowych (*feed-in-premium*, FIP), przeznaczony dla większym instalacji (od 500 kW do 1 MW w przypadku produkcji energii z biomasy). System FIP umożliwia sprzedaż energii elektrycznej z biogazu po stałej cenie równej 90% ceny referencyjnej wyłącznie podmiotowi wybranemu przez wytwórcę. Możliwość korzystania z tego wsparcia jest ograniczona do maksymalnie 17 lat. Cena referencyjna różni się w zależności od konkretnej technologii i mocy instalacji i jest określona przepisami.

Obecnie najwyższa cena referencyjna dotyczy najmniejszych instalacji wykorzystujących biogaz rolniczy w wysokosprawnej kogeneracji i wynosi 1025 PLN/MWh, czyli jest ponad dwupółkrotnie wyższa od rynkowej ceny energii. Dla biogazowni o mocy poniżej 500 kW wykorzystującej wyłącznie biogaz pozyskany z oczyszczalni ścieków cena referencyjna wynosi 572 PLN/MWh. W przypadku wytwarzania energii w wysokosprawnej kogeneracji cena ta wynosi 714 PLN/MWh. Dla biogazowni o mocy od 0,5 do 1 MWh ceny referencyjne wynoszą odpowiednio 520 i 663 PLN/MWh.

System aukcyjny, stosowany powszechnie przez wytwórców energii w biogazowniach o mocy większej niż 1 MW, polega na składaniu przez konkurujących ze sobą wytwórców ofert sprzedaży określonej ilości energii w danym roku kalendarzowym. Producent, który wygra aukcję, zyskuje prawo do wsparcia w pokryciu ujemnego salda, czyli różnicy pomiędzy rynkową ceną energii elektrycznej a zwycięską ofertą złożoną w aukcji, przez okres nieprzekraczający 15 lat. System ten znany jest pod nazwą „kontraktu różnicowego”. Jednakże ze względu na kwestie takie jak: mniej atrakcyjne ceny referencyjne dla biogazowni o mocy większej niż 1 MW w porównaniu z cenami dla mniejszych biogazowni, wymuszanie konkurencji poprzez odrzucanie skrajnych ofert, a także znaczny wzrost kosztów inwestycyjnych i pogoń za substratami do produkcji biogazu, aukcje dedykowane dużym biogazowniom od lat pozostają nierozstrzygnięte<sup>3</sup>.

Wsparcie dla biometanu jest oparte na mechanizmie FIP. Okres wsparcia w tym systemie wynosi 20 lat od pierwszego dnia sprzedaży biometanu objętego wsparciem, jednak nie dłużej niż do 30 czerwca 2048 roku. Cena referencyjna biometanu ustalana jest w drodze rozporządzenia. Obecnie cena referencyjna biometanu dla instalacji odnawialnego źródła energii wytwarzającej biometan z biogazu wynosi 538 PLN /MWh. W przypadku wytwarzania biometanu z biogazu rolniczego cena referencyjna wynosi 545 PLN/MWh.

Ostatnio realizuje się coraz więcej kampanii publicznych, które mają na celu podniesienie świadomości ekologicznej obywateli i zwiększenie poziomu akceptacji społecznej dla tego typu inwestycji w lokalnych społecznościach.

### 1.3 Infrastruktura, technologia i logistyka

W procesie fermentacji beztlenowej mikroorganizmy metabolizują bogatą w substancje organiczne biomasę (np. odpady rolnicze, przemysłowe i komunalne) w celu wytworzenia biogazu, tj. mieszaniny głównie metanu i dwutlenku węgla. Beztlenowa fermentacja materii organicznej jest procesem czteroetapowym, obejmującym hydrolizę, kwasogenezę, acetogenezę i metanogenezę. Każdy etap jest związany z różnymi populacjami drobnoustrojów. Czas potrzebny do degradacji

<sup>3</sup><https://codozasady.pl/p/aktualne-uwarunkowania-ryнку-biogazu-w-polsce>; dostęp 27.06.2024

biomasy do biogazu lub makrocząsteczek do głównie metanu i dwutlenku węgla różni się w zależności od charakteru wiązań chemicznych węglowodanów w biomasie.

### 1.3.1 Infrastruktura dla gromadzenia substratów

Jednym ze źródeł substratów do produkcji biogazu jest biodegradowalna frakcja stałych odpadów komunalnych. W Polsce odpowiedzialność za odbiór i zagospodarowanie stałych odpadów komunalnych spoczywa na gminach od 2012 roku. W każdej gminie gospodarka odpadami jest zorganizowana zgodnie z zasadami określonymi w odpowiednich uchwałach rad gmin. Odpowiedzialność za poprawę infrastruktury, szczególnie zbiórki i odzysku odpadów oraz osiągnięcie celów w zakresie ponownego wykorzystania i recyklingu, również spoczywa na władzach gmin. Podobnie do innych krajów europejskich, gminy w Polsce są zobowiązane do zapewnienia selektywnego zbierania odpadów komunalnych, w tym co najmniej papieru, metali, tworzyw sztucznych, szkła, wielomateriałowych odpadów opakowaniowych oraz bioodpadów. Zbiórka odpadów komunalnych finansowana jest z opłaty za gospodarowanie odpadami (tzw. opłaty śmieciowej), uiszczanej przez mieszkańców na rzecz gmin, a w przypadku odpadów komunalnych pochodzących z innych źródeł – przez właścicieli na rzecz firm odbierających odpady. Główną zasadą przy ustalaniu opłaty śmieciowej jest konieczność zapewnienia samofinansowania się systemu gospodarki odpadami. Opłaty śmieciowe powinny pokrywać koszty odbioru odpadów od mieszkańców, ich transportu i utylizacji, a także koszty administracyjne i koszty działań edukacyjnych. Segregowane odpady komunalne są odbierane z nieruchomości zgodnie z harmonogramem ustalonym przez gminę, przy użyciu specjalnych pojazdów i transportowane do miejsca zagospodarowania odpadów, np. sortowni, kompostowni, spalarni lub składowiska. Gminy tworzą również punkty zbiórki odpadów komunalnych, do których mieszkańcy/przedsiębiorcy mogą indywidualnie dostarczać swoje odpady, w tym bioodpady. Warunkiem wykorzystania bioodpadów w procesie fermentacji beztlenowej jest selektywna zbiórka odpadów spożywczych i kuchennych, które są odpowiednim substratem dla tego procesu. Niemniej jednak, wdrożenie selektywnej zbiórki jest trudne. Samorządy borykają się z wieloma problemami w tym zakresie. Oprócz aspektów organizacyjnych (konieczność wyposażenia gospodarstw domowych w dodatkowe pojemniki) i logistycznych (bioodpady wymagają częstszego odbioru), problemem jest również brak finansów. Obecnie w wielu gminach wysokie opłaty pobierane od mieszkańców za odbiór odpadów nie pokrywają kosztów zarządzania systemem.

Inną grupą substratów do produkcji biogazu są osady ściekowe wytwarzane w oczyszczalniach ścieków. Zbieranie i oczyszczanie ścieków komunalnych, podobnie jak gospodarka odpadami, należy do zadań własnych gminy. Ścieki komunalne z określonego obszaru są transportowane rurociągami kanalizacyjnymi (lub, w przypadku braku kanalizacji, ciężarówkami z cysternami) do oczyszczalni ścieków, gdzie poddawane są procesowi oczyszczania. Wytworzony osad wstępny i wtórny może być transportowany rurociągami do części oczyszczalni zajmującej się przetwarzaniem osadów. W przypadku ścieków przemysłowych można wyróżnić dwa główne podejścia. Ścieki spełniające wymagania (limity) oczyszczalni ścieków komunalnych pod względem zawartości zanieczyszczeń mogą być odprowadzane do tej oczyszczalni. Jeśli zawartość zanieczyszczeń zostanie przekroczona, konieczne może być na przykład zbudowanie przyzakładowej oczyszczalni ścieków. Wtedy osad z przyzakładowej oczyszczalni ścieków jest transportowany do zakładu utylizacji odpadów.

Istotnym źródłem substratów dla biogazowni jest biomasa rolnicza. Obejmuje ona produkty uboczne pochodzenia zwierzęcego, produkty uboczne pochodzenia roślinnego i uprawy do produkcji kiszonki. Część tej biomasy może być wykorzystywana przez rolników do swoich celów, np. obornik i gnojowica mogą być stosowane jako nawóz na własnych gruntach. Jednak w przypadku dużej hodowli bydła lub trzody chlewnej, powstałe ilości obornika i gnojowicy mogą być problematyczne w zarządzaniu. Wytworzona biomasa wykorzystywana w rolnictwie lub leśnictwie nie jest klasyfikowana jako odpad i rejestrowana w żadnej bazie danych. Nadmiar biomasy, wymagający dalszego przetwarzania, staje się odpadem. Aby przekazać odpady do zagospodarowania/przetworzenia przez kogoś innego, rolnicy muszą zawrzeć odpowiednie umowy i porozumienia dotyczące przekazywania i przetwarzania odpadów zgodnie z prawem. Takie odpady są transportowane odpowiednimi pojazdami do miejsca przetwarzania, np. kompostowni, spalarni lub biogazowni. Do czasu odbioru odpady muszą być odpowiednio przechowywane, np. obornik musi być przechowywany na nieprzepuszczalnym podłożu, aby zapobiec zanieczyszczeniu środowiska.

### 1.3.2 Infrastruktura produkcji biogazu

W zależności od rodzaju wykorzystywanego substratu można wyróżnić trzy typy biogazowni:

- biogazownia wykorzystująca biodegradowalne odpady komunalne lub przemysłowe,
- biogazownia przy oczyszczalni ścieków wykorzystująca osady ściekowe,
- biogazownia rolnicza wykorzystująca biomasę rolniczą lub odpady z przetwórstwa rolno-spożywczego.

Każda biogazownia, bez względu na wybrany rodzaj przetwarzanego substratu, składa się z kilku podstawowych segmentów:

- segment I – segment przechowywania i obróbki wstępnej substratu (w skład tego segmentu wchodzi m. in. zbiorniki substratu, pompy, macerator, układ higienizacji oraz układ przechowywania/odprowadzania surowca i uśredniania wsadu);
- segment II – komora fermentacyjna (może być zbudowana z różnych materiałów, np. betonu, tworzyw sztucznych, blachy stalowej; komora zazwyczaj wyposażona jest w mieszadło, detektor i wyłapywacz piany, miernik poziomu cieczy wewnątrz komory);
- segment III – system ogrzewania (zapewniający utrzymanie odpowiedniej dla wybranego procesu fermentacji temperatury, wyposażony w wymienniki ciepła);
- segment IV – system instalacji gazowej (odpowiadający za odbiór, oczyszczanie i przechowywanie wytwarzanego biogazu; bardzo istotna w tym procesie jest odsiarczalnia);
- segment V – segment przechowywania lub przetwarzania pozostałości pofermentacyjnej (np. zbiornik na poferment, instalacja do dalszego obróbki pofermentu na nawóz, instalacja odwodnienia osadu – wirówka lub prasa);
- segment VI – bioelektrociepłownia: wyposażona w agregaty kogeneracyjne produkujące energię elektryczną i ciepło które będzie wykorzystywane technologicznie do podgrzewania osadów w komorach fermentacyjnych oraz jako CO<sub>2</sub>, a energia wykorzystania zostanie do zasilenia urządzeń elektrycznych na oczyszczalni. Ważnym elementem jest w tym układzie wymiennikownia ciepła, która podgrzewa osad w komorach fermentacyjnych.

Lokalizacja ma kluczowe znaczenie przy budowie biogazowni. Wybór lokalizacji zależy od kilku czynników, m.in. powierzchni potrzebnej pod inwestycję, dostępu do substratów (w tym możliwości ich transportu po utwardzonych drogach), dostępu do infrastruktury elektroenergetycznej umożliwiającej podłączenie do sieci oraz, w przypadku produkcji biometanu z biogazu, dostępu do sieci gazowej.

W przypadku biogazowni rolniczej cała inwestycja, wraz z miejscem składowania substratów i masy pofermentacyjnej, zajmuje powierzchnię ponad 1 ha. Biogazownie rolnicze, ze względu na ich budowę w sąsiedztwie dużych gospodarstw rolnych, czyli miejsc produkcji substratów (np. obornika, kiszzonek), są rozproszone na terenie całego kraju. Biogazownie rolnicze mogą być również zlokalizowane w pobliżu zakładów przetwórstwa spożywczego, gdzie zapotrzebowanie na miejsce jest mniejsze. Biogazownie komunalne lub przemysłowe zlokalizowane obok zakładów przetwórstwa spożywczego, oczyszczalni ścieków lub zakładów utylizacji odpadów wymagają niewielkiej przestrzeni, ponieważ są częścią bardziej rozbudowanego systemu technologicznego /kompleksu infrastruktury. Obiekty te dysponują już przestrzenią do przechowywania substratów i pofermentu. W takim przypadku biogazownia jest tylko jednym z elementów całego zakładu.

W zależności od rodzaju substratu i jego lokalizacji, biogazownie charakteryzują się różnymi parametrami. Parametry te obejmują między innymi dostępność i wartość energetyczną substratu (surowca), łatwość fermentacji, roczną wydajność (metry sześciennie/rok), moc elektryczną i cieplną, ponieważ kogeneracja jest często metodą z wyboru w produkcji energii. Ważnym aspektem jest również możliwość wykorzystania pofermentu.

Sprawność biogazowni zależy między innymi od wyboru substratów, które mają różną zawartość substancji organicznych i wydajność metanu. Do produkcji biogazu można wykorzystać wiele substratów. Różnią się one przede wszystkim pochodzeniem, konsystencją, składem i gęstością. Podstawowymi substratami do produkcji biogazu są:

- produkty uboczne i odpady z przemysłu spożywczego (np. z gorzelnii, przemysłu mięsnego i mleczarskiego, przetwórstwa owoców i warzyw);
- biomasa i odpady rolnicze (np. obornik, gnojowica, słoma, siano);
- osady ściekowe z oczyszczania ścieków;
- biodegradowalne odpady komunalne;
- rośliny energetyczne przeznaczone do fermentacji (np. kukurydza, słonecznik, trawa, sorgo).

Kwestie, które należy wziąć pod uwagę w odniesieniu do substratów, oprócz ich pochodzenia, to:

- skład (zawartość suchej masy, zawartość materii organicznej, stosunek węgla do azotu);
- możliwe zanieczyszczenia materiałami nieorganicznymi, drewnem, kośćmi, piórami, glebą, środkami dezynfekującymi, pestycydami, antybiotykami;
- wahania sezonowe;
- konieczność przechowywania pod względem ilości i czasu trwania.

Właściwe przygotowanie substratu jest konieczne, aby proces fermentacji beztlenowej przebiegał sprawnie. Dlatego też, wymagana jest wstępna obróbka, aby zapewnić wydajność procesu, zmaksymalizować wydajność produktu i obniżyć koszty operacyjne. Wstępna obróbka ma na celu usunięcie materiałów nieulegających biodegradacji i ujednorodnienie surowca. Istnieją różne rodzaje metod wstępnego przetwarzania:

- fizyczne: mechaniczne, termiczne, ultradźwiękowe, elektrochemiczne;
- chemiczne: alkaliczne, kwasowe, utleniające;
- biologiczne: mikrobiologiczne, enzymatyczne;
- proces łączony: wyłaczanie, termochemiczne.

Zanieczyszczenia w substratach są oddzielane podczas kontroli. Maceracja surowca ma na celu stworzenie odpowiedniej konsystencji do dalszego przetwarzania. Szczególne surowce, takie jak osady ściekowe lub produkty uboczne pochodzenia zwierzęcego, wymagają etapu dezynfekcji, np. pasteryzacji.

W zależności od surowca, wstępne przetwarzanie może być prostym procesem, jak w przypadku obornika i gnojowicy, lub bardziej złożonym, wieloetapowym procesem, jak w przypadku odpadów komunalnych lub odpadów biodegradowalnych komercyjnych i przemysłowych. W przypadku odpadów spożywczych segregowanych u źródła wymagane jest rozpakowywanie i przesiewanie, podobnie jak w przypadku odpadów z sektora komercyjnego zawierających przeterminowane lub niezdatne do spożycia produkty. Odpowiednia eliminacja zanieczyszczeń ma kluczowe znaczenie dla wydajności i bezawaryjności procesu. Zanieczyszczony surowiec może powodować uszkodzenia w linii hydraulicznej i pompach oraz zmniejszać dostępną objętość reaktora w przypadku osadzania (Jank i in. 2015).

Oprócz usuwania materiałów niebiodegradowalnych i homogenizacji surowca, proces wstępnego oczyszczania ma na celu poprawę wydajności biogazu. W przypadku osadów ściekowych, wstępne oczyszczanie osadów ma pomóc zmniejszyć ich wysoką odporność zarówno na odwadnianie, jak i biodegradację. Zwiększenie składników odżywczych dostępnych dla mikroorganizmów zwiększa tempo rozkładania, skraca czas retencji i zwiększa produkcję biogazu (Kasinath i in., 2021). Należy wziąć pod uwagę, że wszelkie wstępne oczyszczanie jest dodatkowym etapem procesu rozkładania, a poprawa produkcji biogazu powinna pokryć koszty kapitałowe i zarządzania.

Inną metodą optymalizacji procesu produkcji biogazu i zwiększenia jego wydajności jest kofermentacja. Według badań (Kowalczyk-Juško, 2013; Grosser i in., 2017; Kasinath i in., 2021) stosowanie mieszanki substratów może znacznie zwiększyć produkcję biogazu w porównaniu z wykorzystaniem pojedynczego substratu.

Biogazownie można podzielić według ich wielkości i ilości substratu:

- duże, scentralizowane biogazownie – zakłady o wkładzie substratu wynoszącym od 50 do 500 ton dziennie; substraty są pozyskiwane z kilku źródeł, często zlokalizowane w bliskim sąsiedztwie producentów substratu, np. w pobliżu dużych gospodarstw hodowlanych lub zakładów przetwórstwa spożywczego;
- małe, niezależne biogazownie – zakłady zazwyczaj wykorzystujące substraty z jednego źródła.

Głównymi elementami biogazowni są oddzielne komory fermentacyjne, w których zachodzi proces rozkładu i produkcji biogazu. Charakteryzują się one różnymi objętościami, w zależności od ilości substratu do przetworzenia. W średniej wielkości biogazowniach najczęściej spotykane są komory fermentacyjne o objętości około 1000 metrów sześciennych. Są one połączone w systemy (np. 2-4 komory). Zakłady o większej wydajności mają duże, oddzielne komory fermentacyjne o objętości ponad 5000 metrów sześciennych. W biogazowniach rolniczych typowa objętość komory fermentacyjnej wynosi około 1000–1500 metrów sześciennych.

Przy określaniu mocy elektrycznej biogazowni ważne jest, aby rozważyć, czy wytwarzana energia zaspokoi tylko potrzeby obiektu, czy też zostanie wyprodukowana w większych ilościach na sprzedaż i wprowadzona do sieci. W przypadku biogazowni rolniczych typowa moc elektryczna instalacji wynosi 1 MW. Istnieją również instalacje o mocy 2,4 MW lub 3,5 MW. Ze względu na szczególne ułatwienia prawne dotyczące zakładania biogazowni rolniczych o mocy mniejszej niż 0,5 MW na rynku może pojawić się więcej instalacji tej wielkości.

Szacuje się, że techniczny okres eksploatacji biogazowni wynosi ponad 20 lat (do 30 lat), ale zależy to od szeregu czynników, w tym regularnego wykonywania wszystkich niezbędnych prac konserwacyjnych i wymiany poszczególnych części lub urządzeń w biogazowni.

### 1.3.3 Technologie produkcji biogazu

Technologia produkcji biogazu jest uzależniona przede wszystkim od wybranego rodzaju przetwarzanych substratów. Rozwiązania technologiczne dzieli się według określonych kryteriów, do których zalicza się:

- zawartość suchej masy w komorze fermentacyjnej;
- temperaturę procesu;
- ilość stopni procesu;
- stopień rozdzielania poszczególnych faz procesu fermentacji;
- sposób dozowania substratu do komory fermentacyjnej.

Tabela 1.1 Klasyfikacja technologii produkcji biogazu

Kryterium	Rodzaj technologii	Cechy charakterystyczne
Temperatura procesu	Mezofilowa	35-37 stopni Celsjusza, najczęściej stosowana
	Termofilowa	55-60 stopni Celsjusza, rzadziej stosowana. Większa wydajność, ale proces bardziej wrażliwy na zakłócenia.
Zawartość suchej masy w komorze fermentacyjnej	Fermentacja mokra	Zawartość suchej masy w substratach nie przekracza 15%, a fermentowany substrat ma postać płyną
	Fermentacja sucha	Zawartość suchej masy w substratach bardzo wysoka, fermentowany substrat ma postać stałą
Ilość stopni procesu	Jednostopniowa	Instalacja obejmuje jedną komorę fermentacyjną
	Wielostopniowa	Instalacja obejmuje kilka komór, gdzie w poszczególnych stopniach prowadzone są inne procesy, np. w 1-wszym stopniu wstępne podgrzanie
Stopień rozdzielenia poszczególnych faz procesu fermentacji	Jednofazowa	Hydroliza substratów i etap metanogenezy zachodzą w jednym reaktorze z równą intensywnością
	Wielofazowa	Hydroliza substratów i etap metanogenezy zachodzą w oddzielnych reaktorach
Sposób dozowania substratu do komory fermentacyjnej	Ciągły	Dozowanie substratów następuje równomiernie w sposób ciągły, co umożliwia utrzymanie stałego stopnia produkcji biogazu
	Okresowy	Napełnianie komory fermentacyjnej jednorazowo i jej opróżnienie po zakończeniu procesu. Stopień produkcji biogazu jest wyższy w początkowym okresie procesu, maleje wraz z upływem czasu.

Źródło: Kwaśny, Banach i Kowalski (2012)

### 1.3.4 Infrastruktura do wykorzystania biogazu

Istnieją różne sposoby wykorzystania zarówno surowego, jak i uszlachetnionego biogazu. Komercyjnie wykonalne metody wykorzystania biogazu obejmują wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu (CHP), wytwarzanie energii elektrycznej w ogniwach paliwowych, multigenerację ciepła, pary, energii elektrycznej i chłodzenia w przemyśle, wtrysk do sieci gazowych, paliwo transportowe i produkcję chemikaliów (Budzianowski 2016). Oczyszczanie biogazu, mające na celu usunięcie śladowych składników niekorzystnie wpływających na sieć przesyłową gazu, urządzenia lub użytkowników końcowych, jest konieczne przed jego użyciem. Proces uszlachetniania biogazu, mający na celu usunięcie dwutlenku węgla w celu dostosowania wartości opałowej i gęstości względnej, jest etapem opcjonalnym, ale niezbędnym do wtłaczania biogazu do sieci gazowej lub produkcji paliwa transportowego. Biometan lub biosyntetyczny gaz ziemny (bio-SNG) jest czystym paliwem do transportu lub wtrysku do sieci gazu ziemnego. Biogaz można uszlachetnić do biometanu poprzez oddzielenie dwutlenku węgla lub przekształcenie dwutlenku węgla w metan. Biometan może być wprowadzany do sieci gazowej i/lub przekształcany w sprężony biogaz lub skroplony biogaz (odpowiednio bio-CNG i bio-LNG), aby służyć jako paliwo transportowe. Bio-CNG i bio-LNG są chemicznie równoważne odpowiednio sprężonemu gazowi ziemnemu (CNG) i skroplonemu gazowi ziemnemu (LNG). Decyzja o tym, jak najlepiej wykorzystać energię, zależy w dużej mierze od wielkości obiektu, dostępnej infrastruktury i technologii oraz kosztów.

## Wytwarzanie i wykorzystanie energii elektrycznej i ciepła na miejscu

Bardzo często głównym celem budowy biogazowni jest osiągnięcie samowystarczalności energetycznej, zarówno pod względem elektrycznym, jak i cieplnym. Najczęstszym rozwiązaniem jest wykorzystanie silnika lub elektrowni do jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej (kogeneracja, CHP). Przykładowo, dla wszystkich biogazowni rolniczych działających w Polsce, najczęstszą ścieżką wykorzystania biogazu jest skojarzone wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej (CHP) (Holewa-Rataj i Kukulska-Zajac 2022). Biogazownia jest wyposażona w silnik kogeneracyjny, w którym w wyniku spalania biogazu powstaje energia elektryczna i ciepła, które są wykorzystywane do funkcjonowania zakładu i powiązanych obiektów. Sprawność produkcji energii elektrycznej może osiągnąć 45% lub więcej w przypadku silników gazowych i mikroturbin gazowych. Sprawność kogeneracji na poziomie ponad 80% może zostać osiągnięta w przypadku wykorzystania zarówno ciepła spalin, jak i wody podgrzanej w płaszczu cylindra (Budzianowski 2016). Zazwyczaj nie ma problemów z produkcją i wykorzystaniem własnej energii elektrycznej. Problematyczne jest jednak wykorzystanie ciepła produkowanego w kogeneracji. Wiele elektrowni biogazowych wykorzystuje ciepło wytwarzane jako produkt uboczny wyłącznie do celów wewnętrznych, w szczególności do podtrzymania procesów fermentacji beztlenowej. Nie zaspokajają one żadnego zewnętrznego zapotrzebowania na ciepło. Jeśli biogazownia ma połączenie z systemami ciepłowniczymi, ciepło może być wykorzystywane w systemach ciepłowniczych (więcej informacji poniżej). Niektóre biogazownie instalują suszarnie, aby wykorzystać nadmiar ciepła do suszenia pofermentu lub różnego rodzaju produktów rolnych (płodów rolnych, zwłaszcza roślin strączkowych i zbóż), co jest niezbędnym zabiegiem do przechowywania i sprzedaży tych produktów. Instalacje takie stają się coraz bardziej popularne w Polsce i Europie. Innym możliwym wykorzystaniem nadmiaru ciepła jest ogrzewanie szklarni.

## Ogrzewanie sieciowe

W przypadku produkcji energii cieplnej w większej ilości niż zapotrzebowanie własne biogazowni istnieje możliwość sprzedaży energii cieplnej do lokalnej sieci ciepłowniczej. Takie rozwiązanie jest korzystne w przypadku dużych nadwyżek ciepła i bliskości węzła ciepłowniczego, do którego biogazownia musiałaby się podłączyć. Rzadko się to jednak zdarza, gdyż biogazownie są często oddalone od budynków mieszkalnych. Budowa przyłącza do sieci ciepłowniczej znacznie zwiększa koszty inwestycji.

## Wprowadzanie biogazu do sieci

W Polsce oczyszczony i uszlachetniony biogaz (biometan) może być wprowadzany do sieci dystrybucyjnej gazu ziemnego. Zgodnie z prawem, wtłaczany biometan musi spełniać wymagania energetyczne i jakościowe dla danego rodzaju gazu. Przed wprowadzeniem biometanu do sieci, poza jego oczyszczeniem i uszlachetnieniem, operator sieci gazowej wydaje decyzję określającą warunki przyłączenia instalacji biogazowej do sieci gazowej.

## Paliwo transportowe

Opłacalną i coraz bardziej popularną opcją jest wykorzystanie biogazu jako paliwa transportowego. Biogaz można przekształcić w biogaz sprężony (CBG) lub biogaz skroplony (LBG). Kluczowe



etapy obejmują uszlachetnianie biogazu do biometanu i sprężanie biometanu do CBG, który może być następnie wykorzystywany w pojazdach. CBG jest dystrybuowany rurociągami lub transportowany w zbiornikach do stacji paliw. Pojazdy muszą być kompatybilne z systemami CNG lub dwupaliwowymi (CNG i olej napędowy). W przypadku LBG biogaz jest najpierw przetwarzany na biometan, a następnie schładzany do temperatur kriogenicznych (-162°C) w celu przekształcenia go w stan ciekły. LBG jest przechowywany w zbiornikach kriogenicznych i może być transportowany w cysternach z izolacją na większe odległości niż CBG. LBG może być wykorzystywany jako paliwo do pojazdów napędzanych skroplonym gazem ziemnym (LNG), zwłaszcza ciężkich samochodów ciężarowych i statków morskich.

### 1.3.5 Poferment jako polepszacz gleby

Powstały w procesie produkcji biogazu poferment, ze względu na swoje właściwości oraz zawartość odpowiednich dla uprawy roślin substancji odżywczych, najczęściej jest wykorzystywany w rolnictwie jako zamiennik nawozów sztucznych.

Poferment może być wprowadzony na rynek jako produkt uboczny procesu fermentacji lub jako nawóz organiczny. Stosowanie pofermentu jako nawozu wymaga uzyskania pozwolenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Poferment należy stosować zgodnie z zaleceniami/instrukcjami.

Ze względu na sezonowość stosowania nawozów w polskich warunkach klimatycznych, poferment należy przechowywać pomiędzy sezonami nawozowymi w odpowiednich warunkach, które pozwolą zachować jego właściwości i ograniczyć jego potencjalny negatywny wpływ na środowisko (np. wycieki, zapach).

### 1.3.6 Rozwój i potencjał technologiczny

Wraz ze wzrostem poziomu produkcji biogazu powyżej zapotrzebowania energetycznego producenta, wzrasta ekonomiczna opłacalność produkcji biometanu, otwierając nowe możliwości rozwoju instalacji i wykorzystania powstałego produktu. Biometan, który z powodzeniem może zastąpić gaz ziemny, produkowany jest w drodze uszlachetniania biogazu. Istnieje kilka metod uszlachetniania biogazu i otrzymywania biometanu, wśród których możemy wyróżnić (Podgórska, Narloch 2022):

- fizyczna absorbcja
- chemiczna absorbcja
- ciśnieniowa absorbcja
- membranowa separacja
- kriogeniczna separacja
- biologiczna konwersja
- metoda in situ (bardzo rzadko stosowana).

Najczęściej stosowaną metodą jest fizyczna absorbcja, gdzie wykorzystuje się płuczkę wodną lub rozpuszczalnik. W tej metodzie biogaz jest kompresowany i dostarczany do komory absorpcyjnej przez którą płynie od dołu do góry. W komorze woda przesącza się od góry do dołu, przez co

napotka przeciwbieżny prąd gazu. Przy wykorzystaniu rozpuszczalnika biogaz jest ponownie sprężony, a następnie schładzany do około 10-20 °C, dzięki czemu część pary wodnej ulega kondensacji. W wyniku kontaktu sprężonego biogazu z rozpuszczalnikiem organicznym dochodzi do absorpcji CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>S. Oczyszczony gaz, już biometan, zawiera około 98% czystego CH<sub>4</sub>.

Często stosowaną metodą oczyszczania biogazu z oczyszczalni ścieków lub wysypiskowego jest metoda membranowej separacji, która pozwala na oddzielanie zanieczyszczeń, głównie ditlenku węgla i siarkowodoru. Membrana pełni rolę filtra, przez który przenikają niektóre składniki rozdzielanej mieszaniny gazu, a inne są zatrzymywane. W tej metodzie występują najczęściej dwie membrany.

W fazie badań naukowych pozostaje metoda biologicznej konwersji, która polega na biologicznym uzdatnianiu biogazu. Zgodnie z dostępną literaturą, dotychczasowe wyniki świadczą o wysokim potencjale metody przy założeniu uproszczenia instalacji technologicznych oraz niższych kosztach urządzeń i eksploatacji.

Dostępne technologie oczyszczania biogazu pozwalają m. in. na wyróżnienie trzech stopni oczyszczania biogazu.

**Tabela 1.2** Stopnie oczyszczania biogazu i możliwości wykorzystania

Stopień oczyszczania biogazu	Opis procesu oczyszczania	Możliwości wykorzystania produktu
I stopień	Usunięcie pary wodnej oraz	Spalanie w piecach w celu uzyskania ciepła lub pary wodnej
	Usunięcie H <sub>2</sub> S (poniżej poziomu 1000 ppm)	Spalanie w mikroturbinach lub silnikach Stirlinga
II stopień	Usunięcie pary wodnej oraz usunięcie H <sub>2</sub> S (poniżej poziomu 1000 ppm) oraz	Spalanie w mikroturbinach, silnikach CHP lub silnikach Stirlinga
	Usunięcie CO <sub>2</sub> (poniżej 5% objętości)	
	Usunięcie pary wodnej oraz usunięcie H <sub>2</sub> S (poniżej poziomu 1000 ppm) oraz	Zatłaczanie biogazu do sieci gazu ziemnego
Usunięcie CO <sub>2</sub> (poniżej 5% objętości) oraz	Produkcja paliw CBG (compressed biogas) lub LBG (liquid biogas) do pojazdów	
III stopień	Usunięcie różnorodnych zanieczyszczeń poniżej założonych/wymaganych poziomów	Produkcja substancji chemicznych

Źródło: Podgórska i Narloch (2022)

Potencjał biogazu do produkcji biometanu jest stosunkowo szeroko wykorzystywany w Europie. W 2021 r. na kontynencie funkcjonowało prawie 1000 instalacji. W Polsce na razie nie funkcjonuje żadna biometanownia, chociaż prace nad instalacjami już się rozpoczęły. Zgodnie z założeniami jednego z inwestorów, pierwsza biometanownia w Polsce ma zostać uruchomiona w woj. warmińsko-mazurskim w drugiej połowie 2024 r. Całość produkowanego tam płynnego biometanu ma być wykorzystywana jako paliwo dla transportu ciężarowego. Inwestor ma w planach także przekształcenie trzech innych istniejących już biogazowni w biometanownie.

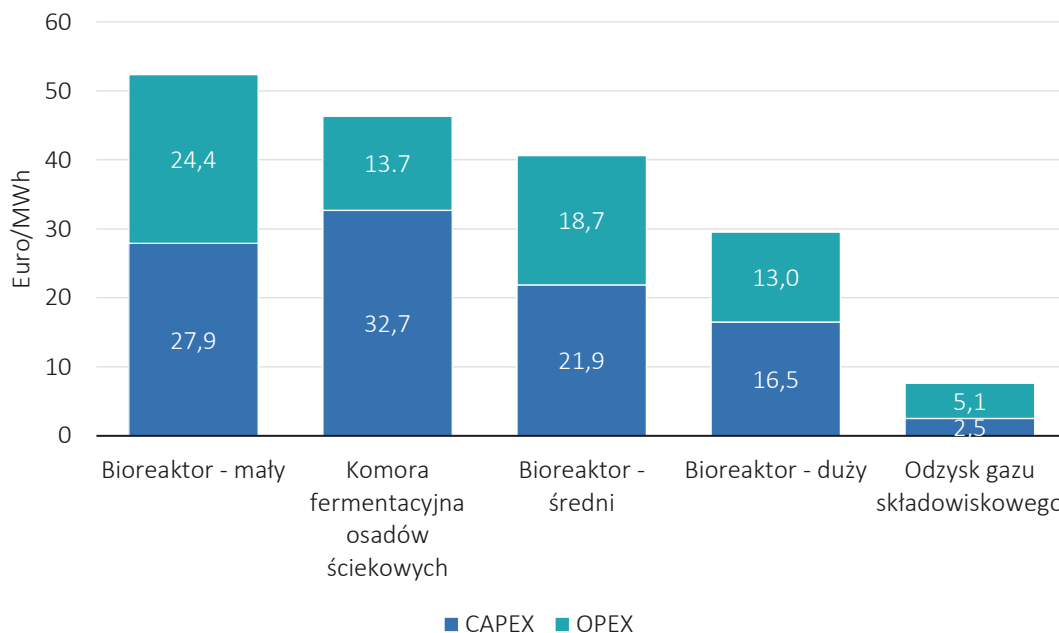
Rozwój produkcji biogazu i biometanu, a docelowo biopaliw, będzie wiązać się z potrzebą rozbudowy infrastruktury tankowania pojazdów.

## 1.4 Aspekty finansowe

Aspekty finansowe produkcji biogazu zależą od kosztów kapitałowych (CAPEX) i operacyjnych (OPEX), które różnią się w zależności od wielkości obiektów i rodzajów surowców. Nakłady inwestycyjne (CAPEX) odnoszą się do środków, które firma przeznaczą na nabycie i ulepszenie aktywów fizycznych, takich jak budynki, sprzęt, maszyny i pojazdy. Koszty operacyjne (OPEX) obejmują bieżące koszty, jakie firma ponosi w związku z prowadzeniem codziennych operacji, takie jak konserwacja i naprawa sprzętu produkcyjnego i obiektów, wydatki związane z energią elektryczną, ciepłem i innymi materiałami, koszty pracy, wstępna obróbka surowców itp.

Średnie koszty technologii produkcji biogazu wg. Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA) przedstawiono na Rysunku 1.1. Na rysunku uwzględniono dwie główne kategorie: bioreaktory i komory fermentacyjne ścieków. Bioreaktory, stosowane w systemach wykorzystujących organiczne materiały odpadowe, takie jak odpady rolnicze, obornik zwierzęcy i odpady żywnościowe, są podzielone na trzy kategorie wielkości: małe, średnie i duże, odpowiednio o wydajności 100 metrów sześciennych/h, 250 metrów sześciennych/h i 750 metrów sześciennych/h. Kategoria obejmująca komory fermentacyjne ścieków dotyczy istniejących oczyszczalni ścieków, dostosowanych do przetwarzania osadów wytwarzanych na poziomie miasta, o wydajności 1000 metrów sześciennych/h (IEA, 2020). Oczekiwany okres eksploatacji każdej technologii jest uwzględniany w obliczeniach inwestycji kapitałowych. Oczekiwany okres eksploatacji wynosi 20 lat zarówno dla bioreaktorów (małych, średnich i dużych), jak i komór fermentacyjnych ścieków. Należy zwrócić uwagę, że wartości liczbowe nie obejmują kosztów surowców.

Rysunek 1.1 Średnie koszty technologii produkcji biogazu na jednostkę wytworzonej energii (bez kosztu wsadu), 2018 r.



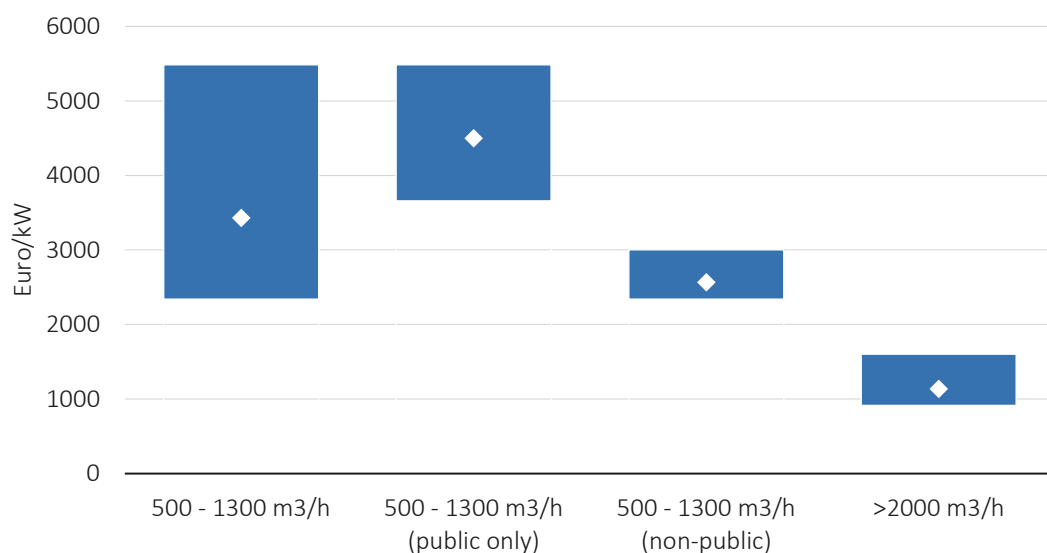
Źródło: (IEA, 2020)

Komory fermentacyjne ścieków mają najwyższe koszty kapitałowe - CAPEX wynosi około 33 euro za megawatogodzinę. Koszty inwestycyjne bioreaktorów maleją w miarę wzrostu ich wydajności, zaczynając od 27,9 euro/MWh w przypadku małych bioreaktorów, 21,9 euro/MWh w przypadku średnich bioreaktorów i 16,5 euro/MWh w przypadku dużych bioreaktorów. Koszty kapitałowe pokazują korzyści skali dla bioreaktorów, jednak nie dotyczy to wszystkich technologii. Komora fermentacyjna ścieków ma wydajność 1000 metrów sześciennych gazu na godzinę, która przewyższa wydajność największych bioreaktorów. Jednak generuje ona wyższe koszty kapitałowe na megawatogodzinę. Koszty operacyjne bioreaktorów również pokazują korzyści skali. Małe bioreaktory generują średnie koszty OPEX wynoszące 24,4 euro za megawatogodzinę, w porównaniu do 18,7 euro dla bioreaktorów o średniej wydajności i 13 euro dla dużych bioreaktorów. Według IEA, średni koszt OPEX komory fermentacyjnej ścieków wynosi 13,7 euro za megawatogodzinę, co jest porównywalne z kosztami dużego bioreaktora.

Biorąc pod uwagę koszt całkowity, małe bioreaktory mają najwyższy koszt na megawatogodzinę, następnie są komory fermentacyjne ścieków. W przypadku bioreaktorów, OPEX jako udział w całkowitych kosztach maleje wraz ze wzrostem wydajności i instalacji, sugerując, że zwiększenie skali zakładu nie zwiększa proporcjonalnie liczby godzin pracy i wymagań konserwacyjnych. CAPEX jako udział w całkowitych kosztach wynosi nieco ponad 50 procent dla bioreaktorów o wszystkich pojemnościach: 56 procent dla dużych reaktorów, 54 procent dla średnich reaktorów i 53 procent dla małych reaktorów. Struktura kosztów dla komór fermentacyjnych ścieków rozkłada się inaczej, przy czym CAPEX stanowi około 70 procent całkowitych kosztów. To pokazuje, że początkowe nakłady kapitałowe dla komór fermentacyjnych ścieków są stosunkowo wysokie, chociaż ich koszty operacyjne są zbliżone do kosztów dużych bioreaktorów.

W 2023 r. Partnerstwo Przemysłowe Biometanu (*Biomethane Industrial Partnership, BIP*) zebrało dane od kilku europejskich producentów biometanu. Raport przygotowany na podstawie otrzymanych informacji zawiera dane na temat kosztów: surowca, produkcji biogazu, ulepszenia biogazu oraz koszty niższego szczebla ponoszone w związku z biogazem i koszty produktów ubocznych. Koszty kapitałowe i operacyjne związane z produkcją biogazu przedstawiono na rysunku 1.2 i rysunku 1.3.

**Rysunek 1.2** Zakres CAPEX zakładu produkcji biogazu w zależności od jego wydajności i rodzaju surowca

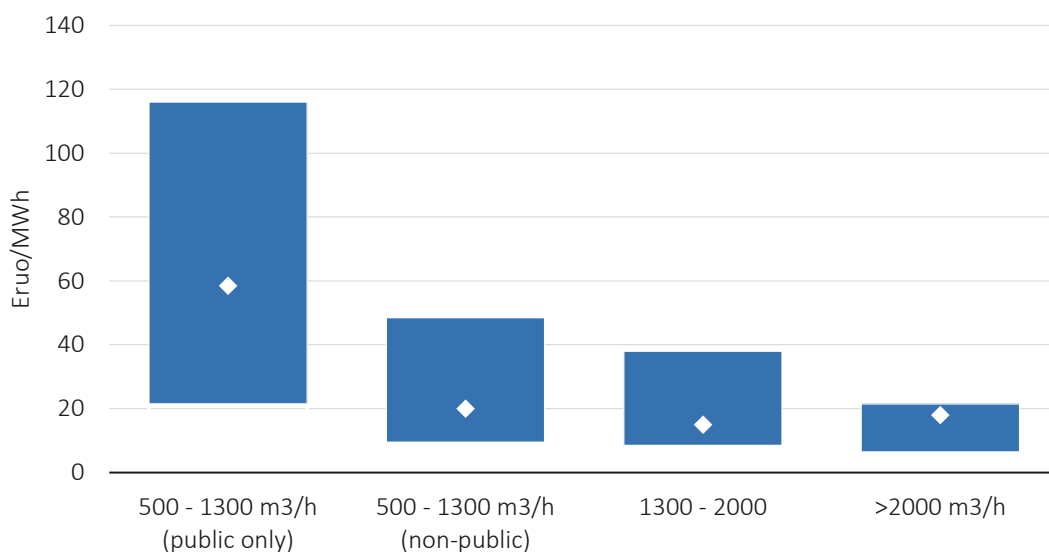


Źródło: Na podstawie danych opracowanych przez Biomethane Industrial Partnership, 2023  
public – publiczne; non-public – niepubliczne

Jak widać na Rysunku 1.2, instalacje o wydajności od 500 do 1300 metrów sześciennych gazu na godzinę mają CAPEX w zakresie od około 2300 do 5500 euro za kilowat - średnio 3400 euro/kilowat. Jednak w przypadku większych instalacji, o wydajności produkcyjnej powyżej 2000 metrów sześciennych na godzinę, CAPEX waha się od 900 do 1600 euro za kilowat – średnio 1140 euro/kilowat. Koszt kilowata maleje wraz ze wzrostem wydajności instalacji, co sugeruje istotne korzyści skali. Jest to zgodne z danymi IEA przedstawionymi na Rysunku 1.1. Ze względu na niewielką liczbę obserwacji, instalacje o wydajności poniżej 500 metrów sześciennych na godzinę oraz te, o wydajności od 1300 do 2000 metrów sześciennych na godzinę zostały wyłączone z przeglądu CAPEX.

CAPEX zmienia się również w zależności od rodzaju surowca wprowadzanego do produkcji. Badanie przeprowadzone przez Partnerstwo Przemysłowe Biometanu wykazało znaczne różnice w kosztach kapitałowych między zakładami wykorzystującymi publiczne surowce i tymi, które wykorzystują niepubliczne surowce. W tym przypadku publiczne surowce oznaczają zarówno stałe odpady komunalne (ang. *municipal solid waste, MSW*), jak i osady ściekowe z oczyszczalni ścieków. Zakłady biogazowe o wydajności 500–1300 metrów sześciennych/h, wykorzystujące niepubliczne surowce, ponoszą koszty kapitałowe wynoszące od 2200 do 3000 euro za kilowat. Z drugiej strony zakłady o tej samej wydajności wykorzystujące publiczne surowce ponoszą znacznie wyższe koszty kapitałowe, wynoszące od 3800 do 5500 euro za kilowat. Zgodnie z liczbami zgłoszonymi do Partnerstwo Przemysłowego Biometanu, biogazownie wykorzystujące publiczne surowce wymagają około 80% więcej inwestycji niż inne zakłady.

**Rysunek 1.3** Zakres OPEX zakładu produkcji biogazu w zależności od jego wydajności i rodzaju wykorzystywanego surowca

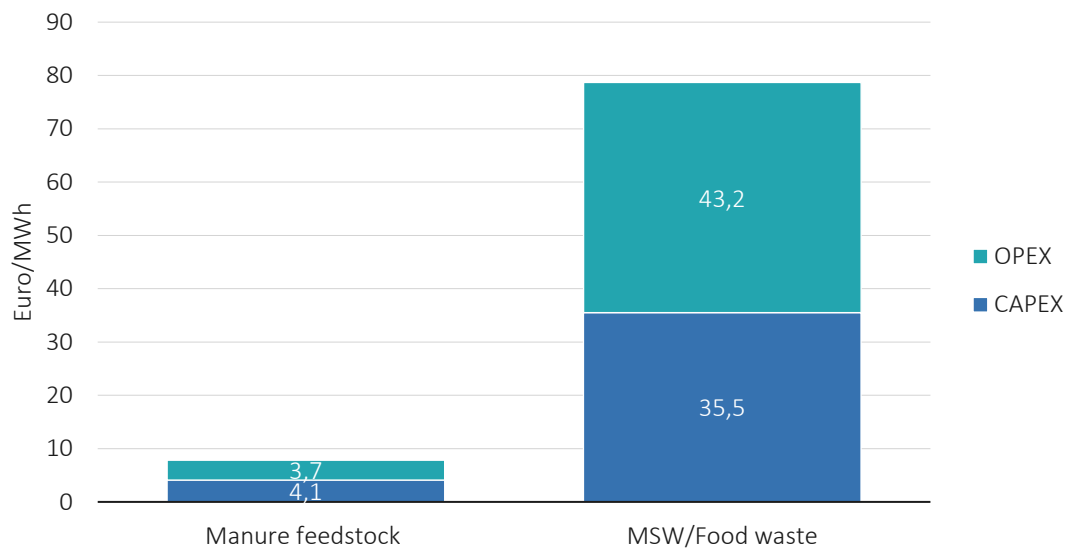


Źródło: Na podstawie danych opracowanych przez Biomethane Industrial Partnership, 2023  
public – publiczne; non-public – niepubliczne

Rysunek 1.3 przedstawia przegląd kosztów operacyjnych (OPEX) produkcji biogazu, sklasyfikowanych według wielkości i rodzaju surowca. Zgodnie z danymi z 2023 r., opracowanymi przez Partnerstwo Przemysłowe Biometanu, większe zakłady produkcji biogazu zazwyczaj ponoszą niższe koszty operacyjne na wyprodukowaną MWh. Jednak ekonomia skali nie jest tu tak wyraźna, jak ta, zaobserwowana w przypadku kosztów kapitałowych. Średnia wynosi około 20 euro/MWh dla zakładów wszystkich rozmiarów wykorzystujących surowce niepubliczne. To, czy zakład wykorzystuje surowce publiczne czy niepubliczne, wydaje się być najważniejszym czynnikiem wpływającym na OPEX. Zakłady o wydajności od 500 do 1300 metrów sześciennych na godzinę, które wykorzystują surowce publiczne, mają średnio trzy razy wyższy OPEX, niż zakłady w tym samym zakresie wydajności, które wykorzystują inne surowce.

Zgodnie z wartościami liczbowymi w Planie rozwoju biznesu (*Business Improvement Plan, BIP*), zakłady produkujące biogaz, które wykorzystują surowce publiczne wykazują tendencję do ponoszenia wyższych kosztów kapitałowych i operacyjnych niż inne zakłady. Największą różnicą między zakładami wykorzystującymi surowce publiczne i niepubliczne jest sposób wstępnego przetwarzania danego surowca. Rysunek 1.4 przedstawia średnie koszty związane ze wstępnym przetwarzaniem surowca w zakładzie wykorzystującym obornik, to jest surowiec niepubliczny oraz w zakładzie wykorzystującym stałe odpady komunalne, to jest surowiec publiczny. Całkowite koszty związane z wstępnym przetwarzaniem surowca w zakładzie wykorzystującym obornik jako główny surowiec wynoszą około 8 euro za megawatogodzinę. Całkowita kwota jest równo podzielona i nakłady inwestycyjne (CAPEX) wynoszą 4,1 euro, a koszty operacyjne (OPEX) 3,7 euro za megawatogodzinę. W przypadku zakładów wykorzystujących stałe odpady komunalne lub odpady żywnościowe jako surowiec całkowite koszty są znacznie wyższe i wynoszą około 79 euro za megawatogodzinę. Podział między nakładami inwestycyjnymi (CAPEX) i wydatkami operacyjnymi (OPEX) jest podobny do podziału w zakładach niepublicznych, przy czym nakłady inwestycyjne (CAPEX) stanowią około 45 procent całkowitych kosztów.

Rysunek 1.4 Koszty związane z wstępnym przetwarzaniem surowca



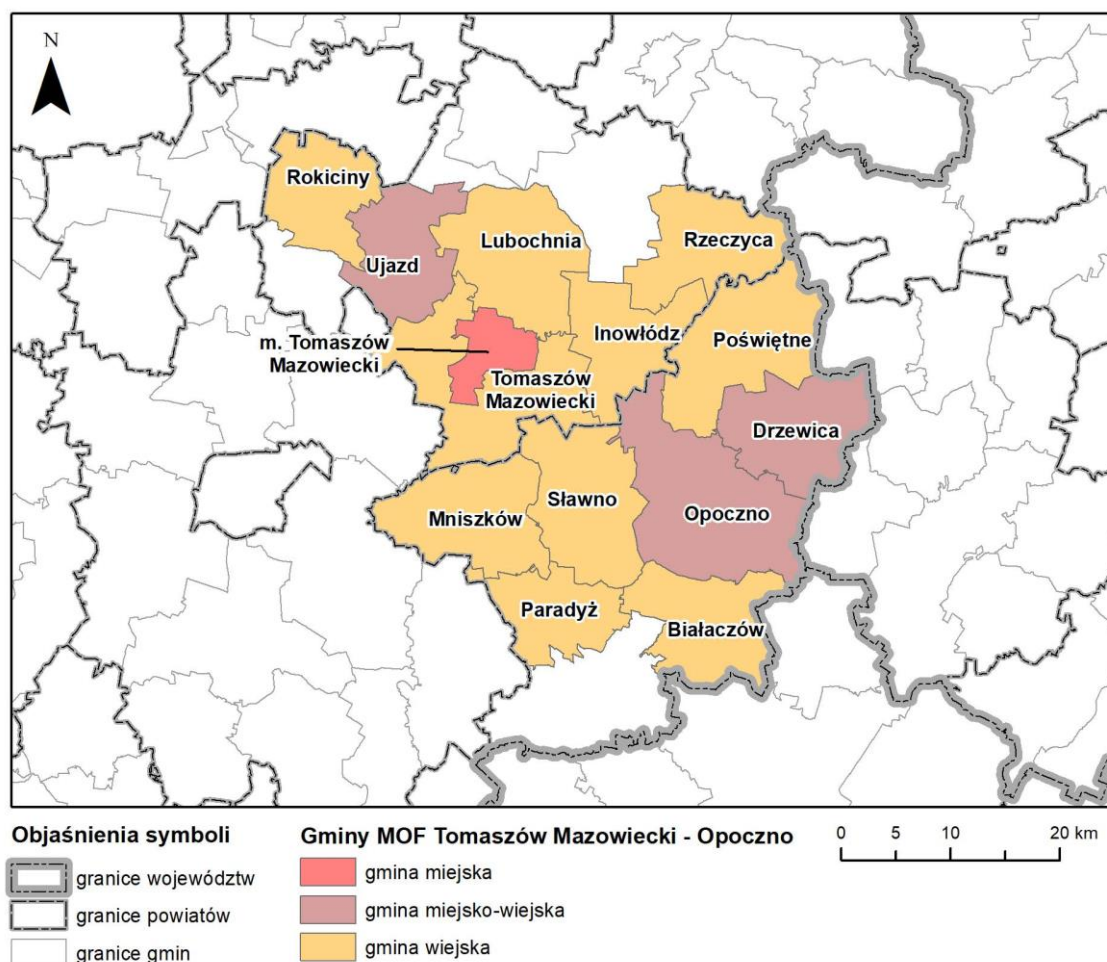
Źródło: Na podstawie danych opracowanych przez Biomethane Industrial Partnership, 2023  
Manure feedstock – oborniki MSW/Food waste – stałe odpady komunalne/odpady spożywcze

## 2 Ocena zasobów MOFTMO

### 2.1 Obszar MOFTMO

Przedmiotem niniejszego opracowania jest analiza możliwości rozwoju produkcji biogazu z biomasy i bioodpadów na terenie MOFTMO. Obszar ten obejmuje 14 gmin powiatów tomaszowskiego i opoczyńskiego w województwie łódzkim. W celu opracowania wspólnej strategii zintegrowanych inwestycji terytorialnych i jej realizacji utworzono związek międzygminny. Na rysunku 2.1 przedstawiono gminy wchodzące w skład MOFTMO.

Rysunek 2.1 Podział administracyjny MOFTMO

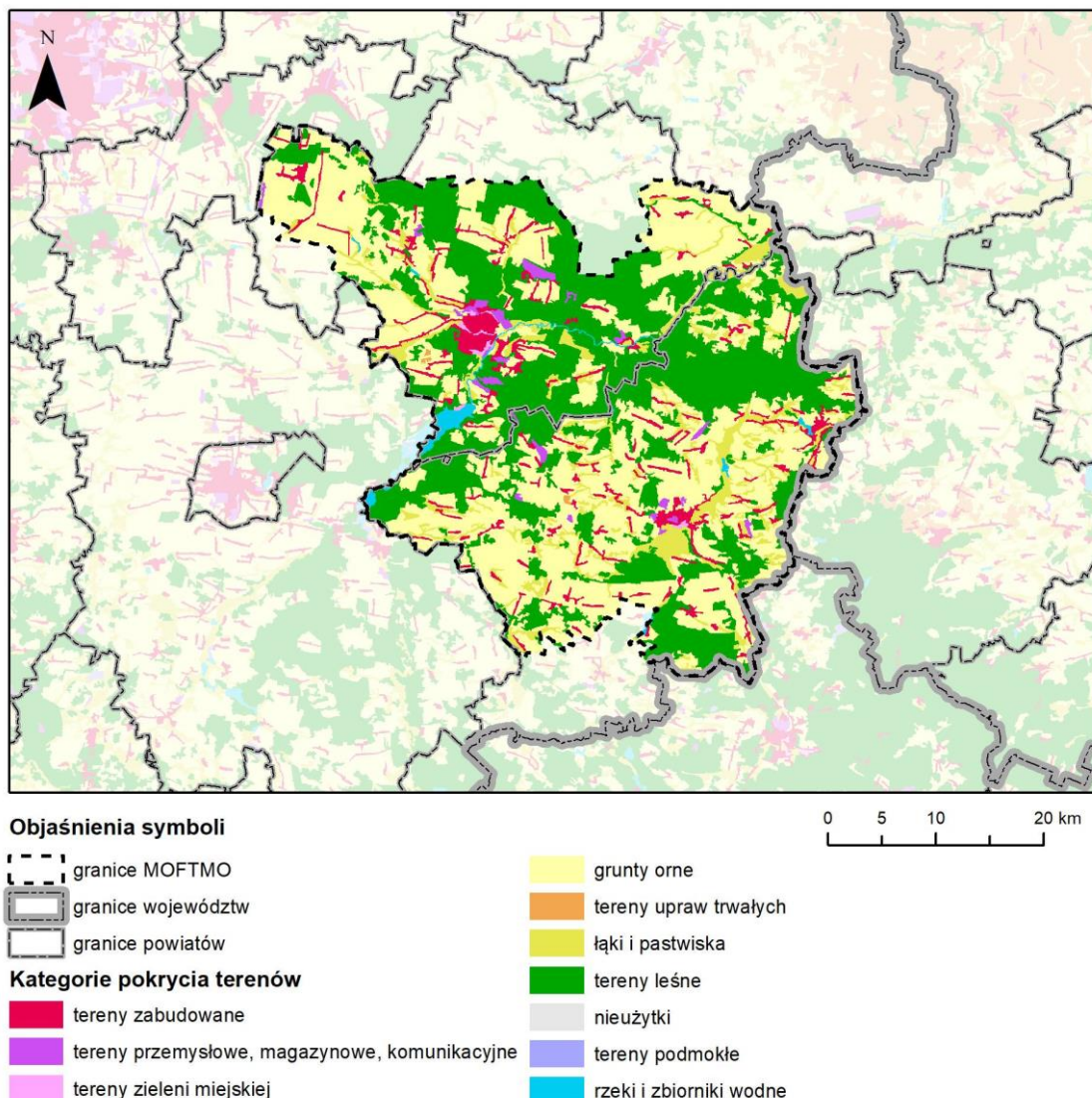


Źródło: IOŚ-PIB na podstawie Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii (GUGiK)

MOFTMO znajduje się w centralnej Polsce. Pod względem użytkowania gruntów jest to obszar w przeważającej mierze rolniczy (Rysunek 2.2). Tereny rolnicze, z przewagą gruntów ornych, zajmują nieco ponad 53% omawianego obszaru. Lesistość obszaru jest wysoka (około 38%). Lasy znajdują się w centralnej części, wzdłuż doliny Pilicy (główniej rzeki) oraz mniejszych cieków wodnych.



Rysunek 2.2 Pokrycie terenu w obszarze MOFTMO



Źródło: IOŚ-PIB na podstawie Corine Land Cover (EEA) i Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii (GUGiK)

Omawiany obszar zamieszkuje około 160 000 osób (stan na 2021 r.). Największym miastem jest Tomaszów Mazowiecki, w którym mieszka 1/3 ludności MOFTMO. Są tu jeszcze trzy mniejsze miasta oraz liczne miasteczka i wsie.

Gospodarka opiera się na przemyśle i usługach. Ważną rolę w gospodarce obszaru i poszczególnych gmin odgrywają przedsiębiorstwa z branży mineralno-chemicznej, zajmujące się m.in. produkcją materiałów budowlanych i ceramiki, a także przedsiębiorstwa z branży spożywczej. Rolnictwo ma duże znaczenie dla tutejszych przedsiębiorstw przetwórstwa spożywczego.

## 2.2 Mapowanie dostępnych surowców w MOFTMO

Ocena potencjału produkcji biogazu w MOFTMO wymaga analizy dostępnych substratów. Możliwymi źródłami substratów są:

- organiczna (biodegradowalna) frakcja odpadów komunalnych;

- osady z komunalnych oczyszczalni ścieków;
- biodegradowalne odpady przemysłowe;
- biomasa i bioodpady z rolnictwa (pochodzenia zwierzęcego i roślinnego).

### 2.2.1 Frakcja organiczna stałych odpadów komunalnych

Zgodnie z badaniami w zakresie odpadów komunalnych wytwarzanych w polskich gminach przeprowadzonych przez IOŚ-PIB (2022), zawartość frakcji organicznej w wytwarzanych odpadach komunalnych stałych (bioodpadach) wynosi średnio 28,68% - od 28 do 31%, w zależności od pochodzenia (z obszaru miejskiego lub wiejskiego) i wielkości populacji na terenach zurbanizowanych. Wytworzone bioodpady komunalne składają się z odpadów zielonych (trawa, liście, gałęzie) oraz odpadów spożywczych (pozostałości z przygotowywania żywności i odpadki ze spożycia żywności). W 2021 r. na obszarze MOFTMO zebrano łącznie 54 861 Mg odpadów komunalnych stałych (Baza danych o produktach, opakowaniach i gospodarce odpadami, BDO 2021). Na podstawie danych dotyczących wytworzonych odpadów komunalnych stałych i liczby ludności, potencjał wytwarzania bioodpadów w omawianym obszarze oszacowano na ok. 16,6 tys. Mg. Według tego samego badania odpady spożywcze stanowią 61% wytwarzanych bioodpadów, co oznacza, że **potencjalna ilość wytwarzanych bioodpadów wynosi ok. 10,1 tys. Mg odpadów spożywczych i 6,5 tys. Mg odpadów zielonych rocznie.**

### 2.2.2 Selektywne odpady komunalne

W 2021 r. w 11 z 14 gmin MOFTMO selektywnie zbierano odpady komunalne. Odpady kuchenne i spożywcze zbierano razem z odpadami zielonymi z ogrodów i parków. Zebrana ilość odpadów to: 2 957 Mg (BDO, 2021). W przypadku wybranych gmin uwzględniono w tej kategorii odpady pochodzące z innych źródeł niż gospodarstwa domowe (szkoły, biura, restauracje i inne małe firmy itp.). W całkowitej ilości odpadów biodegradowalnych zebranych na omawianym obszarze największy udział (78%) miało miasto Tomaszów Mazowiecki. Biorąc pod uwagę potencjał wytwarzania bioodpadów w MOFTMO, wynoszący 16,6 tys. Mg, odpady zebrane selektywnie w 2021 r. stanowiły 17,8% tej teoretycznej wartości. Zgodnie z niedawnym badaniem (Favoino i Giavini, 2020), w zakresie skuteczności różnych systemów zbiórki i składu komunalnych bioodpadów, można założyć, że 20% zebranych w MOFTMO bioodpadów stanowiły odpady spożywcze/kuchenne. Przy takim założeniu i biorąc pod uwagę obecny wskaźnik zbiórki, **w zebranych na omawianym obszarze bioodpadów ok. 590 Mg stanowiły odpady spożywcze/kuchenne, a ok. 2360 Mg odpady zielone.**

### 2.2.3 Osady z komunalnych oczyszczalni ścieków

W regionie MOFTMO działa 19 komunalnych oczyszczalni ścieków o łącznej przepustowości 40,5 tys. m<sup>3</sup> na dobę. W latach 2020-2022 średnia ilość komunalnych osadów ściekowych powstających podczas oczyszczania ścieków wyniosła 2,6 tys. Mg suchej masy rocznie, z czego średnio 14% wykorzystano w rolnictwie (Główny Urząd Statystyczny, Bank danych Lokalnych BDL). Większość osadów ściekowych powstających w regionie powstaje w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Ma-

zowieckim (ok. 80%). Zakładając, że całość lub część osadów ściekowych mogłaby zostać wprowadzona do biogazowni, **potencjał komunalnych osadów ściekowych do wykorzystania w produkcji biogazu wynosi od 2,3 do 2,6 tys. Mg suchej masy rocznie.**

#### 2.2.4 Odpady przemysłowe biodegradowalne

W 2021 r. w regionie MOFTMO wytworzono 7,8 tys. Mg odpadów biodegradowalnych innych niż odpady komunalne i komunalne osady ściekowe (BDO, 2021). Największy udział miały odpady z przemysłu piekarniczego i cukierniczego (52,8%), przeterminowane lub niezdatne do spożycia produkty spożywcze (23,3%) oraz odpady z przygotowania i przetwórstwa mięsa, ryb i innych produktów spożywczych pochodzenia zwierzęcego (15,1%). Największy potencjał do produkcji biogazu mają odpady zawierające tkanki roślinne (ok. 340 Mg/rok), odpady zawierające tkanki zwierzęce (ok. 630 Mg/rok), osady z przydomowych oczyszczalni ścieków w zakładach przetwórstwa mięsa, ryb i innych produktów spożywczych pochodzenia zwierzęcego (ok. 550 Mg/rok), materiały nienadające się do spożycia lub przetworzenia (ok. 4 000 Mg/rok) oraz produkty spożywcze przeterminowane lub nienadające się do spożycia (1 800 Mg/rok). Spośród gmin regionu MOFTMO największym potencjałem pod względem substratów do produkcji biogazu dysponują miasta Tomaszów Mazowiecki i Opoczno. **Łączna ilość biodegradowalnych odpadów przemysłowych wytwarzanych w regionie wynosi ok. 7600 Mg rocznie.**

#### 2.2.5 Produkty uboczne pochodzenia zwierzęcego

Produkty uboczne pochodzenia zwierzęcego (ABP) to materiały uzyskane ze zwierząt, które nie są przeznaczone do spożycia przez ludzi. ABP obejmują<sup>4</sup>:

- odpady rzeźnicze (skóra, kości, rogi i kopyta, krew, tłuszcz i podroby),
- odpady gastronomiczne,
- padłe zwierzęta,
- martwe zwierzęta domowe,
- materiały wytwarzane przez zwierzęta, takie jak obornik, skorupki jaj, pióra, wełna, wosk pszczeli,
- artykuły spożywcze pochodzenia zwierzęcego, takie jak mleko, jaja, mięso, które nie nadaje się już do spożycia przez ludzi (z przyczyn handlowych, jakościowych, produkcyjnych itp.).

Produkty uboczne pochodzenia zwierzęcego są objęte rozporządzeniem (KE) nr 1069/2009, a jeśli są zaklasyfikowane jako odpady - odpowiednimi przepisami dotyczącymi odpadów. Produkty uboczne pochodzenia zwierzęcego, które nie są klasyfikowane jako odpady, nie są objęte obowiązkowymi statystykami odpadów i nie są uwzględniane w bazie danych o gospodarce odpadami (BDO). Wśród produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego wytwarzanych w MOFTMO ilościowo dominuje obornik. Ponieważ ten rodzaj biomasy nie jest objęty statystyką odpadów, do mapowania materiałów wytwarzanych przez zwierzęta dokonano szacunków opartych na wartościach teoretycznych. Według Narodowego Spisu Rolnego z 2020 r. w regionie MOFTMO pogło-

---

<sup>4</sup> <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/animal-by-products>

wie bydła wynosiło 29 tys. sztuk, trzody chlewnej 57 tys. sztuk, a drobiu 1,7 mln sztuk (96% погоłowa drobiu stanowiły kury) (Główny Urząd Statystyczny, Bank Danych Lokalnych - BDL). Na podstawie wskaźników określonych w Normatywach produkcji rolniczej, biorąc pod uwagę, że ok. 80% zwierząt w Polsce jest utrzymywanych w płytkich oborach ściółkowych (Kuś, Madej i Kopiński, 2006), **potencjał masy substratów można oszacować na ok. 430 tys. Mg obornika i 245 tys. Mg gnojowicy.**

## 2.2.6 Produkty uboczne pochodzenia roślinnego

Łączna powierzchnia użytków rolnych w regionie MOFTMO wynosi 60,6 tys. ha. Dominującymi uprawami są zboża, które zajmują 46% całkowitej powierzchni upraw (Baza danych ARiMR). Trwałe pastwiska i trawy zajmują 21,5% powierzchni gruntów ornych. Kukurydza uprawiana jest na 6% powierzchni gruntów ornych. Przyjmując, że 5-10% siana, 50-70% słomy i 60% kukurydzy może być wykorzystane jako substrat do produkcji biogazu, na podstawie dostępnych wskaźników (Jasiulewicz i Janiszewska, 2013; Jarosz, 2016; Niekurzak, 2022), **oszacowano potencjał biomasy z produkcji rolniczej w regionie MOFTMO:**

- siano: 2 600 – 5 200 Mg/rok; średnio 3 900 Mg/rok;
- słoma: 55 800 Mg/rok;
- kukurydza: 68 000 Mg/rok.

## 2.2.7 Rośliny energetyczne

Obecnie w MOFTMO tylko 8,6 ha (0,014% gruntów ornych regionu) jest przeznaczone pod uprawę wierzby. Nie uprawia się żadnych innych roślin energetycznych.

## 2.2.8 Dostępne surowce do produkcji biogazu

Zgodnie z mapowaniem biomasy i bioodpadów, następujące surowce z MOFTMO mogą być wykorzystane do produkcji biogazu (Tabela 2.1):

- Odpady biodegradowalne z przemysłu: odpady tkanki roślinnej (ok. 340 Mg/rok), odpady tkanki zwierzęcej (ok. 630 Mg/rok), osady z oczyszczalni ścieków w zakładach przetwórstwa mięsa, ryb i innych produktów spożywczych pochodzenia zwierzęcego (ok. 550 Mg/rok), materiały nienadające się do spożycia lub przetworzenia (ok. 4000 Mg/rok), produkty spożywcze przeterminowane lub nienadające się do spożycia (1800 Mg/rok). Łącznie - ok. 7600 Mg/rok;
- Osady z komunalnych oczyszczalni ścieków: ok. 2300 - 2700 Mg suchej masy/rok;
- Bioodpady komunalne (odpady spożywcze i kuchenne): ok. 590 Mg/rok;
- Biomasa roślinna (ok. 3900 Mg/rok siana; ok. 55800 Mg/rok słomy, ok. 68000 Mg/rok kukurydzy). Łącznie - ok. 128000 Mg/rok;
- Biomasa zwierzęca - ok. 430000 Mg obornika i 245000 Mg gnojowicy.

Tabela 2.1 Dostępny surowiec do produkcji biogazu w MOFTMO

Gmina	Odpady biodegradowalne z przemysłu [Mg]	Osady z komunalnych oczyszczalni ścieków [Mg suchej masy]	Biodopady komunalne (spożywcze/kuchenne) [Mg]	Biomasa roślinna [Mg]	Biomasa zwierzęca - obornik stały [Mg]	Biomasa zwierzęca - gnojowica [Mg]
Białaczów	123	22	2	10 273	10 877	6 046
Drzewica	21	23	-	4 916	15 941	8 395
Inowódz	-	16	14	1 002	4 339	1 194
Lubochnia	6	42	14	5 616	18 312	13 846
Mniszków	5	10	4	9 349	30 715	18 034
Opczno	1 071	344	62	11 642	27 377	14 482
Paradyż	16	2	1	11 173	25 913	14 741
Poświętne	3	7	1	3 920	14 622	7 761
Rokiciny	19	18	-	25 666	72 254	46 487
Rzeczyca	8	2	-	8 965	55 538	41 909
Sławno	6	3	2	11 949	24 880	15 157
Tomaszów Mazowiecki (miejska)	6 753	2 165	462	399	7 605	1 929
Tomaszów Mazowiecki (wiejska)	20	28	22	7 414	65 740	26 431
Ujazd	581	43	8	15 423	56 293	28 336
<b>TOTAL</b>	<b>7 633</b>	<b>2 725</b>	<b>591</b>	<b>127 707</b>	<b>430 404</b>	<b>244 748</b>

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych BDO, Banku Danych Lokalnych GUS.

Dominującymi rodzajami substratów do produkcji biogazu w MOFTMO są biomasa roślinna i zwierzęca z rolnictwa. Gmina Rokiciny wykazuje najwyższą dostępność surowców (ok. 144 tys. Mg/rok), a Ujazd, Rzeczyca i Tomaszów Mazowiecki (obszar wiejski) nieco niższą (między 100 a 106 tys. Mg/rok). Drugi strumień substratów składa się z odpadów przemysłowych, przy czym miasta Tomaszów Mazowiecki i Opczno mają największy potencjał dostępności. Z sektora komunalnego miasto Tomaszów Mazowiecki ma największy potencjał do produkcji biogazu poprzez wykorzystanie osadów z oczyszczalni ścieków i zebranych biodopadów.

## 2.3 Perspektywy przyszłego potencjału surowcowego

Przyszła dostępność surowców do produkcji biogazu w regionie zależy od potencjału wytwarzania i zbierania biodopadów i biomasy. Proponowana rewizja dyrektywy ramowej w sprawie odpadów, wymagająca ograniczenia generowanych odpadów żywnościowych, może wpłynąć na ilość biodopadów wytwarzanych przez przemysł i gospodarstwa domowe, ograniczając dostępność substratów z tych sektorów. Ulepszone schematy zbierania odpadów komunalnych mogą zwiększyć

ilość dostępnych bioodpadów. Zmiany w sposobie odżywiania w kierunku mniejszej lub większej ilości mięsa mogą wpłynąć na ilość dostępnej biomasy zwierzęcej i roślinnej.

Zakładając, że w nadchodzących latach gminy regionu wdrożą selektywną zbiórkę odpadów spożywczych/kuchennych, a ilość selektywnie zbieranych bioodpadów może wzrosnąć do ok. 75% maksymalnego potencjału ich wytwarzania, ilość bioodpadów zbieranych w postaci odpadów spożywczych/kuchennych może osiągnąć ok. 7600 Mg rocznie. Tabela 2.2 przedstawia potencjalne ilości odpadów biologicznych (żywnościowych i kuchennych), przy założeniu wzrostu poziomów zbiórki o 25, 50 i 75%.

**Tabela 2.2** Potencjalne ilości odpadów biologicznych (odpadów spożywczych i kuchennych) przy założeniu wzrastających poziomów zbiórki

Gmina	Bioodpady komunalne (odpady spożywcze i kuchenne)		
	[Mg]		
	25% max potencjału	50% max potencjału	75% max potencjału
Białaczów	45	90	136
Drzewica	85	171	256
Inowódz	70	140	210
Lubochnia	103	206	309
Mniszków	46	92	138
Opoczno	433	865	1 298
Paradyż	37	74	112
Poświętne	27	53	80
Rokiciny	98	196	294
Rzeczyca	40	80	120
Sławno	57	115	172
Tomaszów (miejska) Mazowiecki	1 166	2 333	3 499
Tomaszów (wiejska) Mazowiecki	169	337	506
Ujazd	153	305	458
<b>TOTAL</b>	<b>2 529</b>	<b>5 058</b>	<b>7 587</b>

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych BDO i Banku Danych Lokalnych GUS.

Ponieważ ponad 60% bioodpadów (odpadów spożywczych i kuchennych) w omawianym obszarze powstaje w miastach Tomaszów Mazowiecki i Opoczno, wdrożenie oddzielnej zbiórki odpadów spożywczych i kuchennych w obu gminach zapewniłoby cenne źródło substratów dla biogazowni.

## 2.4 Biogaz i potencjał energetyczny dostępnego surowca

Oceniony teoretyczny potencjał produkcji metanu z biomasy i bioodpadów w MOFTMO przedstawiono w tabeli 2.3. Potencjał produkcji metanu z wybranych substratów pokazano w załączniku A.

Tabela 2.3 Teoretyczny potencjał produkcji metanu w MOFTMO

Gmina	Potencjał produkcji metanu [metry sześcienne/lata]					
	odpady biodegradowalne z przemysłu	komunalny osad ściekowy z oczyszczalni ścieków	odpady spożywcze/kuchenne (min. – maks.)		biomasa roślinna	biomasa zwierzęca
Białaczów	9 331	5 535	103	144	1 243 835	589 730
Drzewica	1 653	5 109	-	-	961 174	860 664
Inowódz	-	3 832	722	1 008	270 260	227 561
Lubochnia	421	14 263	722	1 008	1 383 565	1 022 861
Mniszków	374	4 045	206	288	1 750 510	1 677 745
Opoczno	22 032	83 664	3 199	4 465	2 075 068	1 479 702
Paradyż	1 252	639	52	72	1 614 988	1 407 475
Poświętne	101	1 490	52	72	819 649	789 567
Rokiciny	1 499	4 045	-	-	2 579 590	3 971 338
Rzeczyca	388	639	-	-	2 175 512	3 099 825
Sławno	366	1 277	103	144	2 055 400	1 359 290
Tomaszów Mazowiecki (miejska)	1 418 569	409 592	23 836	33 274	111 487	398 500
Tomaszów Mazowiecki (wiejska)	935	6 599	1 135	1 584	1 448 647	3 511 718
Ujazd	51 699	9 154	413	576	1 714 873	3 043 549
<b>TOTAL</b>	<b>1 625 214</b>	<b>549 883</b>	<b>30 543</b>	<b>42 637</b>	<b>20 204 558</b>	<b>23 439 526</b>

Źródło: Opracowanie własne na podstawie BDO, Banku Danych Lokalnych GUS Bazy Danych, ARiMR Database, Curkowski et al, 2009, AL-PROJEKT, 2023, Krasucka and Oniszk-Popławska, 2013.

Całkowity potencjał ze wszystkich źródeł razem wynosi blisko 38 milionów metrów sześciennych rocznie. Biomasa zwierzęca i roślinna ma największy potencjał do produkcji metanu w omawianym obszarze, przy czym dominują gminy Rokiciny, Rzeczyca, Ujazd i obszar wiejski gminy Tomaszów Mazowiecki (52% całkowitego potencjału metanu z biomasy rolniczej).

W sektorze komunalnym największy potencjał mają odpady z osadów z komunalnych oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim i Opocznie. W sektorze przemysłowym największy potencjał mają odpady przemysłowe z Tomaszowa Mazowieckiego. Najniższy potencjał mają oddzielnie zbierane bioodpady komunalne (odpady spożywcze i kuchenne). Jednak wykorzystanie oddzielnie zbieranych bioodpadów do produkcji biogazu, pomimo niskiego rocznego potencjału produkcji metanu, może wspierać zrównoważone zarządzanie stałymi odpadami komunalnymi i osiągnięcie celów odzysku i recyklingu nałożonych na gminy. Ponadto beztlenowa współfermentacja z organiczną frakcją stałych odpadów komunalnych jako współsubstratem może usprawnić proces. Dodanie frakcji organicznej stałych odpadów komunalnych do osadów ściekowych prowadzi do zwiększenia produkcji metanu, usunięcia lotnych substancji stałych i wyższej zawartości metanu w biogazie (Grosser i in., 2017).

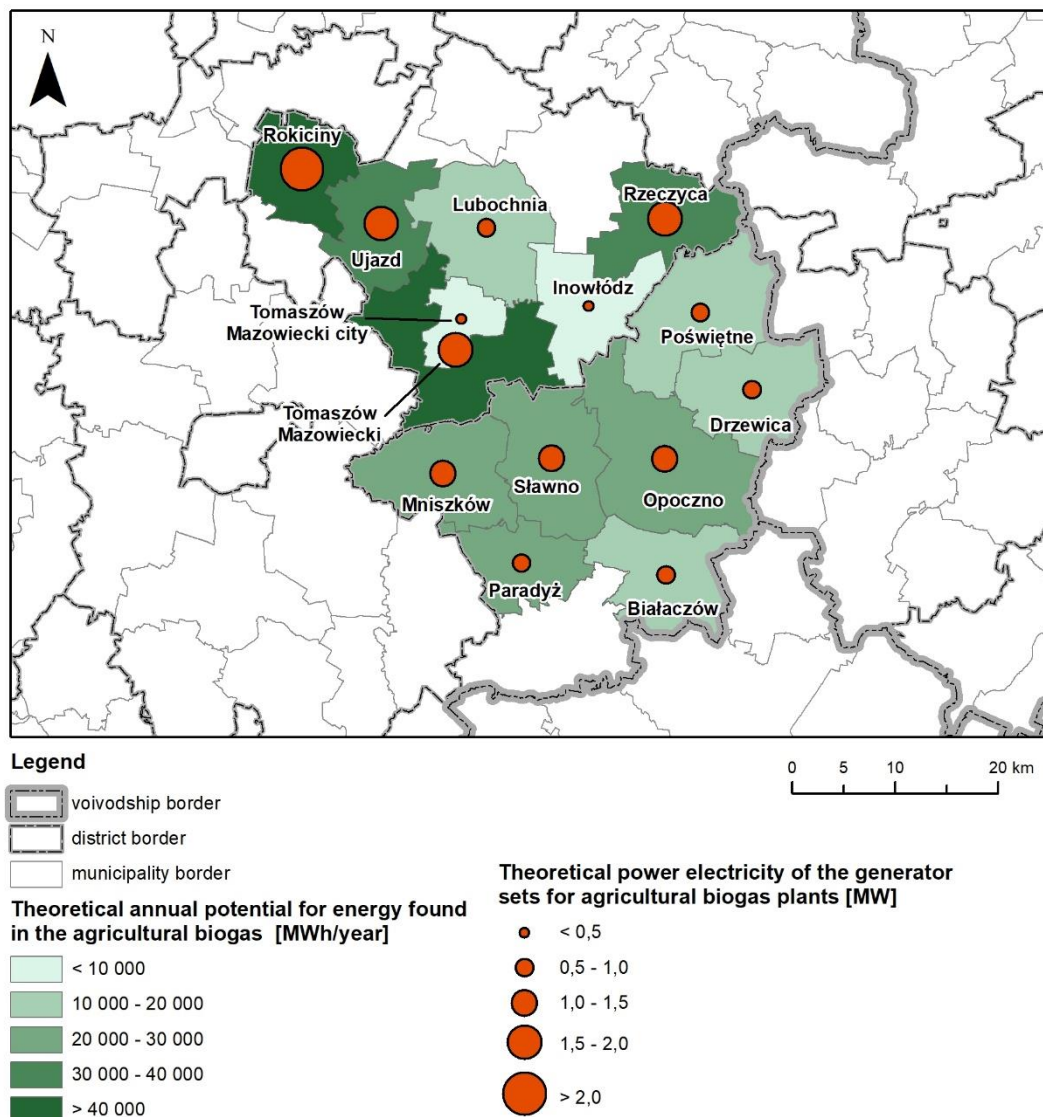
Aby przeanalizować teoretyczną produkcję energii z substratów dostępnych w MOFTMO, przyjęto następujące założenia:

- zakłady produkujące biogaz zainstalowały kogeneracyjny system wytwarzania ciepła i energii (CHP); sprawność elektryczna 38%, sprawność cieplna 43%,
- wartość opałowa biometanu 9,3 kWh/Nm<sup>3</sup>,
- czas pracy generatora 8000 h/rok,
- zużycie ciepła na cele procesowe 30%; zużycie energii elektrycznej na cele procesowe 10%,
- teoretycznie, z ilości metanu przedstawionej w tabeli 2.3 można uzyskać ok. 111 GWh energii elektrycznej netto i 350 GWh energii cieplnej netto rocznie. Przy zapotrzebowaniu gospodarstw domowych MOFTMO na energię elektryczną wynoszącym ok. 109 GWh rocznie, wyprodukowana energia elektryczna mogłaby pokryć to zapotrzebowanie.

Na podstawie analizy potencjału różnych sektorów, na Rysunku 2.3 przedstawiono teoretyczny roczny potencjał energetyczny produkcji biogazu i teoretyczną moc elektryczną agregatów prądotwórczych.



Rysunek 2.3 Teoretyczny roczny potencjał energetyczny pozyskiwany z biogazu rolniczego i energii elektrycznej wytwarzanej przez agregaty prądotwórcze.



Źródło: Obliczenia własne na podstawie GUS BDL, Baza ARIMR, Curkowski i in., 2009, Krasucka i Oniszk-Popławska, 2013.

Biorąc pod uwagę szacunki Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu<sup>5</sup>, że dolna granica opłacalności zakładu produkującego biogaz wynosi ok. 200 kW, a dla biogazowni rolniczych optymalna wielkość to 250-499 kW, w każdej gminie z wyjątkiem Inowłódza i miasta Tomaszów Mazowiecki można by utworzyć co najmniej jedną biogazownię rolniczą (patrz 4.4 dla przykładów istniejącej infrastruktury). W przypadku przemysłu, tylko sektor rolno-spożywczy w mieście Tomaszów Mazowiecki generuje wystarczającą ilość substratów, aby uzasadnić budowę biogazowni. Potencjał sektora komunalnego jest znacznie mniejszy niż sektora rolniczego, ale opłacalność może być znacząca ze względu na wysokie koszty gospodarowania odpadami. Zanalizowano to w Rozdziale 5 opracowania. W sektorze komunalnym budowę zakładu produkującego biogaz może rozważyć oczyszczalnia ścieków w Tomaszowie Mazowiecki, pod warunkiem, że będzie miała dostęp do

<sup>5</sup> <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/kazda-gmina-ma-potencjal-produkcji-biogazu-Jacek-Dachwywiad-13289.html>; dostęp 27.06.2024

dotatkowych substratów. W szczególności powinna ona zbadać współfermentację z innymi odpadami biodegradowalnymi w celu optymalizacji procesu. Współpraca między różnymi interesariuszami jest potrzebna do wykorzystania możliwości biogazu w obszarze MOFTMO. W następnej sekcji opisano, których interesariuszy należy uwzględnić.

## 2.5 Interesariusze w sektorze rolniczym i gminach

Rozwój struktury sieciowej wokół inwestycji w biogazownię mógłby przyczynić się do wzrostu znaczenia biogazu w gospodarce energetycznej MOFTMO. Organizacja 'ekosystemu' partnerów (interesariuszy) mogłaby być skoncentrowana wokół centralnego węzła biogazowego (biocentrum, ang. *biohub*) z wieloma węzłami (biowęzły, ang. *bioknots*). Partnerzy byłiby dostawcami substratów do produkcji biogazu, jednocześnie pozbywając się balastu swojej produkcji lub działalności, a produkt uboczny przekształcony w energię byłby rozprowadzany do rozproszonych punktów zużycia. Partnerstwa energetyczne umożliwiają wzajemne równoważenie produkcji energii i popytu. Sieć i rozproszona struktura oferują możliwość wytwarzania energii z lokalnych zasobów i lokalnego zużycia, zmniejszając straty przesyłowe, a także koszty pośrednie. Służy to poprawie lokalnego bezpieczeństwa energetycznego w sposób ekonomicznie efektywny i przyjazny dla środowiska.

Partnerstwo jest kluczem do rozwoju inwestycji w biogaz. Taka inicjatywa została również podjęta w MOFTMO. W 2018 roku w Tomaszowie Mazowieckim - na mocy umowy cywilnej utworzono „Tomaszowski Klaster Energii”. Członkami Klastra są:

- samorządy: miasto Tomaszów Mazowiecki, gminy: Tomaszów Mazowiecki (gmina wiejska), Rzeszyca, Sławno;
- przedsiębiorstwa branży energetyki ciepłej, elektrycznej i OZE;
- spółki komunalne;
- instytucje naukowo-badawcze: Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN; Instytut Projektów i Analiz;
- pozostali członkowie: Spółdzielnia Mieszkaniowa „Przodownik”.

Klaster ma charakter otwarty, tzn. mogą do niego dołączać nowi członkowie (zgodnie z ograniczeniem geograficznym). Biuro Tomaszowskiego Klastra Energetycznego prowadzi Zakład Gospodarki Wodno-Kanalizacyjnej w Tomaszowie Mazowieckim.

Głównym celem inicjatywy była budowa samowystarczalności energetycznej w oparciu o odnawialne źródła energii, a także redukcja zanieczyszczenia powietrza. Należy jednak zauważyć, że w opracowanym we wrześniu 2022 r. dokumencie: „Strategia rozwoju Tomaszowskiego Klastra Energii” praktycznie pominięto potencjał włączenia biogazu do nowej architektury energetycznej i osiągnięcia wskazanego celu.

Pełną identyfikację potencjalnych interesariuszy inwestycji biogazowej utrudnia brak dostępu do baz kontaktowych podmiotów z MOFTMO. Utrudnia to sieciowanie potencjalnych partnerów, a także politykę informacyjną i promocyjną.

Wśród zidentyfikowanych interesariuszy realizacji inwestycji biogazowej w regionie MOFTMO można wyróżnić następujące grupy podmiotów:

- Administracja rządowa;
- Administracja regionalna;
- Samorząd terytorialny, w tym wszystkie gminy z regionu MOFTMO;
- Powiatowy Oddział Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa Opoczno;
- Powiatowy Oddział Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa Tomaszów Mazowiecki;
- Klastry i spółdzielnie, w tym „Tomaszowski Klaster Energii”;
- Przedsiębiorstwa gospodarki komunalnej;
- Sektor prywatny;
- Podmioty przemysłowe;
- Przedstawiciele nauki.
- Ponadto potencjalne grupy interesariuszy mogą obejmować:
- Instytucje otoczenia biznesu;
- Formalnych partnerów społecznych: organizacje społeczne, związki zawodowe;
- Indywidualnych partnerów społecznych: radnych;
- Mieszkańców;
- Lokalne i regionalne media.

## 3 Ograniczenia i bariery

Bariery i ograniczenia w realizacji inwestycji biogazowych dotyczą wielu aspektów, które można podzielić na bariery techniczne, organizacyjne, instytucjonalne, ekonomiczne i społeczne.

### 3.1 Bariery techniczne

Jedną z podstawowych barier jest ograniczona dostępność technologii do produkcji biogazu w Polsce. Ponadto, należy liczyć się z ograniczonymi możliwościami serwisowania instalacji lub wymiany części, co wynika z braku odpowiednio przeszkolonej kadry i konieczności importu technologii spoza kraju.

Ze względu na swoje właściwości biogaz mógłby być wprowadzany do istniejącej sieci gazowej kraju po odpowiednim przetworzeniu. Niestety dostęp do tej sieci jest ograniczony, ponieważ sieć gazowa nie jest szeroko rozpowszechniona na terenie całego kraju. Ponadto wysokie koszty podłączenia do sieci i konieczność dopasowania parametrów biogazu do tych, wymaganych przez sieć mogą stanowić poważne wyzwanie technologiczne i finansowe. Kolejną barierę stanowią słabo rozwinięte: rynek pojazdów zasilanych gazem ziemnym i infrastruktura. Biogaz produkowany w biogazowni ma podobne właściwości do gazu ziemnego i dlatego mógłby być z powodzeniem stosowany jako paliwo napędowe. Problemy dotyczą niedojrzałości rynku po stronie infrastruktury biometanowni oraz zasilania w biogaz sektora transportu.

### 3.2 Bariery ekonomiczne

Analiza ekonomiki biogazu przedstawiona w sekcji 1.4 wskazuje wśród barier ekonomicznych wysoki koszt inwestycji w biogazownię. Dodatkowe koszty wiążą się z podłączeniem do sieci elektroenergetycznej, co jest wymagane w przypadku produkcji energii elektrycznej w biogazowni. Istotną barierą jest skala, na co wskazują dane w sekcji 1.4.

Wyniki ekonomiczne poprawiłyby się również wraz z możliwością gospodarowania większym spektrum odpadów, niż ma to miejsce obecnie, na co wpływają bariery prawne. Kolejnym problemem jest niestabilność rynku. Dotyczy ona warunków jego rozwoju pod względem otoczenia formalno-prawnego. W odniesieniu do procesu operacyjnego nierównowaga wynika z niepewności w zakresie ciągłości łańcuchów dostaw i stabilności surowca dla biogazowni. Sytuacja ta ogranicza możliwości kapitałowe rynku biogazu i zaangażowanie potencjalnych inwestorów.

Stosunkowo niedocenianym problemem ograniczającym rozwój rynku biogazu jest lobbing na rzecz rozwoju zakładów spalania odpadów, które, po zwiększeniu skali inwestycji, mogą wywierać presję ekonomiczną na ograniczenie strumienia odpadów kierowanych do zakładów biogazowych.

### 3.3 Bariery instytucjonalne, bariery organizacyjno-prawne

Brak programów i projektów promujących inwestycje w biogaz i biometan został zidentyfikowany jako jedna z barier instytucjonalnych. Sytuacja nieco poprawiła się w ostatnich latach, ale nadal

wymaga działań promocyjno-edukacyjnych. Biogaz i biometan są niedostatecznie doceniane i uwzględniane w bilansowaniu systemu energetycznego czy transportowego kraju, chociaż istnieje ogromny szacowany potencjał produkcyjny biogazu. Jedną z głównych barier organizacyjno-prawnych jest długotrwały proces przygotowania projektu oraz uzyskiwania decyzji i pozwoleń na realizację inwestycji. Budowa zakładu produkującego biogaz jest skomplikowana, a instalacja ze względu na swój charakter może potencjalnie oddziaływać na środowisko. Kolejną barierą organizacyjną jest brak odpowiedniego przygotowania i podejścia urzędników podejmujących decyzje i wydających pozwolenia do specyfiki instalacji oraz stosowanych technologii i procesów produkcyjnych. Bariera ta jest powoli pokonywana ze względu na rosnące zainteresowanie biogazownikami. Ważnym aspektem jest również uzyskanie certyfikatów na poferment biogazowy, co umożliwi jego wykorzystanie w rolnictwie.

Innym istotnym problemem jest nierówne traktowanie w systemie prawnym biogazowni rolniczych (najczęściej małych) i innych biogazowni (np. komunalnych). Ułatwienia prawne wprowadzone dla biogazowni rolniczych nie przekładają się na zwiększenie produkcji biogazu na wystarczającą skalę. Wiąże się z tym brak jednolitych przepisów dotyczących wykorzystania niektórych substratów w biogazowniach (nie każdy substrat jest w różnych sytuacjach traktowany jako odpad). Trudność interpretacji przepisów stanowi istotną barierę dla rozwoju biogazowni pozarolniczych.

Dokumenty planistyczne gmin, w których nie uwzględniono biogazowni lub ich lokalizacja jest zabroniona, stanowią niekiedy barierę dla lokalizacji biogazowni. Zmiana dokumentu planistycznego jest czasochłonna i kosztowna.

W kwestiach organizacyjnych warto również pamiętać o ograniczeniach formalno-prawnych, związanych z tworzeniem partnerstw, zwłaszcza struktur klastrowych czy spółdzielni energetycznych. Są to inicjatywy ograniczone terytorialnie, a cele ich działań powinny być definiowane wokół lokalnych potrzeb i możliwości. Skuteczność partnerstw zależy od racjonalnego i efektywnego wykorzystania potencjału: lokalnie dostępnych zasobów energetycznych, infrastruktury energetycznej, odnawialnych źródeł energii, innowacji, przedsiębiorczości w obszarze wytwarzania, przesyłu, dystrybucji i zarządzania zużyciem energii. Sieciowanie partnerów, a tym samym organizacja partnerstw w sektorze bioodpadów i biogazu, generalnie stanowi problem. Problemy wynikają pośrednio z szeregu innych zidentyfikowanych warunków i barier, a także bezpośrednio w kategoriach organizacyjnych z powodu trudności w uzyskaniu informacji i danych, a tym samym kontaktów. Zidentyfikowaną trudnością jest brak dostępnych baz danych, brak platform do budowania relacji przez potencjalnych inwestorów i koordynacji rozwoju biogazu przez administrację. Pokonanie trudności w mapowaniu partnerów biznesowych i interesariuszy jest istotne dla budowania świadomości potencjału rynku bioodpadów i biogazu.

### 3.4 Bariery społeczne

Czasami najtrudniejszą do pokonania może być bariera społeczna - niechęć lokalnych społeczności do realizacji inwestycji w ich sąsiedztwie. Pomimo potencjalnych korzyści z biogazowni, ludzie nie zgadzają się na budowę inwestycji w swoim otoczeniu, ze względu na potencjalne uciążliwości, zwłaszcza zapachy (zjawisko nie na moim podwórku - *not-in-my-backyard NIMBY*). Należy jednak zauważyć, że dzięki rozwojowi biotechnologii wprowadzane są różne technologie i substancje, które znacznie zmniejszają wpływ inwestycji biogazowych na środowisko. Ostatnio w Polsce, w

wyniku wzrostu zainteresowania inwestorów budową biogazowni, zauważalny jest także wzrost negatywnego postrzegania społecznego. Bardzo ważnym środkiem do pokonania tej bariery jest rzetelność i przejrzystość procesu podejmowania decyzji i zatwierdzania biogazowni, który musi obejmować udział społeczeństwa. Ponadto, ważną rolę odgrywają kampanie informacyjno-edukacyjne skierowane do różnych grup interesariuszy w celu podniesienia świadomości na temat funkcjonowania biogazowni i akceptacji społecznej tego typu inwestycji.

## 4 Możliwości i najlepsze praktyki

Budowa biogazowni, w zależności od skali projektu, może wspierać samowystarczalność energetyczną inwestora, a także przynosić korzyści szerszemu gronu odbiorców. Biogazownie mogą przetwarzać różne substraty, a wielość kierunków, w których można wykorzystać biogaz, otwiera wiele możliwości rozwoju. W rozdziale omówiono przykłady różnych inwestycji z Polski i krajów europejskich, które przedstawiają możliwości rozwoju i dobre praktyki w realizacji inwestycji.

### 4.1 Przykłady z innych regionów Polski

#### 4.1.1 Oczyszczalnia Ścieków Tychy-Urbanowice (Tychy, województwo śląskie)

Oczyszczalnia Ścieków Tychy-Urbanowice wyróżnia się na tle innych miejskich oczyszczalni ścieków w Polsce, a nawet w Unii Europejskiej, przede wszystkim dzięki innowacyjnej technologii umożliwiającej całkowitą samowystarczalność energetyczną na poziomie 194% (stan na 2019 r.) oraz zasilaniu pobliskiego Parku Wodnego nadwyżką energii. Park Wodny Tychy został oddany do użytku w 2018 r. i jest w pełni zasilany biogazem produkowanym w wyniku fermentacji osadów przez Oczyszczalnię Ścieków Tychy. Oczyszczalnia ścieków produkowała biogaz od 2006 roku i była samowystarczalna energetycznie do 2010 roku. Późniejsze modernizacje, w tym wdrożenie procesów współfermentacji osadów ściekowych z odpadami biodegradowalnymi (najpierw z serwatką odpadową, potem rozszerzono katalog akceptowanych odpadów biodegradowalnych) oraz rafinacja produkowanego biogazu, pozwoliły na zwiększenie ilości produkowanego biogazu o 4 miliony metrów sześciennych w latach 2009-2018 i osiągnięcie tak wysokiego potencjału energetycznego, że oczyszczalnia była w stanie zaspokoić zapotrzebowanie drugiego, bardzo energochłonnego obiektu publicznego. Nadal uzyskiwane nadwyżki są sprzedawane do miejskiej sieci energetycznej i stanowią dodatkowe źródło dochodu dla Regionalnego Centrum Gospodarki Wodno-Ściekowej S.A. (RCGW SA).

RCGW SA to spółka zarządzająca Oczyszczalnią Ścieków Tychy-Urbanowice, zlokalizowaną w południowo-wschodniej części miasta Tychy w województwie śląskim. Firma jest w 100% własnością Miasta Tychy. Oczyszczalnia ścieków przyjmuje ścieki z całego miasta, przetwarzając ścieki zarówno od mieszkańców, jak i zakładów przemysłowych, w tym Tyskich Browarów Książęcych (część Kompanii Piwowarskiej - największego browaru w Polsce należącego do Asahi Europe & International w strukturze japońskiej Grupy Asahi) i fabryki samochodów Fiat Auto Poland, między innymi.

Średni dopływ ścieków wynosi 32731 metrów sześciennych/d przy RLM (równoważnej liczbie mieszkańców) 171 878. Jest to oczyszczalnia typu mechaniczno-biologicznego, z chemicznym wsparciem redukcji fosforu. Surowe ścieki wpływają do oczyszczalni przez cztery separatory, w których nie ma podziału na ścieki przemysłowe i komunalne. Oba rodzaje ścieków ze wszystkich czterech separatorów docierają do kratownic jednym strumieniem. Na dalszym etapie, podczas oczyszczania mechanicznego, ścieki przechodzą przez piaskowniki, gdzie po oddzieleniu części organicznej piasek jest odzyskiwany i wykorzystywany do własnych celów firmy, ponieważ jego dobra jakość pozwoliła na uchylenie statusu odpadu. Następnie ścieki przechodzą przez biologiczną

część oczyszczania – najpierw przez sekwencję reaktorów technologii C-TECH (opatentowanych przez austriacką firmę SFC UMWELTTECHNIK GmbH), następnie przez komory osadu czynnego, po czym oczyszczone i przefiltrowane ścieki są uwalniane do pobliskiej rzeki Gostyni. Etap wstępnego osadu i nadmiaru osadu jest przeprowadzany za pomocą procesu stabilizacji beztlenowej, przy czym sekcja osadowa oczyszczalni jest wyposażona w hermetyczny system biofiltra, który oczyszcza powietrze z zanieczyszczeń i zapachów przed uwolnieniem do atmosfery. Najpierw osad jest zagęszczany do 5-6% s.m., a następnie kierowany do dwóch oddzielnych komór fermentacyjnych o łącznej objętości 11000 metrów sześciennych, gdzie fermentacja metanowa osadu odbywa się w warunkach mezofilowych (38°C). Osad ten jest później odwadniany i, w razie potrzeby, higienizowany wapnem; powstałe ustabilizowane odpady są zabierane poza teren i przekazywane podmiotom zewnętrznym. Biogaz uzyskany w procesie fermentacji jest najpierw odsiarczany za pomocą adsorberów wypełnionych rudą torfową, a następnie tymczasowo przechowywany w membranie i „mokrym” zbiorniku o objętości odpowiednio 6370 metrów sześciennych i 2000 metrów sześciennych. Wytworzony biogaz poddawany jest procesowi oczyszczania dwutlenku węgla w Stacji Oczyszczania Biogazu (SOB) dzięki technologii wdrożonej przez T4B EKOTECHNOLOGIE, co pozwala na zwiększenie zawartości metanu w biogazie z 45% do ok. 70%. Część gazu spalana jest na miejscu w trzech generatorach (dwóch o mocy elektrycznej 345 kW i cieplnej 531 kW każdy, jednym o mocy elektrycznej 400 kW i cieplnej 394 kW) w celu zapewnienia 100% zapotrzebowania zakładu na energię (cieplną do ogrzewania komór fermentacyjnych i budynków zakładu, elektryczną do zasilania maszyn), a nadmiar sprzedawany jest zewnętrznemu dystrybutorowi energii. Pozostała część pozyskanego biogazu jest sprężana i przesyłana 6-kilometrowym rurociągiem do Parku Wodnego Tychy, wybudowanego w 2018 roku przez RCGW SA w związku z rozbudową obiektów oczyszczania osadów ściekowych i wynikającym z tego wzrostem produkcji biogazu i energii. Spalanie biogazu odbywa się wyłącznie w sytuacji przepięnienia, w której zapasowy kocioł gazowy niskotemperaturowy o mocy 895 kW okazałby się niewystarczający. Produkcja biogazu w oczyszczalni pozwala zaoszczędzić 77000 ton węgla rocznie, co pod względem zanieczyszczenia atmosfery powoduje redukcję 770 ton pyłu zawieszonego, 154000 ton dwutlenku węgla, ponad 1 tony siarki i 161 ton azotu. Za wdrażanie tak innowacyjnych, zielonych rozwiązań RCGW SA zostało wyróżnione w 2015 r. nagrodą EMAS Awards przyznawaną przez Komisję Europejską (stając się tym samym pierwszym polskim laureatem tej nagrody), a także uzyskało nominację do Europejskiej Nagrody Biznesu dla Środowiska (EBAE) oraz otrzymało liczne nagrody w konkursach biznesowych i ekologicznych (Ekolaur Polskiej Izby Ekologii, Ogólnopolski Konkurs Ekologiczny „Przyjaźni Środowisku”, nagrodę „Nowy Impuls” i inne).

#### 4.1.2 Miejski Zakład Komunalny Sp. z o.o. w Stalowej Woli (Stalowa Wola, województwo podkarpackie)

MZK w Stalowej Woli zajmuje się fachowo i kompleksowo wszelkiego rodzaju usługami komunalnymi – w ramach spółki funkcjonują takie działy jak: Zakład Wodociągów i Kanalizacji, Zakład Mechaniczno-Biologicznego Przetwarzania Odpadów Komunalnych, Zakład Transportu Odpadów, Zakład Oczyszczania Miasta, Zakład Energetyki Ciepłej, Zakład Zieleni Miejskiej, Zakład Utylizacji Odpadów, Zakład Oczyszczania Ścieków, a także Zakład Komunikacji Miejskiej. Pozwala to na zintegrowane zarządzanie infrastrukturą techniczną miasta. Ponadto, w Stalowej Woli działają dwie oczyszczalnie ścieków: Centralna Oczyszczalnia Ścieków (COŚ) – która przyjmuje ścieki przemysłowe i jest zarządzana przez HSW-Wodociągi Sp. z o.o. oraz Miejska Oczyszczalnia Ścieków (MOŚ) – która przyjmuje ścieki komunalne, obsługiwane przez MZK. Oczyszczone ścieki z obu zakładów



odprowadzane są do rzeki San poprzez wspólny kolektor zrzutowy. Współpraca ww. oddziałów zapewnia sprawne zarządzanie miastem i jego odpadami w obiegu zamkniętym. Ponadto Miejska Mechaniczno-Biologiczna Oczyszczalnia Odpadów oraz Miejska Oczyszczalnia Ścieków, które produkują biogaz, wraz z Zakładem Odzysku Energii, który zajmuje się procesem termicznego przekształcania frakcji energetycznej odpadów komunalnych, dostarczają ciepło i energię elektryczną na potrzeby własne MZK i mieszkańców miasta. Działająca od 1993 roku Miejska Oczyszczalnia Ścieków przeszła modernizację w latach 2006-2009, podczas której została wyposażona w dwie wydzielone komory fermentacyjne (WKF), w których zachodzi beztlenowa fermentacja osadów ściekowych przez bakterie mezofilne. Ustabilizowany osad jest odwadniany, higienizowany i magazynowany. Biogaz pozyskiwany z tego procesu zawiera od 55 do 60% metanu; po odsiarczeniu spalany jest w dwóch generatorach, każdy o mocy elektrycznej 104 kW i mocy cieplnej 154 kW. Miejska Oczyszczalnia Ścieków świadczy okazjonalnie dodatkowe usługi w postaci przetwarzania i utylizacji odpadów poprodukcyjnych z przemysłu mleczarskiego, browarniczo-gorzelnianego, cukrowniczego i piekarniczego, a także utylizuje przemycany alkohol na żądanie organów podatkowych i celnych.

Zakład Mechaniczno-Biologicznego Przetwarzania Odpadów Komunalnych w Stalowej Woli (ZMBPOK) ma przede wszystkim na celu zmniejszenie ilości odpadów biodegradowalnych kierowanych na składowisko odpadów w Stalowej Woli, zarządzane przez Zakład Unieszkodliwiania Odpadów MZK. Rocznie do ZMBPOK trafia około 60 000 ton odpadów komunalnych, z których po oddzieleniu frakcji organicznej na linii sortowniczej i poddaniu jej fermentacji powstaje 3 mln kWh energii elektrycznej i ciepła. Beztlenowa stabilizacja odbywa się w komorze fermentacyjnej, do której podłączony jest zbiornik biogazu wraz z modułem oczyszczania i magazynowania. W innej części ZMBPOK znajduje się moduł stabilizacji tlenowej, który składa się z 6 tuneli kompostowych z oczyszczalnią powietrza i placem dojrzewania kompostu. Wszystkie powyższe procesy dostarczają szerokiej gamy materiałów wtórnych pochodzących z recyklingu, które ZMBPOK sprzedaje w ramach swoich usług dodatkowych. Należą do nich opakowania papierowe i tekturowe, metalowe i plastikowe, odżywka glebowa „Glebowitka”, która może być stosowana w rolnictwie i ogrodnictwie, a także pseudokompost przeznaczony do biologicznej rekultywacji składowisk odpadów.

#### 4.1.3 Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych „Orli Staw” (Prażuchy Nowe, województwo wielkopolskie)

Otwarcie biogazowni w Prażuchach Nowych koło Kalisza nastąpiło w 2023 roku. Zakład unieszkodliwiania odpadów „Orli Staw”, który istniał na tym terenie od 2006 roku, wyposażony jedynie w sortownię, kompostownię i składowisko odpadów, został zmodernizowany o instalację metanu do fermentacji bioodpadów o docelowej wydajności do 30000 ton rocznie. Zakład przetwarza odpady komunalne ponad 300000 mieszkańców z 23 miast i gmin województw wielkopolskiego i łódzkiego. Za jego budowę odpowiada Gminny Związek Gmin „Czyste Miasto, Czysta Gmina”, którego członkowie są również docelowymi odbiorcami usługi. Koszt inwestycji wyniósł ok. 150 mln zł, sfinansowano ją częściowo ze środków własnych stowarzyszenia, a częściowo ze środków UE.

Jedna z pierwszych w Polsce nowa instalacja jest przeznaczona do ciągłego przetwarzania na biogaz selektywnie zbieranych bioodpadów komunalnych. Przyjmowane są zarówno bioodpady ogrodowe (skoszona trawa, liście), jak i kuchenne (obierki, przeterminowana żywność, zlewki,

tłuszcze płynne). Instalacja jest innowacyjna pod względem zastosowanej technologii: suchej, poziomej, ciągłej, termofilowej (55°C). Za projekt tej nowej technologii o nazwie STRABAG LARAN Plug Flow odpowiada STRABAG Umwelttechnik. Roczna produkcja biogazu wyniesie ponad 1 mln metrów sześciennych biogazu, a w perspektywie długoterminowej planowana jest produkcja biometanu. Obecnie biogaz spalany jest w 560-kilowatowym bloku kogeneracyjnym, produkującym rocznie 4500 MWh energii elektrycznej i podobną ilość ciepła. Dzięki temu ZUOK jest od teraz samowystarczalny energetycznie. Uzyskana energia elektryczna będzie w całości wykorzystywana na miejscu, natomiast energia cieplna, po pokryciu potrzeb zakładu, będzie odsprzedawana podmiotom zewnętrznym. Oprócz energii proces fermentacji będzie również wytwarzał poferment, który, podobnie jak kompost „HUM-OS” obecnie produkowany przez ZUOK, będzie sprzedawany jako skuteczny środek kondycjonujący glebę.

## 4.2 Przykłady z Norwegii

Norwegia różni się od większości innych krajów europejskich bardzo ograniczoną infrastrukturą gazową. To sprawia, że wprowadzenie gazu ziemnego do istniejącej sieci - powszechne we wszystkich krajach z sieciami gazowymi - jest mniej istotne w Norwegii. W wielu krajach biogaz jest również wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej. W Norwegii połączenie niskich cen energii elektrycznej i już wysokiego udziału odnawialnych źródeł energii sprawiło, że rozwiązanie to stało się mniej powszechne. Istnieje norweski rynek na ciekły i sprężony biometan, stosowany jako paliwo do ciężkich pojazdów, takich jak autobusy i przyczepy, co wymaga uszlachetniania biogazu.

Uszlachetnianie biogazu do biometanu może być kosztownym procesem i wymaga minimalnej ilości wyprodukowanego biogazu, aby było ekonomicznie opłacalne. Aby wyprodukować wystarczającą ilość biogazu, ażeby uzasadnić instalację do uszlachetniania, biogazownia potrzebowałaby określonej ilości substratu do rozpoczęcia produkcji. Den Magiske Fabrikken („Magiczna Fabryka”), biogazownia w okręgu Vestfold w Norwegii, wykorzystuje jako substraty w swojej produkcji odpady żywnościowe z gospodarstw domowych i obornik z lokalnych gospodarstw. Jest to doskonały przykład tego, jak współpraca przemysłowa może wspierać dochodową produkcję biogazu i biometanu.

Ze względu na niewielką liczbę wyznaczonych zastosowań biogazu w Norwegii ważne jest wykorzystanie wszystkich zasobów i produktów ubocznych produkcji biogazu, które można przetworzyć na wartościowe produkty. Zakład oczyszczania ścieków Veas zaprojektował swój plan biznesowy tak aby zapewnić, że wszystkie zasoby pochodzące z produkcji biogazu są efektywnie wykorzystywane w celu poprawy gospodarki zakładu

### 4.2.1 „Magiczna fabryka” (Den magiske fabrikken)

Den magiske fabrikken (DMF) otrzymuje posegregowane odpady żywnościowe z gospodarstw domowych z 17 gmin, które są właścicielami zakładu (około 1,2 miliona mieszkańców). Odpady żywnościowe są dostarczane do zakładu przez przedsiębiorstwo miejskie Vesar, które zapewnia rozwiązania w zakresie gospodarki odpadami i recyklingu. Vesar prowadzi również centrum edukacyjne zakładu, które oferuje wycieczki po zakładzie i materiały edukacyjne dla uczniów powiatu. Gospodarstwa domowe zbierają odpady żywnościowe w workach. Po dotarciu do zakładu odpady

żywnościowe są transportowane do młyna, który rozrywa worki i mieli odpady żywnościowe. Następnie odpady są transportowane do rozdrabniacza, gdzie dodawana jest woda procesowa, a odpady są dalej mielone. Masa przechodzi przez płytę sitową, która usuwa większe cząsteczki, takie jak plastik, kawałki metalu i szkło.

Gospodarstwa w powiecie dostarczają obornik do zakładu biogazowego i otrzymują w zamian bionawóz. W 2023 r. DMF otrzymało 78 000 ton obornika i wyprodukowało około 150000 ton bionawozu wykorzystywanego w produkcji żywności w hrabstwie Vestfold. Obornik pochodzący od bydła i świń jest transportowany do zakładu biogazowego ciężarówkami i pompowany do magazynu. W obiekcie magazynowym obornik jest umieszczany w zbiorniku mieszającym, a następnie transportowany do hydrocyklonu, który usuwa piasek i inne cięższe cząstki. Odpadki żywnościowe i obornik są mieszane w zbiorniku buforowym, a następnie dezynfekowane przez jedną godzinę w temperaturze 70 stopni Celsjusza. Następnie substrat jest dystrybuowany do dwóch komór fermentacyjnych zakładu. Bionawóz jest odprowadzany z komór i trafia do magazynu. Surowy biogaz jest wydobywany z górnej części komór fermentacyjnych i transportowany do zakładu uszlachetniania. Od 2023 r. zakład uszlachetniania produkuje ponad 10 milionów metrów sześciennych biometanu rocznie, co odpowiada około 100 gigawatogodzinom. Biometan jest sprzedawany i rozprowadzany jako sprężony biogaz (CBG) i skroplony biogaz (LBG) przez Air Liquide Skagerak AS. Firma Air Liquide Skagerak obsługuje sieć dystrybucyjną, która dostarcza gaz zarówno do sektora przemysłowego, jak i transportowego.

#### 4.2.2 Oczyszczalnia ścieków Veas

Veas to największa w Norwegii oczyszczalnia ścieków. Oczyszcza ścieki pochodzące od ponad 800000 mieszkańców okolicznych gmin: Oslo, Asker, Bærum i Nesodden. Ważną częścią planu biznesowego Veas jest traktowanie ścieków jako zasobu i surowca do użytku przemysłowego, a nie problemu odpadów. Długoterminowym celem Veas jest generowanie wystarczających przychodów ze ścieków, aby pokryć koszty eksploatacji oczyszczalni.

##### Organizacja i plan biznesowy Veas

Veas zostało założone przez gminy w 1976 r. w celu budowy, posiadania i obsługi wspólnej oczyszczalni ścieków. Aby mieć pewność, że opłata, jaką każdy mieszkaniec gminy będącej właścicielem nieruchomości płaci firmie Veas za świadczenie tych usług jest rzetelna, firma Veas działa zgodnie z zasadą pełnych kosztów. Pełny koszt to całkowity koszt wytworzenia usługi, a łączna opłata, jaką gmina pobiera od mieszkańców za usługę, nie może przekroczyć tego kosztu. Oznacza to, że gminy, a tym samym Veas, nie mogą generować zysku z usług wodno-kanalizacyjnych. Veas postrzegał to jako barierę w dalszym rozwoju swojego planu biznesowego i w dążeniu do pełnego wykorzystania zasobów wodnych.

W 2022 r. Veas zmienił rodzaj podmiotu gospodarczego - ze współpracy międzygminnej, prowadzonej zgodnie z zasadą pełnych kosztów na spółkę akcyjną. Veas AS jest spółką holdingową z trzema spółkami zależnymi: Veas Marked (Veas Market), Veas Selvkost (Veas Full Cost) i Veas Næringspark (Veas Business Park). Veas Selvkost dostarcza usługi wodno-kanalizacyjne do gmin poprzez obsługę oczyszczalni ścieków i powiązanej infrastruktury. Ta spółka zależna nadal działa zgodnie z zasadą pełnych kosztów, zapewniając mieszkańcom jak najniższe opłaty. Głównym ce-

lem Veas Market jest sprzedaż produktów uzyskanych z oczyszczania ścieków i wkład w gospodarkę o obiegu zamkniętym. Ta spółka zależna działa na zasadach komercyjnych i bez gwarancji ze strony gmin, które są właścicielami Veas AS. Veas business Park jest właścicielem i zarządcą wszystkich nieruchomości Veas AS.

### Skroplony biogaz (LBG)

Veas produkuje biogaz ze swoich zasobów ścieków od 1995 r., początkowo wytwarzając ciepło i energię elektryczną na potrzeby wewnętrzne przy użyciu silnika gazowego. W 2017 r. firma podjęła decyzję o budowie zakładu uszlachetniania biogazu. Zakład uszlachetniania został uruchomiony w 2020 r., a od 2022 r. za jego eksploatację odpowiada Veas Market.

Biogaz jest transportowany z oczyszczalni ścieków do zakładu uszlachetniania, w którym usuwany jest CO<sub>2</sub> i wytwarzany jest biometan. Następnie gaz jest skraplany, tworząc ciekły biometan (LBM), zwany również ciekłym biogazem (LBG), który może być paliwem do autobusów i ciężarówek. Veas Market odpowiada za sprzedaż LBG na rynku za pośrednictwem dystrybutora.

### Bio-CO<sub>2</sub>

W zakładzie wzbogacania następuje oddzielenie CO<sub>2</sub> od biometanu. Veas obecnie ocenia, w jaki sposób najlepiej wykorzystać CO<sub>2</sub> jako zasób. W tym celu utworzył HOOP CO<sub>2</sub> - spółkę zależną Veas Market. HOOP CO<sub>2</sub> obecnie bada technologię wychwytywania i składowania dwutlenku węgla (CCS) oraz wychwytywania i utylizacji dwutlenku węgla (CCU).

### Veas Soil

Osad pozyskany podczas procesu oczyszczania ścieków zawiera składniki odżywcze, które mogą poprawić jakość gleby i być wykorzystywane jako nawóz. „Veas Soil” powstaje z osadu ściekowego, który został ustabilizowany, zdezynfekowany i zmieszany z wapnem. Zawiera również materiał organiczny, fosfor i azot, które mogą pomóc zwiększyć plony. Obecnie Veas Soil jest stosowany jako nawóz i dodatek do gleby na obszarach uprawy zbóż w większości wschodniej Norwegii. Produkt jest wytwarzany zgodnie z przepisami dotyczącymi nawozów i jest zarejestrowanym produktem w Norweskim Urzędzie ds. Bezpieczeństwa Żywności. Veas produkuje prawie 40000 ton Veas-soil rocznie.

### Siarczan amonu

Amon jest często obecny w ściekach po rozkładzie materii organicznej. Veas wykorzystuje amon do produkcji zrównoważonego siarczanu amonu, związku chemicznego, który może być używany jako surowiec do produkcji nawozów chemicznych lub rozpylany bezpośrednio na pola jako poprawiacz gleby. Ponadto może być on stosowany do zwiększania zawartości azotu w oborniku i innych rodzajach nawozów naturalnych. Usuwanie amonu ze ścieków poprzez prostą filtrację może być trudne - wymaga użycia kwasu w celu skutecznego wytrącenia siarczanu amonu. Wcześniej Veas stosował kwas pochodzenia kopalnego, ale teraz Acinor, firma importująca i sprzedająca produkty chemiczne, dostarcza przemysłowo przetworzony kwas siarkowy, co jeszcze bardziej poprawia ślad węglowy Veas.

## Systemy lokalnego ogrzewania

Ścieki i ścieki transportowane z gminy Oslo do Veas przyczyniają się do ogrzewania około 13 000 mieszkań. W tunelu transportującym ścieki z Oslo do Veas firmy energetyczne Oslofjord Varme („Oslofjord Heat”) i Hafslund Oslo Celsio pobierają ciepło ze ścieków. Początkowo ścieki utrzymują temperaturę od 10 do 15 stopni Celsjusza. W tunelu między Oslo a zakładem w Slemmestad ścieki przepływają przez duży system pomp ciepła, który pobiera część ciepła i przekierowuje je z powrotem do sieci ciepłowniczej. Veas wykorzystuje również ciepło ze ścieków w swoim własnym zakładzie.

## 4.3 Przykłady z innych krajów

### Copenhill, zakład przetwarzania odpadów na energię, Dania

Jak wspomniano w rozdziale 3.4, akceptacja społeczna może często stanowić barierę dla infrastruktury związanej z energią, gdzie obiekty często spotykają się z postawą „nie na moim podwórku” (*NIMBY*). Zakład przetwarzania odpadów w energię w Copenhill w Kopenhadze, Dania służy jako przykład tego, w jaki sposób takie obiekty mogą zyskać powszechną akceptację społeczną, a nawet odegrać wiodącą rolę w rozwoju obszaru mieszkalnego.

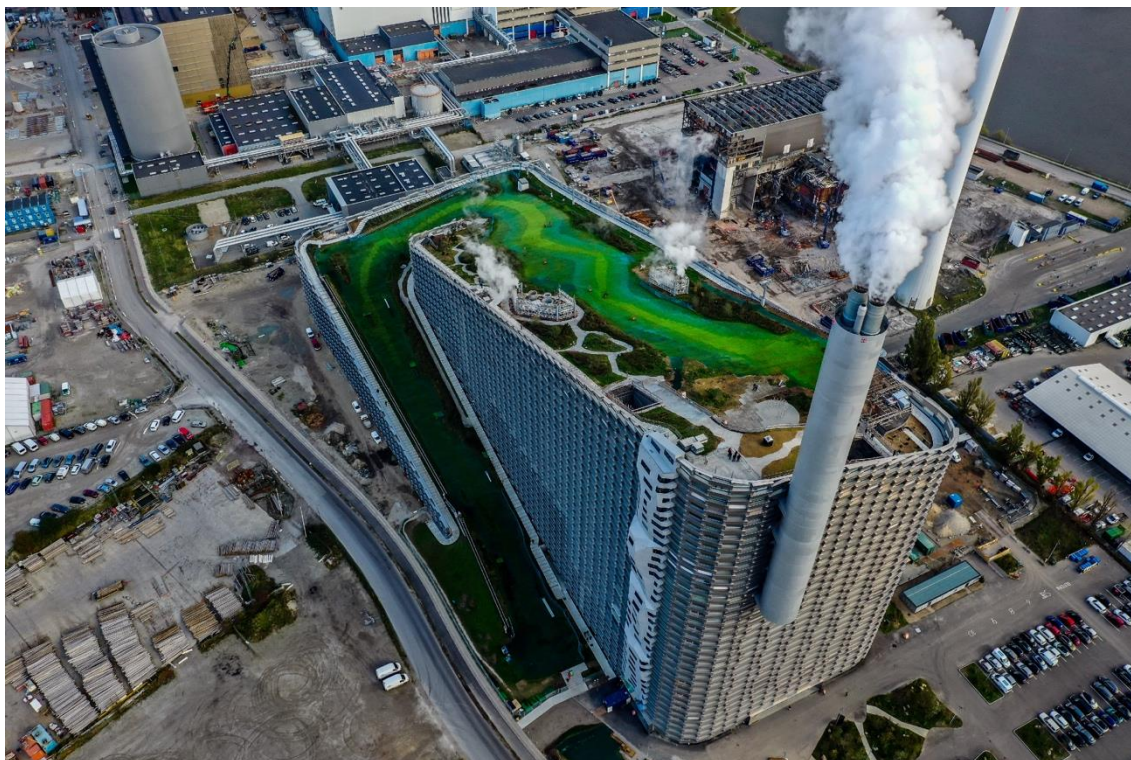
Copenhill jest stosunkowo dużym zakładem przetwarzania odpadów w energię, o zdolności przetwarzania około 560 000 ton odpadów rocznie na energię elektryczną i ciepło. Blisko jedna czwarta surowców zakładu pochodzi z odpadów z lokalnych gospodarstw domowych, a pozostała część - z odpadów przemysłowych i handlowych.

Zakład znajduje się na przedmieściach Kopenhagi, zaledwie 200 metrów od najbliższego budynku mieszkalnego. Lokalizacja jest bardzo korzystna z punktu widzenia ekonomicznego. Znajduje się blisko źródeł surowca, co zmniejsza koszty transportu i emisję CO<sub>2</sub>, oraz wykorzystuje istniejącą sieć ciepłowniczą w celu oszczędzania kosztów. Zakład zlokalizowany w obszarze z istniejącymi budynkami mieszkalnymi był podatny na problemy wynikające z postawy ‘nie na moim podwórku’. Dwie ważne lekcje wynikające z tego projektu to: projektowanie inkluzywne i zapewnienie dobrego dialogu oraz włączenie lokalnych społeczności.

W przetargu na budowę zakładu stwierdzono, że obiekty powinny być dostępne dla społeczności. Pomysł polegał na tym, aby zakład nie był budowany jako odizolowana jednostka, ale jako integralna część społeczności, bez barier między nim a otaczającym go obszarem.

Zwycięska propozycja obejmowała wielofunkcyjny obiekt oferujący możliwości rekreacyjne dla ludności. Otwarty projekt obejmuje dach z parkiem, sztuczny stok narciarski wykonany z tworzywa sztucznego, działający przez cały rok, oraz bar na dachu. Ponadto bok budynku zdobi 80-metrowa ścianka wspinaczkowa. Zaproszono około 30 lokalnych organizacji sportowych do współpracy przy rozwoju terenów rekreacyjnych, co dodatkowo podkreśla zaangażowanie społeczeństwa.

Rysunek 4.1 Elektrownia Copenhill



Źródło: Max Mestour i Amelie Louys.

Co więcej, plany budowy zostały uwzględnione w planie miejskim w taki sposób, że wszystkie informacje były publicznie dostępne dla społeczeństwa, tak aby mogło się z nim zapoznać i zaopiniować zapisy. Ta przejrzystość i wynikający z niej dialog z okolicznymi mieszkańcami pomogły w rozwiązaniu wszelkich potencjalnych problemów od samego początku. Ponadto, projekt położył nacisk na dostarczanie mieszkańcom dobrych informacji o wszelkich wydarzeniach, które mogą ich dotyczyć.

Copenhill jest wzorcowym modelem pokazującym, że dzięki przemyślanemu projektowi, inkluzywnemu planowaniu i przejrzystej komunikacji obiekty energetyczne mogą pokonać typowe bariery akceptacji społecznej i służyć społecznościom w kreatywny sposób.

### Biogazownia BSR w Berlinie-Ruhleben, Niemcy

Europa rozwija się pod względem produkcji biogazu i biometanu. Niemcy mają największą liczbę biogazowni w Europie (ponad 11000 biogazowni w 2022 r.) i drugą co do wielkości liczbę biometanowni po Francji (242 biometanownie). W Niemczech podstawą produkcji biogazu i biometanu są podłoża rolnicze, niemniej jednak podejmowane są udane próby wykorzystania bioodpadów na większą skalę. Głównym zastosowaniem produkowanego surowego biogazu jest wytwarzanie energii elektrycznej w elektrowniach i elektrociepłowniach, ale istnieją również inne zastosowania.

Kompleksowym przykładem produkcji biogazu, która wpisuje się w ideę gospodarki o obiegu zamkniętym, jest berlińska spółka zajmująca się gospodarką odpadami komunalnymi (Berliner Stadtreinigung, BSR). Firma, zlokalizowana w berlińskiej dzielnicy Ruhleben, przetwarza ponad

70000 ton selektywnie zbieranych odpadów organicznych z gospodarstw domowych każdego roku w celu produkcji neutralnego dla klimatu biogazu.

Zakład przetwarzania odpadów organicznych na energię w Berlinie produkuje biogaz przy użyciu procesu suchej fermentacji. Wybór procesu opiera się na właściwościach dostępnych substratów: zebrane odpady organiczne z kuchni mają zawartość wody od 58 do 65 procent.

Po oczyszczeniu powstały biogaz składa się w 98% z metanu, dzięki czemu jego skład chemiczny jest identyczny z gazem ziemnym, a po odpowiednim przetworzeniu może być wprowadzany do sieci gazowej. Roczna produkcja surowego biogazu wynosi ponad 6000000 m<sup>3</sup>, co daje około 3000000 m<sup>3</sup> biometanu rocznie. Obecnie biogaz jest wykorzystywany do tankowania zasilanych gazem śmieciarek na własnych stacjach benzynowych firmy (ponad 60% całej floty).

Biogaz jest również wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej i ciepła poprzez spalanie. Ilości uzyskanej energii umożliwiają zaopatrzenie ponad 5% berlińskich gospodarstw domowych w zrównoważoną energię. Powstała para wodna ze spalania jest przesyłana rurociągami do pobliskiej elektrowni Reuter, gdzie para jest zamieniana na energię elektryczną, a ciepło trafia do sieci ciepłowniczej zaopatrującej miasto. Wskazana lokalna współpraca oszczędza zasoby kopalne (węgiel) i zmniejsza wpływ na klimat.

Należy zauważyć, że jak każda inwestycja, ta w Ruhleben napotkała problemy. Lokalizacja biogazowni blisko osiedli mieszkaniowych i innej infrastruktury miejskiej była problematyczna na etapie planowania budowy, kiedy napotkano opór społeczny. Przeprowadzenie szeroko zakrojonej kampanii informacyjno-edukacyjnej przyniosło pożądany dobry efekt. Na etapie projektowania, realizacji, a także eksploatacji projektu podkreślana jest rola mieszkańców i właściwy recykling w całym procesie przetwarzania odpadów.

Warto pamiętać, że nie ma tylko jednej właściwej drogi rozwoju sektora biogazu we wszystkich krajach i na rynkach lokalnych. Przykład Berlina pokazuje wielość kierunków, w których można wykorzystać biogaz i możliwości współpracy między firmami. Oprócz produkcji energii elektrycznej możliwa jest produkcja energii cieplnej, zielonych gazów do zasilania sieci lub skraplania do bio-LNG lub bio-CNG, a także wykorzystanie odzyskanego CO<sub>2</sub>.

## 4.4 Lokalne realizacje

W MOFTMO istnieje już kilka obiektów, w których zagospodarowuje się bioodpady i inne substraty nadające się do procesu fermentacji beztlenowej w biogazowni. Istnienie takich obiektów nie wyklucza możliwości budowy nowych biogazowni. Istniejące obecnie biogazownie to małe albo mikro instalacje, które nie wykorzystują w pełni potencjału biogazu w regionie.

Jedną z pierwszych instalacji w MOFTMO była biogazownia w Sobawinach (gmina Opoczno), która powstała w 2014 roku. Prywatna rolno-przemysłowa biogazownia działa w pobliżu zakładu przetwórstwa mięsnego. Głównym surowcem biogazowni jest mieszanka substratów: kiszonki kukurydzianej, odpadów z ubojni i przeterminowanej żywności. Instalacja pozwala na zaspokojenie zapotrzebowania zakładu na energię elektryczną i ciepło. Nadwyżki energii elektrycznej są sprzedawane do sieci.

Bioodpady w regionie są również zagospodarowywane w bardziej tradycyjnych instalacjach. We wsi Różanna, położonej w gminie Opoczno, znajduje się kompostownia, w której kompostuje się

biodegradowalne odpady, np. z zieleni miejskiej i odpady roślinne z targowisk miejskich. Odpady są składowane na płycie kompostowej i napowietrzane. Dojrzały kompost jest przesiewany i składowany na płycie dojrzewania kompostu. Powstały kompost jest wykorzystywany wyłącznie do kształtowania zboczy na składowisku odpadów. Kompostownia jest stosunkowo mała. Zakład produkuje znikome ilości biogazu - zbyt małe do magazynowania energii i spalania. Biogaz jest zatem obecnie spalany na pochodni.

W gminie Rokiciny, położonej na zachodnim krańcu MOFTMO, znajdują się rolnicze mikro-biogazownie w gospodarstwach we wsiach Łaznowska Wola (moc 22 kW), Kolonia Łaznów (moc 33 kW) i Michałów (moc 22 kW). Wszystkie wskazane instalacje to kompaktowe, kontenerowe rolnicze mikro-biogazownie produkujące biogaz z obornika. Mikro-biogazownie są technicznie i technologicznie zintegrowane z infrastrukturą gospodarstwa mleczarskiego. Instalacje te mają mierzalny wpływ na środowisko - oprócz wykorzystania energii odnawialnej, lokalnie zmniejsza się uciążliwość zapachową związaną z powstającym obornikiem oraz emisję metanu, tlenków azotu i siarkowodoru do atmosfery. Kolejną zaletą rolniczych mikro-biogazowni i przetwarzania obornika jest powstający poferment, który jest dobrym i bezpiecznym dla środowiska nawozem o lepszych parametrach, niż pierwotny obornik, ponieważ nie zakwasza gleb ze względu na amonową formę azotu, którą zawiera. Energia elektryczna i ciepło wytwarzane w wyniku spalania biogazu zaspokajają własne potrzeby gospodarstw, a nadwyżka energii elektrycznej jest odprowadzana do sieci niskiego napięcia i wykorzystywana lokalnie.

W bliskim sąsiedztwie MOFTMO znajdują się również biogazownie. W gminie wiejskiej Rawa Mazowiecka znajdują się dwie biogazownie. Pierwsza to typowa rolnicza biogazownia w Konopnicy o stosunkowo dużej mocy 1,99 MW. Głównym substratem w biogazowni są pozostałości po tłoczeniu soku jabłkowego i kiszonka z kukurydzy, a pozostałe surowce rolnicze uzupełniają miks. Do tej pory biogazownia produkowała energię elektryczną i ciepło na własne potrzeby i na rynek lokalny. W 2020 roku biogazownię przejął nowy inwestor, który planuje rozbudowę i przekształcenie jej w biometanownię. Drugim przykładem jest miejska biogazownia wykorzystująca osady ściekowe, zlokalizowana w Żydomicach, która jest częścią lokalnej oczyszczalni ścieków - Rawskie Wodociągi i Kanalizacja Sp. z o.o.. Ze względu na niewielką ilość osadów, biogazownia ma małą moc (0,25 MW). Dzięki skojarzonemu wytwarzaniu energii elektrycznej i ciepła optymalizowane jest zapotrzebowanie oczyszczalni ścieków na energię pochodzącą ze źródeł odnawialnych. Trzecia biogazownia znajduje się w miejscowości Rawa Mazowiecka. Jest to również biogazownia rolnicza, zlokalizowana na terenie zakładu przetwórstwa mięsnego, w którym przetwarzane są produkty uboczne pochodzenia zwierzęcego. Instalacja o mocy 1 MW zmniejsza zużycie energii pierwotnej i zwiększa bezpieczeństwo energetyczne zakładu.

## 4.5 Wnioski

Historie sukcesu, takie jak Oczyszczalnia Ścieków Tychy-Urbanowice, dwie elektrownie w Stalowej Woli i biogazownia w Prażuchach Nowych, pokazują, że bariery technologiczne i wyzwania infrastrukturalne można w Polsce pokonać. Zakłady są ekonomicznie zrównoważone i przyczyniają się do realizacji celów polityki środowiskowej. Pełnią również ważne funkcje społeczne, w tym: edukację ekologiczną i klimatyczną. Pozornie „techniczne” inwestycje są zatem wielofunkcyjne.

Oczyszczalnia Ścieków Tychy-Urbanowice w Polsce i elektrownia Copenhill przetwarzająca odpady na energię w Danii pokazują, że biogazownia może zyskać powszechną akceptację społeczną



poprzez świadczenie usług, które społeczeństwo docenia (park wodny w Tychach, stok narciarski i park w Danii). Magical Factory w Norwegii i biogazownia BSR w Niemczech pokazują, jak można przeprowadzić modernizację w kierunku biometanowni w sposób ekonomicznie i technologicznie wykonalny, a oczyszczalnia ścieków Veas w Norwegii pokazuje, jak można zoptymalizować plan biznesowy pod kątem maksymalnej rentowności i wpływu społecznego. Obie norweskie fabryki prowadzą szeroko zakrojone programy edukacyjne i informacyjne, co może być wykorzystane jako zdobyte doświadczenie. Natomiast lokalne inicjatywy i pomysły w MOFTMO pokazują, że w tym obszarze działa wiele małych i mikroskalowych jednostek biogazowych, z których wiele to zakłady wykorzystujące biomasę rolniczą lub te, związane z przemysłem spożywczym.

Ponadto, analiza doświadczeń norweskich pokazuje, że zmiany na rynku energii i coraz bardziej wymagające warunki klimatyczne są uwzględniane w planowanych inwestycjach. Aspekt przyjazny dla klimatu jest silnym argumentem w inwestycjach w biogazownie w Norwegii.

# 5 Biogaz w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim – analiza finansowa

## 5.1 Produkcja biogazu w dwóch fazach

Mapowanie dostępnych surowców do produkcji biogazu, omówione w rozdziale 2.1 i ocena potencjału biogazu, przedstawiona w rozdziale 2.4, wskazują, że obszar MOFTMO ma znaczny potencjał do produkcji biogazu z biomasy i bioodpadów. Jeśli chodzi o sektor komunalny, miasto Tomaszów Mazowieckim jest optymalną lokalizacją inwestycji, ze względu na dostępność substratu. Potencjalnymi substratami są osady z oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim oraz bioodpady komunalne (odpady spożywcze i kuchenne, jeśli są zbierane oddzielnie). Z punktu widzenia wykorzystania odpadów rolniczych do produkcji biogazu, gminy Rokiciny, Rzeczyca, Ujazd i wiejska gmina Tomaszów Mazowieckim mają największy potencjał. Możliwymi substratami są biomasa roślinna i - w szczególności – biomasa zwierzęca. W przypadku odpadów przemysłowych, które można wykorzystać do produkcji biogazu - miasto Tomaszów Mazowieckim ma potencjał. Ze względu na przepisy opisane w rozdziale 1, które rozróżniają biogaz i biogaz rolniczy, potencjał produkcji biogazu w różnych sektorach (komunalnym, przemysłowym, rolniczym) należy rozpatrywać oddzielnie.

Samorządy lokalne w MOFTMO podpisały porozumienie, które ma na celu zapewnienie zrównoważonego rozwoju gmin. Działania skierowane na promowanie odnawialnych źródeł energii, w tym produkcji biogazu z biomasy i bioodpadów, przyczynią się do osiągnięcia celów zrównoważonego rozwoju w omawianym obszarze.

Aby zrealizować potencjał biogazu, ważna jest analiza biznesowa dotycząca produkcji biogazu. Tematem tego rozdziału jest przedstawienie możliwości produkcji biogazu ze strumienia substratów pochodzących z sektora komunalnego i przemysłowego w obszarze MOFTMO. Przeanalizowane zostaną dwie fazy.

### Faza 1: Budowa biogazowni w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim z osadem ściekowym jako substratem

Zakład Gospodarki Wodno-Kanalizacyjnej w Tomaszowie Mazowieckim przygotowuje się do realizacji inwestycji polegającej na kompleksowej modernizacji gospodarki osadami ściekowymi. Pozwoli to na stabilizację osadów w procesie fermentacji beztlenowej, wspomaganej procesem hydrolizy termicznej oraz produkcję energii elektrycznej i ciepła z biogazu. Substratami do produkcji biogazu będą osady ściekowe powstające w trakcie oczyszczania ścieków w zakładzie, osady tłuszczowe oraz osady ściekowe dostarczane z pobliskich oczyszczalni ścieków.

Budowa biogazowni umożliwi produkcję biogazu i jego wykorzystanie do produkcji energii. Biogazownia umożliwiłaby:

- ograniczenie ilości wytwarzanych osadów i obniżenie kosztów zagospodarowania osadów,
- produkcję energii elektrycznej i ciepła z biogazu, a tym samym obniżenie kosztów energii w Zakładzie,
- wykorzystanie pofermentu do produkcji produktu poprawiającego właściwości gleby,
- redukcję emisji gazów cieplarnianych.

## Faza 2: Rozbudowa biogazowni w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim w celu wykorzystania odpadów biodegradowalnych jako substratu uzupełniającego

Rozbudowa instalacji biogazu umożliwi wykorzystanie do produkcji biogazu odpadów komunalnych (odpadów spożywczych/kuchennych) i przemysłowych odpadów biodegradowalnych zbieranych w MOFTMO. W ocenie można również uwzględnić osad z oczyszczalni ścieków nieobjętych Fazą 1.

Rozbudowa umożliwi zakładowi:

- produkcję większej ilości energii elektrycznej i ciepła oraz dalszą redukcję kosztów energii,
- wsparcie realizacji celów w zakresie odzysku i recyklingu odpadów w gminach w omawianym obszarze,
- dalszą redukcję emisji gazów cieplarnianych.

## 5.2 Faza 1: Osady ściekowe jako substrat

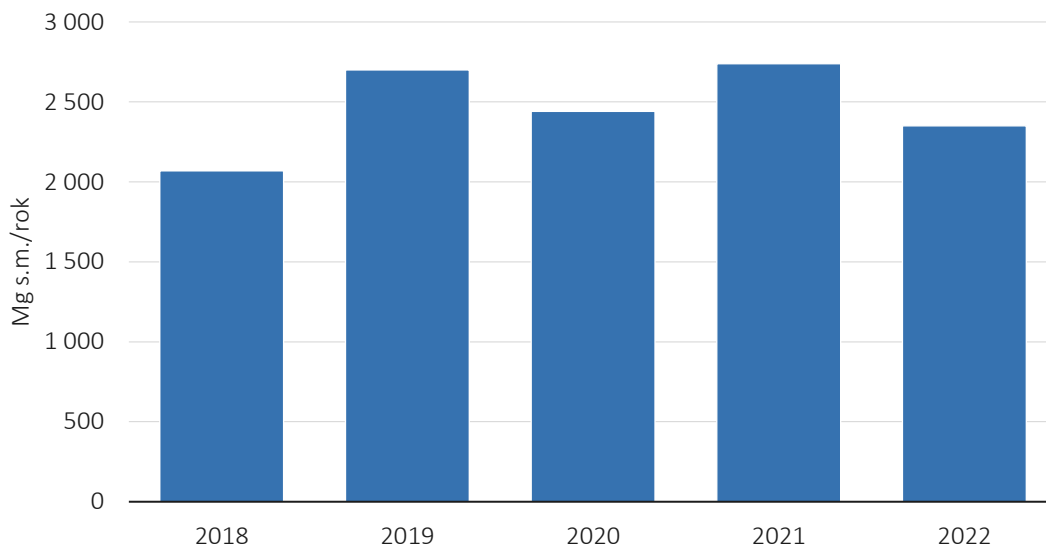
### 5.2.1 Ilości osadów i bieżące przetwarzanie

Oczyszczalnia ścieków zarządzana przez Zakład Gospodarki Wodno-Kanalizacyjnej w Tomaszowie Mazowieckim znajduje się w mieście Tomaszów Mazowiecki w województwie łódzkim, w centralnej Polsce. Miasto liczy 58,8 tys. mieszkańców.

Oczyszczalnia ścieków była modernizowana w latach 2013-2016. Modernizacja, zakończona w 2016 roku, umożliwiła zastosowanie technologii biologicznej do usuwania związków biogenych, automatyczne kontrolowanie i sterowanie procesem technologicznym, a także wprowadzenie końcowego procesu obróbki osadów opartego na zagęszczaniu, odwadnianiu i suszeniu osadów.

Zaprojektowana maksymalna wydajność godzinowa oczyszczalni to 1600 metrów sześciennych ścieków. W przeliczeniu na równoważną liczbę mieszkańców, maksymalna wydajność wynosi 126 940 RLM., jednak rzeczywiste obciążenia sięgają 180 000 RLM. W latach 2015–2022 średniorocznie dopływało 3,74 mln metrów sześciennych ścieków (około 427 metrów sześciennych na godzinę), z czego 6% pochodziło z szamb (głównie z zakładów przetwórstwa spożywczego).

Rysunek 5.1 Ilość suchej masy osadów ściekowych wytworzonych w ciągu roku w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim



Źródło: AL\_PROJEKT (2023).

W ostatnich latach wytwarzano 2100-2700 Mg suchej masy osadów ściekowych rocznie (Rysunek 5.1). Do 2020 roku wytwarzany osad ściekowy był odwadniany i przekazywany do zewnętrznej firmy w celu dalszego przetwarzania. Od 2021 roku osad jest odwadniany i suszony w temperaturze 130 °C, a następnie wytwarzany jest środek poprawiający właściwości gleby. Nagły wzrost cen gazu w 2022 roku spowodował, że oczyszczalnia ograniczyła suszenie osadów i została zmuszona do przekazywania do dalszego przetwarzania nieprzetworzonych osadów bezpośrednio po odwodnieniu. Charakterystykę osadów ściekowych wytwarzanych w oczyszczalni ścieków przedstawiono w Tabeli 5.1.

Tabela 5.1 Charakterystyka osadu po zagęszczeniu

Jednostka danych	Zawartość suchej masy [%]	Zawartość suchej masy organicznej [% suchej masy]
Osad pierwotny	3.8	84.0
Nadmiar, osad wtórny	4.9	82.9

Źródło: AL\_PROJEKT (2023).

## 5.2.2 Aktualne problemy i możliwości

W eksploatacji oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim występuje kilka problemów:

- duża ilość osadu, który powstaje w procesie oczyszczania ścieków, bez możliwości jej zmniejszenia w dalszej obróbce - przed ostatecznym odwodnieniem i wysuszeniem,
- duże obciążenie sieci kanalizacyjnej dostarczonymi ściekami zagęszczonymi,
- wysokie zużycie energii na przetwarzanie osadu podczas eksploatacji suszarni osadów,
- rosnące koszty gospodarowania osadami,
- brak stabilizacji osadu po wyłączeniu suszarni osadów,

- malejące możliwości dalszego gospodarowania osadami,
- brak miejsca na składowanie odwodnionych lub wysuszonych osadów.

Budowa biogazowni mogłaby rozwiązać zidentyfikowane problemy. W Fazie 1 inwestycja polegałaby na modernizacji oczyszczalni ścieków, co umożliwiłoby:

- stabilizację osadów w procesie fermentacji metanowej wspomaganą hydrolizą termiczno-ciśnieniową oraz produkcję energii elektrycznej i ciepła z biogazu,
- odzysk wody z oczyszczonych ścieków,
- odzysk fosforu w postaci struwitu.

Efektom inwestycji będzie:

1. Przebudowa i rozbudowa linii oczyszczania osadów jako instalacji do oczyszczania osadów ze sterylizacją, produkcji i wykorzystania biogazu (Zadanie 1) oraz do odzysku fosforu w postaci granulowanego struwitu (Zadanie 2), a także do oczyszczania i dezynfekcji oczyszczonych ścieków w celu odzysku wody do celów przemysłowych (np. mycia ulic lub podlewania zieleni) (Zadanie 3),
2. Rozbudowa systemu dowodzenia i kontroli o urządzenia do nowej linii oczyszczania osadów, odzysku fosforu i odzysku wody,
3. Budowa instalacji energii odnawialnej (paneli słonecznych), z podłączeniem do sieci elektrycznej operatora.

Poniżej odnosimy się do punktów 1 i 2, które są niezbędnymi elementami biogazowni. Budowa instalacji energii odnawialnej jest procesem realizowanym na podstawie odrębnej decyzji.

### 5.2.3 CAPEX i OPEX

Budowa biogazowni przy oczyszczalni ścieków stwarza kilka możliwości wykorzystania biogazu i przetwarzania pozostałego pofermentu. Pierwsza analizowana opcja (1A) obejmuje wykorzystanie biogazu do produkcji energii elektrycznej i ciepła przy użyciu skojarzonego systemu produkcji ciepła i energii elektrycznej (CPH). Wytworzona energia elektryczna będzie następnie wykorzystywana na miejscu do zasilania oczyszczalni ścieków i produkcji biogazu, zastępując w ten sposób energię elektryczną obecnie kupowaną z sieci. Część ciepła będzie wykorzystywana na miejscu. Poferment, który pozostaje jako produkt uboczny produkcji biogazu, zostanie przetransportowany do zewnętrznej firmy w celu dalszego przetworzenia. W drugiej opcji (1B) część biogazu zostanie wykorzystana do suszenia i obróbki pofermentu na miejscu. Obejmuje to również produkcję produktu poprawiającego glebę i jego sprzedaż, np. rolnikom. Pozostały biogaz zostanie wykorzystany do skojarzonej produkcji ciepła i energii elektrycznej, a energia elektryczna i część ciepła zostaną wykorzystane na miejscu do uruchomienia oczyszczalni ścieków i produkcji biogazu. W trzeciej opcji (1C) cały wyprodukowany biogaz zostanie wykorzystany do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła. Poferment będzie nadal oczyszczany w oczyszczalni ścieków, ale przy użyciu gazu z sieci. Produkt poprawiający glebę, powstający w wyniku oczyszczania pofermentu, może być sprzedawany rolnikom.

Tabela 5.2 Opcje w Fazie 1

Opcja 1A	Opcja 1B	Opcja 1C
Biogaz służy do produkcji energii elektrycznej i ciepła, co pozwala na zastąpienie energii elektrycznej z sieci. Część ciepła jest wykorzystywana na miejscu, a poferment jest przetwarzany przez firmę zewnętrzną.	Część biogazu jest wykorzystywana do suszenia pofermentu i wytwarzania produktu poprawiającego glebę, sprzedawanego rolnikom. Pozostały biogaz jest wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej i ciepła, co pozwala na zastąpienie energii elektrycznej z sieci; część ciepła jest wykorzystywana na miejscu.	Biogaz jest wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej i ciepła, co pozwala na zastąpienie energii elektrycznej z sieci; część ciepła jest wykorzystywana na miejscu. Poferment jest suszony przy użyciu gazu z sieci, a produkt poprawiający glebę jest sprzedawany rolnikom.

Źródło: Vista Analyse i IOŚ-PIB

Koszt inwestycji, który podano w Tabeli 5.3, pozostaje stały niezależnie od tego, którą z trzech opcji wybierze oczyszczalnia ścieków. Na koszt realizacji i projektowania składa się koszt przygotowania przetargu, oszacowany na 600 000 PLN, a także koszt prac projektowych - 3 mln PLN. Koszt materiałów i budowy obejmuje wszystkie koszty związane z instalacją biogazowni oraz składowaniem i przetwarzaniem pofermentu. Planowana biogazownia będzie zlokalizowana w granicach terenu obecnie należącego do oczyszczalni ścieków, w tym na terenach niezabudowanych, takich jak tereny zielone i utwardzone, wykorzystywane do manewrowania lub jako place składowe. Zagospodarowanie i adaptacja tego terenu wyniesie 3 mln PLN. Istniejąca oczyszczalnia ścieków wymaga pewnych zmian i udoskonaleń w celu podłączenia jej do biogazowni. Koszt tych prac szacuje się na 2,5 mln PLN. Instalacje elektryczne, aparatura kontrolno-pomiarowa i automatyka biogazowni będą kosztować 3,5 mln PLN, a koszty rozruchu technologicznego szacuje się na 800 000 PLN. Koszty ogólnego kontraktu, takie jak koszty finansowe i gwarancje, ustalono na 11,4 mln PLN.

Całkowite nakłady inwestycyjne dla wszystkich opcji w Fazie 1 wynoszą około 65,2 mln PLN. Jest to kwota znacznie wyższa od CAPEX przedstawionego w sekcji 1.4, ze względu na stosunkowo wysoki koszt instalacji do hydrolizy termicznej, którą oczyszczalnia ścieków planuje zamontować.

Tabela 5.3 CAPEX dla wszystkich opcji w Fazie 1 (in PLN)

	Opcja 1A, 1B i 1C
Koszty realizacji i projektowania	3 600 000
Koszty materiałów i budowy	40 310 000
Koszty przebudowy istniejących obiektów i rozwoju	5 500 000
Koszty instalacji elektrycznych i technologiczne	4 430 000
Koszty generalnego wykonawstwa	11 350 000
<b>Razem</b>	<b>65 190 000</b>

Źródło: Vista Analyse i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)

Koszty operacyjne różnią się w zależności od opcji Fazy 1. Zakładamy, że oczyszczalnia ścieków będzie potrzebowała takiej samej ilości pracy, konserwacji i energii elektrycznej do oczyszczania ścieków, niezależnie od wybranej opcji. Główna różnica między opcjami leży w przetwarzaniu pofermentu. W opcji 1A poferment jest przetwarzany przez zewnętrzną firmę za (szacowaną) kwotę 2,8 mln PLN rocznie. W opcji 1B poferment jest suszony i przetwarzany przez oczyszczalnię ścieków, ale koszt tego przetwarzania jest ustawiony na 0, ponieważ zakład wykorzystuje biogaz,

który produkuje do procesu. W opcji 1C oczyszczalnia ścieków kupuje gaz z sieci w celu przetwarzania pofermentu, a szacowany koszt tego gazu wynosi 260 PLN za MWh (maj 2024 r.), co stanowi około 1,6 mln PLN rocznie. Po uwzględnieniu tych różnic w przetwarzaniu pofermentu koszty operacyjne dla opcji 1A, 1B i 1C wynoszą odpowiednio około 7,5 mln, 4,7 mln i 6,3 mln PLN.

**Tabela 5.4 OPEX dla wszystkich opcji w Fazie 1 (in PLN)**

	<b>Opcja 1A</b>	<b>Opcja 1B</b>	<b>Opcja 1C</b>
Koszty pracy zakładu biogazowego	720 000	720 000	720 000
Konserwacja zakładu biogazowego	200 000	200 000	200 000
Energia elektryczna do eksploatacji oczyszczalni ścieków	3 811 500	3 811 500	3 811 500
Przetwarzanie pofermentu przez firmę zewnętrzną	2 800 000	-	-
Przetwarzanie pofermentu w zakładzie	-	-	1 582 718
<b>Razem</b>	<b>7 531 500</b>	<b>4 731 500</b>	<b>6 314 218</b>

Źródło: Vista Analyse i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)

## 5.2.4 Ocena zasobów

W pierwszej fazie projektu głównym substratem, który będzie używany do produkcji biogazu, jest osad ściekowy. Osad jest klasyfikowany jako osad pierwotny lub wtórny. Osad pierwotny, znany również jako osad surowy, powstaje w wyniku grawitacyjnego osiadania ciał stałych w zbiorniku pierwotnym. Osad wtórny jest wynikiem biologicznego oczyszczania ścieków i jest zagęszczany mechanicznie. Po zagęszczeniu osad zostanie wymieszany i wprowadzony do procesu produkcji biogazu. Ponadto, osad ściekowy z sąsiednich oczyszczalni ścieków zostanie wykorzystany w produkcji biogazu: około 40% będzie pochodzić z oczyszczalni ścieków spoza MOFTMO. Ostatnim elementem substratu będzie osad z separatora tłuszczu.

Proporcja ścieków dostarczanych przez cysterny do całkowitej objętości ścieków wpływających do zakładu wynosi około 6%, co -biorąc pod uwagę wielkość zakładu - jest znaczącą ilością. Dostarczane ścieki te pochodzą między innymi z działalności zakładów przetwórstwa spożywczego. Ilości poszczególnych substratów planowane do wykorzystania w procesie produkcji biogazu przedstawiono w Tabeli 5.5.

**Tabela 5.5 Substraty do procesu produkcji biogazu**

<b>Substrat</b>	<b>Ilość</b>	<b>Ilość [Mg suchej masy/rok]</b>
Osad pierwotny	30 783 metry sześciennie/rok	1 170
Osad nadmiarowy/wtórny	37 053 metry sześciennie/rok	1 810
Osad z odstojnika tłuszczu	920 metry sześciennie/rok	92
Ścieki dostarczane przez szamba	23 686 metry sześciennie/rok	474
Osad ściekowy z innych oczyszczalni ścieków	2 511 Mg/rok	452
<b>Razem</b>		<b>3 998</b>

Źródło: AL-PROJEKT (2023).

## 5.2.5 Przychody i obniżone koszty

Oczyszczalnia ścieków w Tomaszowie Mazowieckim planuje zainstalować system kogeneracyjny (CHP) w pierwszej fazie projektu. System CHP wykorzystuje biogaz do jednoczesnej produkcji ciepła i energii elektrycznej. Wytworzona energia elektryczna i ciepło będą wykorzystywane na miejscu, do oczyszczania ścieków i produkcji biogazu.

### Energia elektryczna i ciepło

Oczyszczalnia ścieków zużywa rocznie 5,5 GWh energii elektrycznej. Koszt tej energii elektrycznej przy zakupie z sieci wynosi 693 PLN za MWh (maj 2024 r.), co w sumie wynosi 3,8 mln PLN. W procesie produkcji biogazu, a także w wytwarzaniu energii elektrycznej i ciepła, rocznie będzie wymagane dodatkowe 0,5 GWh. Przewidywana produkcja energii elektrycznej z biogazu wynosi 3,1 GWh rocznie, co daje produkcję energii elektrycznej netto na poziomie 2,6 GWh rocznie. Jeśli całość wyprodukowanego biogazu zostanie wykorzystana do produkcji energii elektrycznej i ciepła, pokryje prawie połowę zapotrzebowania zakładu i umożliwi roczne oszczędzenie 1,8 mln PLN na wydatkach na energię. W wariantcie 1B część biogazu jest wykorzystywana do obróbki pofermentu, a udział biogazu wykorzystywanego do produkcji energii elektrycznej i ciepła jest przez to niższy. Całkowite oszczędności na wydatkach na energię elektryczną dla tego wariantu wynoszą ok. 450 000 PLN rocznie.

Oczyszczalnia ścieków obecnie wykorzystuje energię elektryczną do celów grzewczych i na razie nie ma możliwości przekazania ciepła do systemu ciepłowniczego. Jeśli w przyszłości pojawią się możliwości wykorzystania nadmiaru ciepła na miejscu lub w systemie ciepłowniczym, zaistnieją dodatkowe możliwości sprzedaży ciepła lub obniżenia kosztów energii dla oczyszczalni ścieków.

### Przetwarzanie pofermentu

Obecny proces oczyszczania ścieków generuje ok. 12 500 Mg pofermentu rocznie. Poferment jest transportowany do zewnętrznej firmy w celu dalszego przetworzenia, co kosztuje oczyszczalnię ścieków 5 mln PLN rocznie. Wykorzystanie osadu, który pozostaje jako produkt uboczny oczyszczania ścieków do produkcji biogazu, znacznie zmniejsza suchą masę organiczną (IEA Bioenergy, 2015). W Fазie 1 projektu ilość pofermentu wytwarzanego w procesie produkcji biogazu szacowana jest na 7000 Mg. Poprzez zmniejszenie objętości pofermentu oczyszczalnia ścieków obniża koszty związane z jego oczyszczaniem, magazynowaniem i transportem. Dokładna redukcja kosztów zależy od tego, czy oczyszczalnia ścieków wybierze opcję A, B czy C. Jak stwierdzono w rozdziale 5.2.3, opcja 1A nadal wiąże się z przetwarzaniem pofermentu przez firmę zewnętrzną, ale objętość pofermentu jest znacznie zmniejszona, co obniża cenę do 2,8 mln PLN rocznie. Opcja 1B ma koszt oczyszczania pofermentu ustawiony na zero, ponieważ przetwarzanie opiera się na biogazie produkowanym w zakładzie. Istnieje jednak koszt pośredni, ponieważ udział biogazu wykorzystywanego do produkcji energii elektrycznej i ciepła jest niższy. W opcji 1C zakład sam oczyszcza poferment, co kosztuje 1,6 mln PLN rocznie. Oczyszczanie pofermentu na miejscu daje oczyszczalni ścieków możliwość sprzedaży rolnikom uzyskanego produktu poprawiającego jakość gleby. Zakłada się, że produkt można sprzedać za 25 PLN/Mg, generując roczny dochód w wysokości 57 500 PLN.



### Przyjmowanie osadów z sąsiednich oczyszczalni ścieków

Stworzenie biogazowni w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim umożliwi przyjmowanie osadów z innych zakładów w okolicy, które będą wykorzystywane jako surowiec w procesie produkcji biogazu. Szacuje się, że zakład będzie mógł przyjmować dodatkowo 2 500 Mg osadów rocznie. Jeśli opłata za dostawę osadów zostanie ustalona na poziomie 200 PLN za Mg, 2500 Mg wygeneruje dochód w wysokości 500 000 zł rocznie. Okoliczne oczyszczalnie ścieków pobierają opłatę za przyjęcie osadów w wysokości od 389 do 626 PLN za Mg, więc może istnieć możliwość zwiększenia dochodu przez oczyszczalnię ścieków poprzez pobieranie wyższej opłaty za ich przyjęcie.

### Roczny dochód

Tabela 5.6 przedstawia przegląd rocznego dochodu i zmniejszonych wydatków dla każdej opcji w Fazie 1. Opcja 1C przynosi najwyższy roczny dochód, wynoszący 2,4 mln PLN, składający się z dochodu z oczyszczania osadów z sąsiednich oczyszczalni ścieków, dochodu ze sprzedaży produktu poprawiającego jakość gleby i zmniejszonych wydatków na energię elektryczną w wyniku produkcji biogazu. Dodatkowym atutem będzie ewentualna wyższa opłata za przyjęcie osadów. Drugą najlepszą opcją jest 1A, z rocznym dochodem w wysokości 2,3 mln PLN. Ponieważ poferment jest przetwarzany przez zewnętrzną firmę, opcja ta nie obejmuje dochodu ze sprzedaży produktu poprawiającego jakość gleby. Opcja 1B ma te same źródła dochodu co 1C, ale zmniejszone wydatki na energię elektryczną są znacznie niższe, co skutkuje najniższym rocznym dochodem w wysokości 1 mln PLN.

Tabela 5.6 Roczne przychody i zredukowane wydatki dla każdej opcji w Fazie 1 (w PLN)

	Opcja 1A	Opcja 1B	Opcja 1C
Dochód z oczyszczania osadów z sąsiednich oczyszczalni ścieków	500 000	500 000	500 000
Dochód ze sprzedaży środka poprawiającego jakość gleby	-	57 500	57 500
Zmniejszenie kosztów energii elektrycznej	1 818 065	456 570	1 818 065
<b>Dochód w sumie</b>	<b>2 318 065</b>	<b>1 002 844</b>	<b>2 375 565</b>

Źródło: Vista Analyse i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)

### 5.2.6 Rentowność

Tabela 5.7 podsumowuje Tabelę 5.4, która podaje roczny dochód i Tabelę 5.6, która podaje roczne koszty dla każdej opcji w Fazie 1 oraz koszty ponoszone obecnie (wartości bazowe). Koszty inwestycji dla trzech różnych opcji w Fazie 1 są takie same; 65,2 mln zł. Ponieważ koszty zmienne i dochód różnią się, są to decydujące składniki dla tego, która opcja jest najbardziej zyskowna.

**Tabela 5.7** Suma kosztów, przychodów i rocznych przepływów pieniężnych dla każdej opcji w 1 (w mln PLN)

	<b>Wartość bazowa</b>	<b>Opcja 1A</b>	<b>Opcja 1B</b>	<b>Opcja 1C</b>
Koszt inwestycji	-	65.19	65.19	65.19
Roczne koszty operacyjne	8.81	7.53	4.73	6.31
Roczny dochód z tytułu przyjmowania osadów ściekowych do przetworzenia oraz sprzedaży produktu poprawiającego jakość gleby	-	2.29	1.00	2.35
Roczny przepływ środków pieniężnych	- 8.81	- 5.24	- 3.73	- 3.97
Roczny przepływ środków pieniężnych w porównaniu do wartości bazowej	-	3.57	5.1	4.8

Źródło: Vista Analyse i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)

Na podstawie przeglądu w Tabeli 5.7 widzimy, że spośród trzech opcji inwestycyjnych w Fazie 1, opcja 1B jest najlepsza, zaraz za nią jest opcja 1C, podczas gdy opcja 1A jest zdecydowanie najmniej opłacalna. Nawet jeśli wszystkie opcje mają ujemny roczny przepływ dochodów (tj. nie biorąc pod uwagę kosztów inwestycji), nadal rozsądne może być wdrożenie niektórych z tych opcji, jeśli są lepszym rozwiązaniem niż obecna sytuacja. Dlatego powinniśmy porównać różne opcje z sytuacją bazową, w której osad jest przetwarzany przez zewnętrzną firmę i bez produkcji biogazu.

Oprócz kosztów inwestycji i rocznego przepływu środków pieniężnych powinniśmy również wziąć pod uwagę okres eksploatacji projektu i stopę dyskontową.

### Rola stopy dyskontowej

Aby dokonać inwestycji, inwestor wymaga określonej stopy zwrotu ze swoich funduszy, zwanej również stopą dyskontową. Gdy istnieje pewna niepewność co do dochodów i kosztów projektu, np. ryzyko wyższych kosztów inwestycji, trudności technologiczne, niskie ceny, niepewność regulacyjna, krótko mówiąc, istnieje ryzyko, że inwestor może stracić część lub całość swoich pieniędzy, inwestor zazwyczaj wymaga wyższej oczekiwanej stopy zwrotu. O ile jest ona wyższa, zależy od czynników ryzyka, ale także od jego własnej wiedzy i umiejętności zrozumienia projektu, jego niechęci do ryzyka i tego, jak zdywersyfikowany jest jego portfel inwestycyjny.

W tym opracowaniu obliczamy wartość bieżącą netto przy różnych stopach dyskontowych. Wszystkie stopy dyskontowe są „rzeczywiste”, w przeciwieństwie do nominalnych, ponieważ nie bierzemy pod uwagę inflacji. Gdybyśmy uwzględnili inflację np. 3%, przepływy pieniężne z tabeli 5.7 wzrosłyby o 3% rocznie, a realne stopy procentowe z tabeli 5.8 i kolejnych oznaczałyby nominalne stopy procentowe wyższe o 3%.

### Wartość bieżąca netto

Wartość bieżąca netto obejmuje wszystkie zmienne koszty i dochody oraz koszty inwestycyjne dla opcji 1A, 1B i 1C. Jak widać w Tabeli 5.8, wartość bieżąca netto jest ujemna dla wszystkich opcji, w tym dla wartości bazowej.

Tabela 5.8 Wartość bieżąca netto dla różnych stóp dyskontowych przy okresie trwania projektu 20 lat (w mln PLN)

	Wartość bazowa	Opcja 1A	Opcja 1B	Opcja 1C
10 %	-75.02	-109.83	-96.93	-98.98
8 %	-86.51	-116.67	-101.80	-104.16
6 %	-101.07	-125.33	-107.96	-110.71
4 %	-119.75	-136.45	-115.86	-119.13

Źródło: Vista Analise i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)

Tabela 5.9 pokazuje wartość bieżącą netto dla wszystkich opcji w porównaniu do wartości bazowej. Opcja 1A ma niższą wartość bieżącą netto niż wartość dla wszystkich stóp dyskontowych, co oznacza, że ta opcja jest mniej opłacalna niż obecna sytuacja. Zarówno opcja 1B, jak i 1C mają wyższą wartość bieżącą netto niż wartość bazowa, gdy ustawimy stopę dyskontową na 4 procent. Opcja 1B jest oczywiście najlepszą opcją z wartością bieżącą netto wyższą o 3,89 mln PLN od wartości bazowej.

Tabela 5.9 Wartość bieżąca netto dla różnych stóp dyskontowych przy okresie trwania projektu 20 lat w porównaniu do wartości bazowej (mln PLN)

	Wartość bazowa	Opcja 1A	Opcja 1B	Opcja 1C
10 %	-	-34.82	-21.92	-23.96
8 %	-	-30.16	-15.29	-17.64
6 %	-	-24.27	-6.89	-9.65
4 %	-	-16.70	3.89	0.62

Źródło: Vista Analise i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)

### Czas trwania projektu

Tabela 5.10 podsumowuje minimalny czas trwania projektu w latach, gdy zakładamy stopę dyskontową wynoszącą 6%. Opcja 1A nigdy nie będzie lepszą opcją. Opcja 1B staje się opłacalna przy stopie dyskontowej wynoszącej 6%, jeśli czas trwania projektu wynosi co najmniej 26 lat, a opcja 1C, jeśli czas trwania wynosi co najmniej 29 lat.

Tabela 5.10 Minimalny czas trwania projektu, aby opcje w Fazie 1 były bardziej opłacalne w porównaniu z wartością bazową

	Wartość bazowa	Opcja 1A	Opcja 1B	Opcja 1C
Minimalny czas trwania projektu w latach	-	nigdy	26	29

Źródło: Vista Analise i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)

Gdyby stopa dyskontowa była nieco wyższa, projekt musiałby trwać znacznie dłużej, aby pozostałe opcje były bardziej opłacalne niż aktualna sytuacja (wartość bazowa). Na przykład, jeśli stopa dyskontowa wynosi 10%, żadna z opcji w Fazie 1 nie jest bardziej opłacalna niż bazowa, nawet jeśli czas trwania projektu wynosi 100 lat.

## Wewnętrzna stopa zwrotu

Tabela 5.11 podsumowuje, jak niska musi być stopa dyskontowa, aby opcje przyniosły dodatni zwrot w porównaniu z obecną sytuacją.

Tabela 5.11 Wewnętrzna stopa zwrotu dla opcji w Fazie 1

	Opcja 1A	Opcja 1B	Opcja 1C
Wewnętrzna stopa zwrotu (%)	0.09	4.66	4.10

Źródło: Vista Analyse i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)

Aby opcja 1B była bardziej opłacalna niż sytuacja bazowa, stopa dyskontowa nie może być wyższa niż 4,66%. Natomiast w przypadku opcji 1C stopa dyskontowa nie może być wyższa niż 4,10%. Widzimy, że opcja 1A ma wewnętrzną stopę zwrotu wynoszącą 0,09%, co oznacza, że stopa dyskontowa nie może być wyższa, tj. opcja 1A nigdy nie jest lepszą opcją niż opcja bazowa w świecie rzeczywistym.

## Zwiększone koszty lub dochody

Jeśli zwiększymy tylko koszty, a dochody pozostaną na stałym poziomie, opcja 1B nadal będzie najlepszą opcją inwestycyjną. Kiedy porównamy opcję 1B z sytuacją bazową, możemy ocenić, jaka musi być wewnętrzna stopa zwrotu przy pewnym procentowym wzroście kosztów inwestycji.

Tabela 5.12 Wewnętrzna stopa zwrotu dla opcji 1B, w przypadku wzrostu kosztów w porównaniu do wartości bazowej

Zwiększony koszt	0 %	3 %	4 %	5 %	7.5 %	10 %	15 %	20 %
Wewnętrzna stopa zwrotu (%) Opcja1B	4.66	4.32	4.21	4.10	3.83	3.58	3.09	2.63

Źródło: Vista Analyse i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)

Jak widać w Tabeli 5.12, wzrost kosztów zmiennych o punkt procentowy pociąga za sobą spadek wewnętrznej stopy zwrotu o około 10% dla opcji 1B. Jeśli koszty wzrosną o 5%, wewnętrzna stopa zwrotu w porównaniu do wartości bazowej wyniesie 4,1%.

Tabela 5.13 Wewnętrzna stopa zwrotu dla opcji 1B w przypadku wzrostu dochodu w porównaniu do wartości bazowej

Wzrost kosztów inwestycyjnych	0 %	3 %	4 %	5 %	7.5 %	10 %	15 %	20 %
Wewnętrzna stopa zwrotu (%) Opcja1B	4.66	4.73	4.75	4.77	4.83	4.89	5.00	5.11

Źródło: Vista Analyse i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)

W tabeli 5.13 widzimy, że zwiększenie dochodu dla opcji 1B tylko nieznacznie poprawia wewnętrzną stopę zwrotu. Wzrost dochodu o 15% pociąga za sobą wewnętrzną stopę zwrotu wynoszącą 5,0%, podczas gdy wzrost dochodu o 20% daje wewnętrzną stopę zwrotu wynoszącą 5,11%.

## 5.3 Faza 2 – Odpady komunalne i przemysłowe

W drugiej fazie inwestycja będzie polegać na rozbudowie biogazowni, umożliwiając:

- przyjmowanie bioodpadów komunalnych,
- przyjmowanie bioodpadów przemysłowych.

### 5.3.1 CAPEX i OPEX

Faza 2 projektu w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim obejmuje odpady komunalne, a w niektórych przypadkach odpady przemysłowe jako substrat do produkcji biogazu. W tej fazie projektu uwzględniliśmy dwie opcje 2A i 2B oraz kilka scenariuszy dla opcji 2A. W opcji 2A odpady komunalne są uwzględnione jako substrat do produkcji biogazu, a scenariusze uwzględniają różne poziomy dostępnego surowca. Scenariusz 1 przedstawia obliczenia oparte na założeniu, że gminy wdrażają selektywną zbiórkę odpadów spożywczych/kuchennych, a wszystkie odpady spożywcze/kuchenne (przy obecnym poziomie zbiórki) mogą być wykorzystywane w produkcji. Pozostałe scenariusze przedstawiają różne poziomy teoretycznego potencjału odpadów komunalnych (patrz Tabela 2.2). W opcji 2B odpady przemysłowe są dodawane oprócz odpadów spożywczych i kuchennych z gmin.

Tabela 5.14 Opcje i scenariusze dla Fazy 2

	Opcja 2A	Opcja 2B
<b>Scenariusz 1</b>	Dodanie odpadów spożywczych i kuchennych jako substratu	Dodanie odpadów spożywczych i kuchennych (75% potencjału) i odpadów przemysłowych w procesie fermentacji beztlenowej?
<b>Scenariusz 2</b>	Dodanie odpadów spożywczych i kuchennych jako substratu (25% potencjału)	
<b>Scenariusz 3</b>	Dodanie odpadów spożywczych i kuchennych jako substratu (50% potencjału)	
<b>Scenariusz 4</b>	Dodanie odpadów spożywczych i kuchennych jako substratu (75% potencjału)	

Źródło: Vista Analyse i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)

Tabela 5.15 przedstawia nakłady inwestycyjne dla każdej opcji w Fazie 2. Dodanie odpadów komunalnych i przemysłowych do mieszanki substratu oznacza, że zakład będzie musiał zainwestować w dodatkowe urządzenia do wstępnego przetwarzania. Odpady komunalne docierają do zakładu w workach i muszą zostać wyjęte z worków, posortowane i zmielone, zanim zostaną przetransportowane do biogazowni. Przemysłowe odpady biologiczne również wymagają wstępnego przetwarzania. Inwestycja ta będzie musiała zostać dokonana we wszystkich opcjach i scenariuszach. Szacuje się, że zakład wstępnego przetwarzania będzie kosztował 1 mln zł, co stanowi dodatek do 65,2 mln zł zainwestowanych w biogazownię w fazie 1. Wraz ze wzrostem objętości surowca wykorzystywanego w produkcji zakład będzie potrzebował dodatkowych bioreaktorów w biogazowni. W opcjach 2A1, 2A2 i 2A3 szacujemy, że potrzebny jest jeden dodatkowy bioreaktor, podczas gdy w przypadku opcji 2A4 i 2B potrzebne są dwa dodatkowe bioreaktory. Koszty

inwestycyjne wynoszą 69 mln zł dla opcji 2A1, 2A2 i 2A3 oraz 71 mln zł dla opcji 2A4 i 2B. Jeśli wzrost surowca będzie wyższy niż oczekiwano lub wystąpią inne zmienne, które doprowadzą do konieczności użycia kolejnego bioreaktora, doprowadzi to do wzrostu kosztów inwestycji o 3,9 proc. dla opcji 2A1, 2A2 i 2A3 oraz wzrostu kosztów inwestycji o 10,9 proc. dla opcji 2A4 i 2B.

**Tabela 5.15 CAPEX dla każdej opcji w Fazie 2 (w PLN)**

	<b>Opcja 2A1, 2A2 i 2A3</b>	<b>Option 2A4 i 2B</b>
Inwestycja Fazy 1	65 190 000	65 190 000
Zakład wstępnego przetwarzania odpadów komunalnych	1 000 000	1 000 000
Dodatkowe bioreaktory	2 800 000	5 600 000
<b>Całkowite nakłady inwestycyjne</b>	<b>68 990 000</b>	<b>71 190 000</b>

Źródło: Vista Analise i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)

Tabela 5.16 zawiera roczne koszty operacyjne dla wszystkich opcji i scenariuszy w Fazie 2. Przyjmęliśmy takie same koszty pracy i konserwacji jak w Fazie 1. Jeśli rozszerzenie przyjmowania surowca w Fazie 2 doprowadzi do 50 procent wyższych kosztów pracy lub konserwacji, zwiększy to koszty zmienne o 8,9 procent. W Fazie 2 projektu, poferment zostanie poddany obróbce przy użyciu biogazu, a zatem nie ma bezpośrednich kosztów związanych z tym procesem.

**Tabela 5.16 OPEX dla wszystkich opcji w Fazie 2 (w PLN)**

	<b>Wszystkie opcje w Fazie 2</b>
Koszty pracy zakładu biogazowego	720 000
Konserwacja zakładu biogazowego	200 000
Energia elektryczna do eksploatacji oczyszczalni ścieków	3 811 500
<b>Całkowite koszty operacyjne</b>	<b>4 731 500</b>

Źródło: Vista Analise i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)

### 5.3.2 Ocena zasobów

W Fazie 2 odpady komunalne (odpady spożywcze i kuchenne) z MOFTMO będą wykorzystywane do produkcji biogazu (Ocena zasobów MOFTMO), a także odpady przemysłowe z MOFTMO oraz osady ściekowe z oczyszczalni ścieków nieuwzględnione w Fazie 1. Ilości poszczególnych substratów, które można wykorzystać w procesie produkcji biogazu, przedstawiono w tabeli 5.17.

**Tabela 5.17 Substraty do procesu produkcji biogazu w Fazie 2**

<b>Substrat</b>	<b>Ilość [Mg/rok]</b>
Biodopady komunalne (odpady spożywcze i kuchenne)	7 587
Biodopady przemysłowe (produkty spożywcze przeterminowane lub niezdatne do spożycia, kod 16 03 80)	1 450
Osady ściekowe z innych oczyszczalni ścieków	289
<b>Razem</b>	<b>9 326</b>

Źródło: opracowanie własne na podstawie BDO

### 5.3.3 Przychody i zmniejszone koszty

W Fazie 2 projektu oczyszczalnia ścieków w Tomaszowie Mazowieckim nadal będzie przyjmować osady z sąsiednich oczyszczalni ścieków i wykorzystywać je do produkcji biogazu. Zakłada się, że objętość przyjmowanych osadów będzie taka sama jak w Fazie 1, a dochód z tej działalności pozostanie na poziomie 500 000 zł rocznie, jeśli przyjmujemy opłatę wjazdową w wysokości 200 PLN za Mg. Roczny dochód wzrośnie, jeśli oczyszczalnia ścieków zdecyduje się na pobieranie wyższej opłaty. Przyjmując bioodpady komunalne, zakład pomaga rozwiązać problem odpadów dla gminy i może pobierać opłatę za odpady. Opłata ta została ustalona na poziomie 300 zł/Mg. Opłata wjazdowa za bioodpady komunalne w sąsiednich oczyszczalniach ścieków w omawianym obszarze waha się od 389 do 522 zł za Mg. Dlatego oczyszczalnia ścieków mogłaby potencjalnie pobierać wyższą opłatę wjazdową niż 300 zł, zwiększając w ten sposób swoje dochody. Ilość zbieranych odpadów komunalnych różni się w zależności od opcji, od najmniejszej w opcji 2A1 do największej w opcjach 2A4 i 2B. Dochód z opłat za wjazd różni się zatem w zależności od opcji. W opcji 2B zakład przyjmuje również odpady przemysłowe, za które może również pobierać opłatę, a tym samym opcja ta wiąże się z dodatkowym dochodem w wysokości 435 000 zł/rok. Ponieważ każda opcja obejmuje zakład przetwarzający poferment, wszystkie opcje mają dodatkowy dochód ze sprzedaży produktu poprawiającego jakość gleby. Dokładny dochód zależy od ilości surowca trafiającego do produkcji. We wszystkich opcjach w Fazie 2, część wytworzonego biogazu jest wykorzystywana do przetwarzania pofermentu. Pozostały biogaz jest wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej i ciepła, które są wykorzystywane w oczyszczalni ścieków. Produkcją własną energią elektryczną, zakład może zmniejszyć ilość kupowanej energii z sieci, a tym samym zmniejszyć swoje wydatki na energię elektryczną. Produkcja energii elektrycznej netto waha się od 1,35 GWh rocznie dla opcji 2A1 do 4,36 GWh dla opcji 2B. Podobnie szacowana redukcja wydatków na energię elektryczną waha się od około 900 000 do 3 mln PLN rocznie.

Tabela 5.18 Roczne przychody i zredukowane wydatki dla każdej opcji w Fazie 2 (PLN)

	Opcja 2A1	Opcja 2A2	Opcja 2A3	Opcja 2A4	Opcja 2B
Dochód z przyjmowania do przetworzenia w biogazowni osadów z sąsiednich oczyszczalni ścieków	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000
Dochód z przetwarzania bioodpadów komunalnych	177 428	758 705	1 517 409	2 276 114	2 276 114
Dochód z przetwarzania bioodpadów przemysłowych	-	-	-	-	435 000
Dochód ze sprzedaży produktu poprawiającego jakość gleby	58 699	64 019	70 856	77 692	98 431
Zmniejszenie kosztów energii elektrycznej	932 117	1 298 379	1 841 167	2 454 380	3 020 570
<b>Suma dochodów i zmniejszonych kosztów</b>	<b>1 668 244</b>	<b>2 621 103</b>	<b>3 929 432</b>	<b>5 308 186</b>	<b>6 330 115</b>

Źródło: Vista Analyse i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)

Tabela 5.18 pokazuje, że całkowity roczny dochód wzrasta wraz z ilością surowca, co sprawia, że opcja 2B, która ma największą objętość surowca, jest najlepszą opcją. Ponieważ jest to teoretyczna możliwość, Faza 2 projektu wymagałaby oceny tego, co jest praktycznie osiągalne.

### 5.3.4 Rentowność

Tabela 5.19 podsumowuje Tabelę 5.18, która podaje roczny dochód i Tabelę 5.16, która podaje roczne koszty dla każdej opcji w Fazie 2 i wartość bazową produkcji biogazu. Rentowność opcji w Fazie 2 zależy zatem zarówno od kosztu inwestycyjnego, jak i rocznego przepływu środków pieniężnych.

**Tabela 5.19** Suma kosztów, przychodów i rocznych przepływów pieniężnych dla każdej opcji w Fazie 2 (mln PLN)

	Wartość bazowa	Opcja 2A1	Opcja 2A2	Opcja 2A3	Opcja 2A4	Opcja 2B
Koszty inwestycji	-	68.99	68.99	68.99	71.79	71.79
Roczne koszty operacyjne	8.81	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73
Roczne dochody	-	1.23	1.53	1.95	2.41	3.15
Roczny przepływ środków pieniężnych	-8.81	-3.50	-3.20	-2.78	-2.32	-1.58
<b>Roczny przepływ środków pieniężnych w porównaniu do wartości bazowej</b>	-	5.31	5.61	6.03	6.49	7.23

Źródło: Vista Analyse i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)

Na podstawie przeglądu przedstawionego w Tabeli 5.19, opcja 2B jest najbardziej korzystna w porównaniu z sytuacją bazową. Dodatkowe koszty inwestycyjne, wynikające z potrzeby zapewnienia przetworzenia w procesie większej objętości substratu, są przeważone przez generowany dochód. Wszystkie opcje mają ujemny roczny przepływ środków pieniężnych, co oznacza, że koszt inwestycji w połączeniu z rocznymi kosztami operacyjnymi jest wyższy niż roczny dochód. Pomimo, że wszystkie opcje w Fazie 2 mają ujemny roczny przepływ środków pieniężnych, inwestycja może być uzasadniona, ponieważ każda z analizowanych opcji jest lepsza niż obecna sytuacja. Opcja 2B jest najbardziej opłacalna w porównaniu z sytuacją bazową.

### Wartość bieżąca netto

Obliczając wartość bieżącą netto zarówno dla sytuacji bazowej, jak i wszystkich opcji w Fazach 1 i 2, zakładamy stopę dyskontową wynoszącą 6 procent i okres trwania projektu wynoszący 20 lat. Jak widać w tabeli 5.20, wszystkie opcje zarówno w Fazie 1, jak i Fazie 2 mają ujemną wartość bieżącą netto.

**Tabela 5.20** Wartość bieżąca netto w mln PLN

Wartość bazowa	Faza 1			Faza 2					
	Opcja 1A	Opcja 1B	Opcja 1C	Opcja 2A1	Opcja 2A2	Opcja 2A3	Opcja 2A4	Opcja 2B	
<b>Wartość bieżąca netto</b>	-101.07	-125.33	-107.96	-110.71	-109.15	-105.71	-100.88	-98.44	-89.96

Źródło: Vista Analyse i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)



Tabela 5.21 przedstawia wartość bieżącą netto dla każdej opcji zarówno w Fazie 1, jak i Fazie 2 - w porównaniu do sytuacji bazowej. Przy założeniu stopy dyskontowej wynoszącej 6 procent i czasu trwania projektu wynoszącego 20 lat, wszystkie opcje w Fazie 1 mają niższą wartość bieżącą netto niż wartość bazowa. Patrząc na Fazę 2, opcje stają się lepsze w miarę wzrostu objętości surowca. Opcje 2A1 i 2A2 nadal mają niższą wartość bieżącą netto niż wartość bazowa i dlatego przy przyjętych założeniach nie byłyby rentowne. Opcje 2A3, 2A4 i 2B to wszystkie rentowne inwestycje, przy rosnącej wartości bieżącej netto, a 2B jest najlepszą opcją o wartości bieżącej netto wynoszącej 11 milionów PLN.

**Tabela 5.21** Wartość bieżąca netto w porównaniu do sytuacji bazowej (mln PLN)

	Wartość bazowa	Faza 1			Faza 2				
		Opcja 1A	Opcja 1B	Opcja 1C	Opcja 2A1	Opcja 2A2	Opcja 2A3	Opcja 2A4	Opcja 2B
<b>Wartość bieżąca netto</b>	-	-24.27	-6.89	-9.65	-8.09	-4.65	0.19	2.63	11.10

Źródło: Vista Analyse i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023)

Tabela 5.22 przedstawia wartość bieżącą netto opcji w Fazie 2, przy różnych stopach dyskontowych w porównaniu do wartości bazowej, gdy okres trwania projektu wynosi 20 lat.

**Tabela 5.22** Wartość bieżąca netto dla różnych stóp dyskontowych przy okresie trwania projektu 20 lat w porównaniu do wartości bazowej (mln PLN)

	Faza 2				
	Opcja 2A1	Opcja 2A2	Opcja 2A3	Opcja 2A4	Opcja 2B
<b>12 %</b>	-29.33	-27.09	-23.94	-23.33	-17.81
<b>10 %</b>	-23.78	-21.23	-17.64	-16.55	-10.26
<b>8 %</b>	-16.86	-13.91	-9.77	-8.09	-0.83
<b>6 %</b>	-8.09	-4.65	0.19	2.63	11.10
<b>4 %</b>	3.17	7.25	12.98	16.39	26.43

Źródło: Vista Analyse i IOŚ-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023),

### Czas trwania projektu

Tabela 5.23 poniżej podsumowuje minimalny okres trwania w latach, gdy zakładamy stopę dyskontową na poziomie 6%. Widzimy, że opcja 2A3, 2A4 i 2B są lepszymi opcjami niż linia bazowa, jeśli czas trwania projektu wynosi 20 lat. Aby faza 2A1 była lepszą opcją, czas trwania projektu musi wynosić co najmniej 26 lat, podczas gdy w przypadku fazy 2A2 czas trwania musi wynosić co najmniej 23 lata.

Tabela 5.23 Minimalny czas trwania projektu, aby opcje w Fazie 1 i Fazie 2 były bardziej opłacalne niż opcja bazowa

Opcja	Faza 1			Faza 2				
	1A	1B	1C	2A1	2A2	2A3	2A4	2B
Minimalny czas trwania projektu w latach	nigdy	26	29	26	23	20	19	16

Źródło: Vista Analize i IOS-PIB na podstawie AL-PROJEKT (2023). Gdy stopa dyskontowa wynosi 6%, a wszystkie koszty i dochody są stałe

### Wewnętrzna stopa zwrotu

Tabela 5.24 podsumowuje wewnętrzną stopę zwrotu dla każdej opcji w Fazie 1 i Fazie 2 w porównaniu do wartości bazowej. Wewnętrzna stopa zwrotu wskazuje maksymalną stopę dyskontową, którą można założyć, a projekt nadal jest lepszą opcją niż sytuacja bazowa.

Tabela 5.24 Wewnętrzna stopa zwrotu dla opcji w fazie 1 i fazie 2 w porównaniu do linii bazowej

Opcja	Faza 1			Faza 2				
	1A	1B	1C	2A1	2A2	2A3	2A4	2B
Wewnętrzna stopa zwrotu (%)	0.09	4.66	4.10	4.51	5.15	6.03	6.44	7.84

Źródło: Vista Analize i IOS-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023). Gdy żywotność projektu wynosi 20 lat, a wszystkie koszty i dochody są stałe

### Zwiększone koszty inwestycji

Tabela 5.25 pokazuje maksymalny dopuszczalny wzrost kosztów dla każdej opcji w Fazie 2, który nadal czyniłby opcje korzystniejsze niż opcja bazowa. Jak widać w poniższej tabeli, opcja 2A1 i 2A2 nigdy nie będzie bardziej opłacalna niż opcja bazowa. Opcja 2A3 obecnie przynosi mniej więcej taki sam zysk jak opcja bazowa (np. taka sama strata przy stopie dyskontowej 6%, porównaj Tabelę 5.20), ale jeśli koszty nieznacznie wzrosną, może stać się mniej opłacalna niż opcja bazowa. Opcja 2A4 ma nieco wyższą marżę, a 2B wydaje się być najbezpieczniejszą opcją.

Powyżej zauważyliśmy, że dodatkowy bioreaktor zwiększy koszt opcji 2A4 i 2B o blisko 11 procent. Opcja 2B pozostanie opłacalna, nawet jeśli tak się stanie.

Tabela 5.25 Zwiększone koszty inwestycji (w %) w porównaniu do opcji bazowej

Opcje	Faza 2				
	2A1	2A2	2A3	2A4	2B
% wzrostu	nigdy	nigdy	0.03	3.7	15.5

Źródło: Vista Analize i IOS-PIB na podstawie AL-PROJEKT (2023). Gdy okres trwania projektu wynosi 20 lat, a wszystkie inne koszty i dochody są stałe.

## 5.4 Minimalna dotacja na 10-12 procent realnej stopy zwrotu

Chociaż wewnętrzne stopy zwrotu najlepszych opcji w Fazie 1 i Fazie 2 są znaczące, mogą się one nadal wydawać niskie z perspektywy prywatnego inwestora. W przypadku inwestycji społecznych, takich jak biogazownia, racjonalne jest, aby sektor publiczny (na szczeblu lokalnym, krajowym i/lub UE) wniósł dotację pokrywającą część kosztów inwestycji. Dotacja może uwolnić fundusze prywatne, które „zwiększają” wkład publiczny, jednocześnie zabezpieczając dla sektora prywatnego oczekiwaną stopę zwrotu, która motywuje do inwestycji. Dotacja może przybierać różne formy. Jedną z opcji jest dotacja z góry. Inną opcją jest pożyczka koncesyjna, w której wartość bieżąca różnicy stóp zwrotu stanowi dotację. Gdy istnieje kilku potencjalnych operatorów biogazowni, sektor publiczny może zorganizować aukcję, aby sprawdzić, kto potrzebuje najniższej dotacji. Gdy biogazownia jest w stanie sprzedawać energię elektryczną, element dotacji może przybrać formę taryfy gwarantowanej lub premii gwarantowanej (patrz sekcja 1.2 dotycząca polskich przepisów). Biogazownia w Tomaszowie Mazowieckim nie sprzedawałaby energii elektrycznej netto, ale może to robić brutto.

Dla naszych celów obliczyliśmy element dot. dotacji jako dotację z góry, konieczną do prywatnej stopy zwrotu wynoszącej 10 i 12 procent (rzeczywistej). Tabela 5.26 pokazuje, jaka musi być minimalna dotacja dla dwóch najlepszych opcji w Fazie 1 i 2, aby przyniosły one dodatni zwrot w porównaniu do wartości bazowej, gdy okres życia projektu wynosi 20 lat.

**Tabela 5.26 Minimalna dotacja dla dwóch najlepszych opcji w Fazie 1 i 2, aby były rentowne (mln PLN)**

	Faza 1		Faza 2	
	Opcja 1B	Opcja 1C	Opcja 2A4	Opcja 2B
12 %	27.22	29.02	23.33	17.81
10 %	21.92	23.96	16.55	10.26

Źródło: Vista Analise i IOS-PIB, na podstawie AL-PROJEKT (2023). Minimalna dotacja w porównaniu do wartości bazowej i czas trwania projektu wynoszący 20 lat.

Z tabeli wynika, że dotacja na Fazę 1 powinna wynosić od 22 do 29 milionów PLN, aby zabezpieczyć oczekiwany prywatny zwrot na poziomie 10–12 procent. Odpowiednia dotacja na Fazę 2 powinna wynosić od 10 do 23 milionów PLN.

Innymi słowy, dotacja na Fazę 2 jest znacznie niższa niż dotacja na Fazę 1. Znaczy to, że rentowność Fazy 2 jest znacznie wyższa niż Fazy 1.

Inaczej mówiąc: *dodanie* odpadów komunalnych i ewentualnie przemysłowych w Fazie 2 w porównaniu do Fazy 1, czyli *zmiana* z Fazy 1 i przejście do Fazy 2 jest opłacalne samo w sobie. Porównanie wewnętrznych stóp zwrotu w Fazie 1 i 2 mówi nam to samo: wewnętrzna stopa zwrotu jest wyższa w Fazie 2 niż w Fazie 1, stąd dodanie odpadów komunalnych i przemysłowych jest opłacalne samo w sobie.

## 5.5 Korzyści zewnętrzne z produkcji biogazu w Tomaszowie Mazowieckim

Produkcja biogazu w procesie fermentacji beztlenowej oferuje wiele korzyści dla środowiska. Jedną z głównych korzyści jest wychwytywanie metanu ( $\text{CH}_4$ ), który w przeciwnym razie zostałby uwolniony do atmosfery. Metan jest silnym gazem cieplarnianym, którego potencjał globalnego ocieplenia (GWP) w ciągu 100 lat jest 28-36 razy większy niż dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ). Poprzez wychwytywanie i wykorzystywanie metanu z biomasy i bioodpadów, fermentacja beztlenowa zapobiega ucieczce metanu do atmosfery, łagodząc jego wpływ na zmiany klimatu. Jest to szczególnie ważne w sektorze rolniczym, w którym obornik jest znaczącym źródłem emisji metanu. Przetwarzanie obornika w zakładach fermentacji beztlenowej zmniejsza emisje z tradycyjnych praktyk zarządzania obornikiem, takich jak otwarte laguny lub przyzmy.

Inną korzyścią jest kompensacja zużycia paliw kopalnych. Metan wychwytywany podczas fermentacji beztlenowej jest przekształcany w biogaz, który można wykorzystać do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Biogaz to odnawialne źródło energii, które może bezpośrednio zastąpić paliwa kopalne, takie jak węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny, a przez to prowadzić do zmniejszenia emisji  $\text{CO}_2$  z produkcji energii.

Produkt uboczny procesu fermentacji beztlenowej - poferment, jest bogaty w składniki odżywcze i może być stosowany jako bionawóz wspierający zrównoważone praktyki rolnicze. Zastosowanie pofermentu powoduje recykling składników odżywczych z powrotem do gleby, zmniejszając potrzebę stosowania nawozów syntetycznych, których produkcja jest energochłonna i wiąże się z wysoką emisją  $\text{CO}_2$ . Poferment poprawia strukturę gleby i zwiększa zawartość materii organicznej. Poprawia również retencję wody, dostępność składników odżywczych i sekwestrację węgla w glebie.

W tym rozdziale analizujemy korzyści płynące z produkcji biogazu z osadów ściekowych oraz odpadów komunalnych (odpadów spożywczych/kuchennych) pod względem redukcji emisji gazów cieplarnianych i amoniaku ( $\text{NH}_3$ ).

Poniższa analiza przedstawia szacunki emisji gazów cieplarnianych i amoniaku z procesów związanych z produkcją biogazu w projektowanej biogazowni w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim i jego dalsze wykorzystanie. Analizy przeprowadzono dla trzech faz rozwoju obiektu i zarządzania:

- Stan wyjściowy – sytuacja bieżąca. Na podstawie danych z lat 2021-2022, dotyczących ilości wytwarzanych osadów i ich obróbki, z uwzględnieniem okresowych wyłączeń suszarni.
- Faza 1 – budowa biogazowni. W produkcji biogazu wykorzystuje się osady i tłuszcze z oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim oraz osady z sąsiednich oczyszczalni ścieków. Biogaz jest wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej i ciepła; energia elektryczna zastępuje energię elektryczną z sieci; część ciepła jest wykorzystywana na miejscu:
  - Opcja 1A. Pozostały produkt uboczny produkcji biogazu jest wykorzystywany w rolnictwie bez suszenia;
  - Opcja 1B. Poferment jest przetwarzany na miejscu poprzez suszenie przy użyciu części wytworzonego biogazu, a pozostały biogaz jest wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej i ciepła; bionawóz/produkt poprawiający jakość gleby jest wykorzystywany w rolnictwie.

- Faza 2 – rozbudowa biogazowni. W produkcji biogazu, oprócz substratów wykorzystywanych w Fazie 1, osady z pozostałych sąsiednich oczyszczalni ścieków oraz oddzielnie zbierane odpady spożywcze/kuchenne ze strumienia odpadów komunalnych są wykorzystywane jako współsubstraty. Podobnie jak w Fazie 1, biogaz jest wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej i ciepła; wyprodukowana energia elektryczna zastępuje energię elektryczną z sieci; część ciepła jest wykorzystywana na miejscu. Poferment jest przetwarzany na miejscu poprzez suszenie przy użyciu części wytworzonego biogazu, pozostały biogaz jest wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej i ciepła, a bionawóz/produkt poprawiający jakość gleby jest wykorzystywany w rolnictwie:
  - Opcja 2A Scenariusz 1. Gminy oddzielnie zbierają odpady spożywcze/kuchenne, a wszystkie odpady spożywcze/kuchenne (przy obecnym poziomie zbiórki) są wykorzystywane w biogazowni;
  - Opcja 2A Scenariusz 4. Zakłada się, że selektywna zbiórka odpadów spożywczych/kuchennych wzrasta do 75% teoretycznego potencjału i wszystkie są wykorzystywane w biogazowni.

Przedstawione opcje i scenariusze odpowiadają tym, opisanym w rozdziałach 5.2 i 5.3. Oszacowania emisji gazów cieplarnianych opierają się na metodologii IPCC (2006) i IPCC (2019). Zidentyfikowane procesy emisji gazów zostały przypisane do odpowiednich podkategorii z sektora 1.A. Działania związane ze spalaniem paliw oraz 5. Gospodarka odpadami. Metodologia dostarcza współczynników emisji, a model odpadów IPCC jest używany do oszacowania emisji ze składowania substratów, które w połączeniu z danymi dotyczącymi konkretnych przypadków pozwalają na oszacowanie emisji dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>), metanu (CH<sub>4</sub>) i podtlenku azotu (N<sub>2</sub>O).

Szacunki emisji NH<sub>3</sub> opierają się na metodologii opisanej w EIG (2023), podkategoria 5.B.1 Biologiczne przetwarzanie odpadów.

Wartości danych dotyczących aktywności opierają się na następujących założeniach:

- ze względu na dezaktywację instalacji suszenia osadów, 50% osadów wytworzonych w fazie bazowej jest przetwarzane poza oczyszczalnią ścieków przez zewnętrzną firmę poprzez kompostowanie, a 50% jest suszone na miejscu, a następnie wykorzystywane w rolnictwie;
- średni czas przechowywania produktu (wysuszony osad w sytuacji bazowej i poferment lub bionawóz/produkt poprawiający glebę w Fazach 1 i 2) wynosi 4 dni;
- 100% wytworzonego produktu (wysuszony osad w sytuacji bazowej i poferment lub bionawóz/produkt poprawiający glebę w fazach 1 i 2) jest dystrybuowane na rynek i wykorzystywane w rolnictwie;
- 100% energii elektrycznej wytworzonej ze spalania biogazu będzie wykorzystywane na miejscu;
- w Fazach 1 i 2 średnia trasa transportu produktu będzie podobna do średniej trasy transportowanych substratów (30 km);
- w opcjach i scenariuszach, w których poferment jest suszony na miejscu, wytwarzany biogaz jest wykorzystywany głównie w procesie suszenia, a z pozostałej energii biogazu generowana jest energia, która jest następnie wykorzystywana w procesie oczyszczania ścieków, zastępując energię elektryczną z sieci;
- wydajność biofiltra pochodzi z EIG (2023).

Podczas analiz przyjęto, że następujące dziesięć procesów jest źródłami emisji gazów cieplarnianych:

- Dostawa substratów (ścieki, osad, transport odpadów spożywczych/kuchennych);
- Wstępne przetwarzanie odpadów spożywczych/kuchennych;
- Oczyszczanie ścieków (bez przetwarzania osadów);
- Przetwarzanie osadów poza oczyszczalnią ścieków poprzez kompostowanie;
- Odzyskiwanie fosforu z osadów;
- Termiczna hydroliza wstępnie przetworzonych osadów;
- Fermentacja beztlenowa w biogazowni z odzyskiem energii (spalanie biogazu w silniku kogeneracyjnym);
- Obróbka osadu i pofermentu poprzez suszenie gazem ziemnym lub biogazem;
- Przechowywanie produktu na otwartej przestrzeni w oczyszczalni ścieków;
- Dystrybucja produktu (wysuszony osad w sytuacji bazowej i bionawóz/produkt poprawiający jakość gleby w Fazach 1 i 2) na rynek (transport).

W przypadku NH<sub>3</sub> źródłami emisji są procesy nr 4 i 7.

Szacunki emisji dwutlenku węgla, metanu, podtlenku azotu i amoniaku z oddzielnych procesów i źródeł emisji w Fazie 1 przedstawiono w tabeli 5.25, a w Fazie 2 - w tabeli 5.26. Przeliczenie na ekwiwalent dwutlenku węgla opiera się na wartościach współczynnika ocieplenia globalnego AR5 opublikowanych przez IPCC (2013). Dane dotyczące aktywności i wyniki szacunków emisji zostały porównane z danymi zebranymi w krajowej bazie danych KOBiZE dotyczącej emisji gazów cieplarnianych i innych substancji oraz NIR (2024)

Tabela 5.27 Szacunki emisji gazów cieplarnianych i NH<sub>3</sub> w Fazie 1 i porównanie z danymi bazowymi

Gaz	Wartość bazowa	Faza 1 Opcja 1A	Redukcja	Faza 1 Opcja 1B	Redukcja
CO <sub>2</sub> [Mg]	2 588.8	1 713.9	34%	2 730.4	-5%
CH <sub>4</sub> [Mg]	610.3	153.9	75%	255.8	58%
N <sub>2</sub> O [Mg]	184.4	27.0	85%	30.7	83%
<b>łącznie GHG [Mg CO<sub>2</sub> eq]</b>	<b>3 383.5</b>	<b>1 894.8</b>	<b>44%</b>	<b>3 016.9</b>	<b>11%</b>
<b>łącznie NH<sub>3</sub> [Mg]</b>	<b>3.31</b>	<b>0.89</b>	<b>73%</b>	<b>0.89</b>	<b>73%</b>

Źródło: IOŚ-PIB,

Tabela 5.28 Szacunki emisji gazów cieplarnianych i NH<sub>3</sub> w Fazie 2 i porównanie z wartościami bazowymi

Gaz	Wartość bazowa	Faza 2 Opcja 2A Scenariusz 1	Redukcja	Faza 2 Opcja 2A Scenariusz 4	Redukcja
-----	----------------	------------------------------------	----------	------------------------------------	----------

CO <sub>2</sub> [Mg]	2 588.8	2 607.8	-1%	2 507.1	3%
CH <sub>4</sub> [Mg]	610.3	257.2	58%	308.7	49%
N <sub>2</sub> O [Mg]	184.4	29.6	84%	27.3	85%
<b>Łącznie GHG [Mg CO<sub>2</sub> eq]</b>	<b>3 383.5</b>	<b>2 894.5</b>	<b>14%</b>	<b>2843.2</b>	<b>16%</b>
<b>Łącznie NH<sub>3</sub> [Mg]</b>	<b>3.31</b>	<b>0.90</b>	<b>73%</b>	<b>1.25</b>	<b>62%</b>

Źródło: IOŚ-PIB

Budowa biogazowni i wykorzystanie osadów jako substratów w każdej z analizowanych faz i opcji prowadzi do redukcji całkowitych emisji gazów cieplarnianych i NH<sub>3</sub>. Największą redukcję można zaobserwować w Fazie 1 opcja 1A, gdy osad, zamiast być kompostowanym, jest wykorzystywany jako substrat w procesie fermentacji beztlenowej, energia elektryczna wytwarzana z biogazu zastępuje energię elektryczną z sieci, a wytworzony poferment jest wykorzystywany w rolnictwie bez suszenia. Redukcja emisji gazów cieplarnianych (1 488,7 Mg ekwiwalentu CO<sub>2</sub>, 44% w porównaniu do wartości bazowej) jest głównie spowodowana zastąpieniem prawie połowy energii o wysokiej emisji z paliw kopalnych energią z biogazu. W przypadku emisji NH<sub>3</sub>, 73% redukcji w porównaniu do wartości bazowej osiągnięto poprzez zarządzanie osadami w zamkniętym procesie fermentacji beztlenowej zamiast otwartego kompostowania.

W opcji 1B redukcje GHG są znacznie mniejsze (11% w porównaniu do wartości bazowej), ze względu na energochłonny proces suszenia pofermentu w celu wytworzenia produktu poprawiającego glebę. W Fazie 2, gdy produkcja biogazu jest wyższa i możliwe jest zastąpienie energią z biogazu większej części energii elektrycznej z sieci, redukcje GHG są wyższe niż w opcji 1B – odpowiednio 14% i 16% w scenariuszu 1 opcji 2A i scenariuszu 4 opcji 2A.

W tabeli 5.27 przedstawiono szacunki emisji GHG i NH<sub>3</sub> oraz możliwą redukcję w Fazie 2 w sytuacjach bez suszenia pofermentu.

Tabela 5.29 Szacunki emisji GHG i NH<sub>3</sub> w Fazie 2 i porównanie do wartości bazowej, bez suszenia pofermentu

Gaz	Wartość bazowa	Faza 2	Redukcja	Faza 2	Redukcja
		Opcja 2A Scenariusz 1		Opcja 2A Scenariusz 4	
CO <sub>2</sub> [Mg]	2 588.8	1 598.9	38%	1 158.6	55%
CH <sub>4</sub> [Mg]	610.3	154.5	75%	165.3	73%
N <sub>2</sub> O [Mg]	184.4	26.0	86%	22.5	88%
<b>Łącznie GHG [Mg CO<sub>2</sub> eq]</b>	<b>3 383.5</b>	<b>1 779.4</b>	<b>47%</b>	<b>1 346.4</b>	<b>60%</b>
<b>Łącznie NH<sub>3</sub> [Mg]</b>	<b>3.31</b>	<b>0.90</b>	<b>73%</b>	<b>1.25</b>	<b>62%</b>

Źródło: IOŚ-PIB

Sytuacja, w której poferment mógłby być zagospodarowany bez konieczności suszenia, pozwoliłaby na zwiększenie redukcji gazów cieplarnianych w porównaniu do poziomu bazowego z 14% i 16% (Tabela 5.26) do 47% i 60%, przy zwiększeniu ilości produkowanego biogazu.

Sektor elektroenergetyczny jest objęty systemem EU ETS, stąd cena zakupionej energii elektrycznej powinna obejmować płatność za emisję CO<sub>2</sub>. Energia elektryczna stanowi główną część oszczędności kosztów energii (sekcja 5.2.5). CO<sub>2</sub> i ekwiwalenty CO<sub>2</sub> związane z ciepłem mogą znajdować się w systemie ETS lub poza nim, w zależności od okoliczności. CH<sub>4</sub> i N<sub>2</sub>O są poza systemem EU ETS.

W tym raporcie zakładamy, że połowa emisji ekwiwalentu CO<sub>2</sub> jest wyłączona z oszczędności kosztów zgłoszonych powyżej. Cena w systemie EU ETS wynosi obecnie około 80 euro za tonę, ale wykazuje tendencję wzrostową równoległą z coraz bardziej rygorystycznym pułapem emisji w UE. Tutaj zakładamy 100 EUR/tonę podczas eksploatacji zakładu. 100 € to 430 PLN.

Łącząc 750 ton nieuwzględnionych redukcji emisji i 430 PLN za tonę szacujemy około 0,3 mln zł jako wartość zewnętrzną emisji CO<sub>2</sub>, czyli wartość, która nie jest uwzględniona w oszczędnościach kosztów podanych powyżej. W analizie społecznej kwotę tę należy dodać do rzeczywistych oszczędności kosztów opisanych powyżej.

Oprócz wpływu na emisje CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> i N<sub>2</sub>O, projekt przyczyni się do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego i silnego systemu energetycznego. Ograniczenie negatywnego wpływu na klimat jest wartością samą w sobie. W przypadku inwestycji publicznych powinno to mieć znaczenie, niezależnie od formalnych warunków, które przekładają się na ekonomiczną efektywność inwestycji.



## 6 Podsumowanie

Na podstawie analizy dokonujemy następujących obserwacji:

- MOFTMO posiada znaczny potencjał produkcji biogazu rolniczego, częściowo realizowany przez już funkcjonujące biogazownie. Mapowanie potencjału biogazu rolniczego wskazuje, że w prawie każdej gminie może działać co najmniej jedna biogazownia o mocy 0,5 MW. Ze względu na fakt, że przeważające na tym obszarze gospodarstwa są małe z ograniczoną populacją zwierząt, potrzebna jest współpraca między interesariuszami z sektora rolnego. Jednym ze sposobów nawiązania współpracy w sektorze rolnym jest spółdzielnia energetyczna. Spółdzielnie umożliwiłyby wykorzystanie ekonomii skali istniejącej w sektorze produkcji biogazu. Spółdzielnie mogłyby również korzystać ze wsparcia funkcjonującego w Polsce systemu wsparcia, który sprzyja sektorowi rolnemu.
- Potencjał biogazowy sektora komunalnego jest znacznie mniejszy niż rolniczego. Ponadto instalacje do produkcji biogazu wykorzystujące substraty z sektora komunalnego (osady ściekowe, frakcja organiczna odpadów komunalnych), ze względu na wymaganą obróbkę wstępną surowca, ponoszą wyższe koszty inwestycyjne i operacyjne niż inne instalacje.
- W MOFTMO inwestycja w produkcję biogazu na terenie miejskiej oczyszczalni ścieków jest możliwa w Tomaszowie Mazowieckim, gdzie znajduje się największa oczyszczalnia ścieków w okolicy. Inwestycja w biogazownię może być ważnym krokiem dla oczyszczalni ścieków na drodze do osiągnięcia samowystarczalności energetycznej. Wykorzystanie w biogazowni komunalnych osadów ściekowych wytwarzanych w oczyszczalni ścieków z dodatkiem osadów z separatorów tłuszczu, ścieków z przemysłu rolniczego i osadów z sąsiednich oczyszczalni ścieków, mogłoby wyprodukować energię pokrywającą ok. 50% zapotrzebowania na energię. 50% zapotrzebowania oczyszczalni na energię. Analiza wskazuje, że bez kofermentacji (dodawania innych substratów oprócz osadów ściekowych), biogazownie zlokalizowane w oczyszczalniach ścieków nie pozwolą oczyszczalni ścieków stać się samowystarczalnymi energetycznie. Obserwacja ta oznacza, że dostępne dotacje/pożyczki dla sektora komunalnego nie powinny zmniejszać wsparcia poprzez ograniczanie akceptowanych substratów do jednego strumienia (np. tylko rolniczego, tylko osadów ściekowych, tylko frakcji organicznej odpadów komunalnych), jak to czasami ma miejsce.
- Wyniki przeprowadzonej analizy ekonomicznej, choć uproszczone i zależne od przyjętych założeń, wskazują, że również opłacalność produkcji biogazu w planowanej przy oczyszczalni w Tomaszowie Mazowieckim biogazowni może znacząco wzrosnąć, gdy jako substrat zostaną uwzględnione odpady komunalne lub przemysłowe. Możliwość pobierania opłat za przetwarzanie odpadów może zapewnić biogazowni dodatkowy dochód. Wstępna obróbka odpadów komunalnych lub przemysłowych wymaga poniesienia kosztów inwestycyjnych. Jednak dodatkowy dochód z opłat za bramę i wyższa produkcja biogazu skutkująca większymi oszczędnościami energii sprawiają, że opcja ta jest opłacalna, co potwierdza również przykład biogazowni na oczyszczalni ścieków w Regionalnym Centrum Gospodarki Wodno-Ściekowej w Tychach.
- W zarządzaniu energią biogazowni, możliwość wykorzystania, a najlepiej sprzedaży, nadmiaru ciepła produkowanego w kogeneracji (CHP) wpływa na opłacalność inwestycji. Znalezione zastosowanie dla nadmiaru ciepła może poprawić zarówno rentowność, jak i spo-

teczną akceptacją instalacji. Może również zmniejszyć wpływ na środowisko i klimat, ponieważ niewykorzystana nadwyżka ciepła po prostu ogrzewa powietrze. Można rozważyć uwzględnienie pełnego wykorzystania ciepła jako warunku w umowach pożyczki/dotacji. Jednak w przypadku biogazowni w sektorze komunalnym, wykorzystanie nadmiaru ciepła jest często utrudnione przez lokalizację instalacji - zwykle w odległości od możliwych punktów użytkowania.

- Potrzeba współpracy jest szczególnie istotna w sektorze komunalnym. Opcja, w której osady z oczyszczania ścieków są współfermentowane z innymi substratami, wymaga współpracy z potencjalnymi dostawcami współsubstratów. Wykorzystanie nadmiaru ciepła wytwarzanego podczas produkcji energii w kogeneracji wymaga współpracy z potencjalnymi odbiorcami ciepła. Konieczne jest również znalezienie rynków zbytu dla pofermentu, co wymaga współpracy z, najlepiej lokalnymi, odbiorcami pofermentu. Interesariusze w sektorze komunalnym mogliby współpracować jako klaster energetyczny, wykorzystując wsparcie oferowane przez nowe rozporządzenie w tej dziedzinie. Rozwój struktury sieciowej wokół inwestycji w biogazownie może przyczynić się do wzrostu znaczenia biogazu w gospodarce energetycznej regionu.
- Sposób traktowania pofermentu, zarówno pod względem prawnym (jako środek poprawiający jakość gleby lub jako odpad), jak i technologicznym (czy wymaga on energochłonnej obróbki przed użyciem) ma wpływ na rentowność biogazowni. Jest to wyraźnie widoczne zarówno w Fazie 1, jak i Fazie 2 w oczyszczalni ścieków w Tomaszowie Mazowieckim. Konieczna jest poprawa regulacji i warunków wykorzystania pofermentu w rolnictwie.
- Produkcja biogazu w procesie fermentacji beztlenowej oferuje wiele korzyści środowiskowych, łagodząc wpływ gospodarki odpadami na środowisko i zmiany klimatyczne. Ważną korzyść - wychwytywanie metanu uwalnianego w procesie - jest szczególnie istotna dla sektora rolniczego, w którym odchody zwierzęce są znaczącym źródłem emisji metanu. Przetwarzanie obornika w zakładach AD zmniejsza emisje z tradycyjnych praktyk zarządzania obornikiem, takich jak otwarte laguny lub stosy. Kolejną korzyścią jest kompensacja zużycia paliw kopalnych. Energia elektryczna i ciepło wytwarzane z biogazu mogą zastąpić paliwa kopalne, takie jak węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny, prowadząc do zmniejszenia emisji dwutlenku węgla z produkcji energii. Wykorzystanie pofermentu jako produktu poprawiającego jakość gleby wspiera zrównoważone praktyki rolnicze prowadzące do recyklingu składników odżywczych z powrotem do gleby, zmniejszając zapotrzebowanie na nawozy syntetyczne, poprawiając strukturę gleby i zwiększając zawartość materii organicznej.

# Literatura

- Bachmann, N, (2015) *Sustainable biogas production in municipal wastewater treatment plants*, IEA Bioenergy Task 37 report,
- Budzianowski, W,M, (2016) *A review of potential innovations for production, conditioning and utilization of biogas with multiple-criteria assessment*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54, p, 1148–1171, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.054>
- Guidehouse (2022), *Biomethane production potentials in the EU*, A Gas for Climate report, [https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2023/12/Guidehouse\\_GfC\\_report\\_design\\_final\\_v3.pdf](https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2023/12/Guidehouse_GfC_report_design_final_v3.pdf)
- Holewa-Rataj, J, Kukulska-Zajac, E, (2022) *Biogaz rolniczy w Polsce – produkcja i możliwości wykorzystania / Agricultural biogas in Poland – production and possible applications*, *Nafta-Gaz*, 12, p, 872–877, <https://doi.org/10.18668/NG.2022.12.03>
- Meld, St, 13 (2020-2021), *Klimaplan for 2021-2030*, The Norwegian Ministry of Climate and Environment, <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld,-st,-13-20202021/id2827405/>
- Krasucka E,, Oniszk-Popławska A, (2013) *Recykling organiczny i odzysk energii z segregowanych u źródła bioodpadów pochodzenia komunalnego, Przewodnik przedsiębiorcy, Technologie przetwarzania selektywnie zbieranych bioodpadów pochodzenia komunalnego – fermentacja metanowa*, Projekt “Naukowcy dla gospodarki Mazowsza”,
- EIG (2023) *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023*,
- IPCC (2006) *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H,S,, Buendia L,, Miwa K,, Ngara T, and Tanabe K, (eds), Published: IGES, Japan,
- IPCC (2019) *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Calvo Buendia, E,, Tanabe, K,, Kranjc, A,, Baasansuren, J,, Fukuda, M,, Ngarize, S,, Osako, A,, Pyrozhenko, Y,, Shermanau, P, and Federici, S, (eds), Published: IPCC, Switzerland,
- IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T,F,, D, Qin, G,-K, Plattner, M, Tignor, S,K, Allen, J, Boschung, A, Nauels, Y, Xia, V, Bex and P,M, Midgley (eds,)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp,
- NIR (2024) *Poland’s National Inventory Report 2024, Greenhouse gas inventory 1988-2022, Submission under the UN FCCC and its Kyoto Protocol*, Warsaw, 2024,
- Favoino E,, Giavini M, (2020) *Bio-waste generation in the EU: Current capture levels and future potential*, Bio-based Industries Consortium (BIC),
- Statistics Poland, Bank Danych Lokalnych: <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/start>

- Normatywy produkcji rolniczej: <https://poznancdr.gov.pl/normatywy/wstep.html>
- Kuś J., Madej A., Kopiński J, (2006) *Bilans słomy w ujęciu regionalnym*, Studia i Raporty IUNG-PIB Puławy, 3,
- ARIMR (The Agency for Restructuring and Modernisation of Agriculture) Database: <https://rejestrupraw.arimr.gov.pl/>
- Jacyszyn J, (2021) 'The Biogas Sector in Poland as Compared to Other European Countries', *Energy Policy Studies*, 2021, nr 1(7), pp, 27-40,
- Jasiulewicz M., Janiszewska D, A, (2013) 'Potencjalne możliwości rozwoju biogazowni na przykładzie województwa zachodniopomorskiego', *Inżynieria Rolnicza*, 2(1), pp, 91-102,
- Jarosz Z, (2016) 'Potencjał techniczny słomy w Polsce i efekty środowiskowe jej alternatywnego wykorzystania', *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 18(1), pp, 84-89,
- Niekurzak M, (2022) 'Analiza możliwości rozwoju i wykorzystania potencjału biogazu rolniczego na cele energetyczne w Polsce', *Nauka – Technika – Technologia*, 2, pp, 135-148,
- Podgórska M., Narloch P, (2022) 'Przegląd metod oczyszczania biogazu do biometanu', *Rynek Energii* Nr 6(163), pp 16-23,
- Kasinath, A., Müller, W., Schneider, I., Gerke, F., & Bockreis, A, (2015) 'Waste Separation Press (WSP): A mechanical pretreatment option for organic waste from source separation', *Waste Management*, 39, pp, 71-77, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.024>
- Kasinath, A., Fudala-Ksiazek, S., Szopinska, M., Bylinski, H., Artichowicz, W., Remiszewska-Skwarek, A., & Luczkiewicz, A, (2021) 'Biomass in biogas production: Pretreatment and codigestion', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111509, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111509>
- Kowalczyk-Juśko A, (2013) 'Biogazownie szansą dla rolnictwa i środowiska', Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa, p, 91,
- Kowalczyk-Juśko A., Dach J, (2022) 'Biogazownie jako element dochodzenia do neutralności emisyjnej rolnictwa', *Biogaz w Polsce Raport 2022*, Magazyn Biomasa, pp, 41-45,
- Grosser, A., Neczaj, E., Singh, B., Almås, Å., Brattembø, H., & Kacprzak, M, (2017) 'Anaerobic digestion of sewage sludge with grease trap sludge and municipal solid waste as co-substrates', *Environmental Research*, 155, pp, 249-260, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.02.007>
- IOŚ-PIB (2022) Morfologia odpadów komunalnych wytwarzanych w Polsce w systemie gminnym, <https://ios.edu.pl/wp-content/uploads/2022/08/ios-pib-morfologia-odpadow-komunalnych-wytwarzanych-w-polsce-w-systemie-gminnym.pdf>
- Polish database on products, packaging and waste management (Polish BDO), <https://rejestr-bdo.mos.gov.pl/>

# Załączniki

## A Potencjał produkcji metanu z wybranych substratów

Tabela A.1 Potencjał produkcji metanu z wybranych substratów

Jednostka danych	Zawartość suchej masy [%]	Zawartość suchej masy organicznej [%]	Produkcja metanu z suchej materii organicznej [m <sup>3</sup> /Mg s.m.o.]
Odpady z przemysłu piekarniczego	87.7	97.1	403.4
Osad z miejskiej oczyszczalni ścieków(*)	4.4	83.4	212.8
Biodegradowalne odpady komunalne	60.3	55.0	396.8 75-390(**)
Odpady spożywcze i kuchenne	18.9 15-25(**)	71.9 85-94(**)	530.0 90-305(**)
Skrawki roślin i trawy (zieleń miejska)	23.2	88.2	489.7 310-408(**)
Słoma	87.5	87.0	387.5
Siano	87.8	89.6	417.9
Kiszonka z kukurydzy	32.6	90.8	317.6
Nawóz bydlęcy	23.7	76.4	249.4
Gnojowica bydlęca	9.5	77.4	225.5
Nawóz świński	23.8	79.9	228.0
Gnojowica świńska	6.6	76.1	301.0
Nawóz drobiowy	30,3	72,7	230,0
Gnojowica drobiowa	15,0	75,6	320,0

Źródło: Curkowski et al, 2009; except (\*) AL-PROJEKT, 2023, (\*\*) Krasucka E, Oniszk-Popławska A, (2013).



VISTA  
ANALYSE

Vista Analyse AS  
Meltzers gate 4  
0257 Oslo

[post@vista-analyse.no](mailto:post@vista-analyse.no)  
[vista-analyse.no](http://vista-analyse.no)