

Grzegorz Kołodziejak  
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

## Możliwości wykorzystania potencjału energetycznego biogazu powstającego w trakcie procesu oczyszczania ścieków. Analiza opłacalności proponowanych rozwiązań

### Technologia oczyszczania ścieków – proces powstawanie biogazu w oczyszczalniach ścieków

Biogaz w oczyszczalniach ścieków powstaje podczas fermentacji osadu ściekowego w wydzielonych komorach fermentacyjnych (WKF), zwanych również zamkniętymi komorami fermentacyjnymi (ZKF).

Osady ściekowe są naturalnym produktem oczyszczania ścieków. Wydzielanie osadu ze ścieków jest nieodłączną częścią procesu ich oczyszczania i wiąże się ze wszystkimi metodami oczyszczania. Osady ściekowe wykazują dużą zmienność składu chemicznego, zależną od właściwości ścieków, technologii oczyszczania i przeróbki osadów. Znaczny wpływ na skład osadów mają również takie czynniki jak: struktura społeczna ludności czy charakter geograficzny miejscowości, z których pochodzą ścieki. Technologie stosowane w latach wcześniejszych wykorzystywały przeważnie procesy mechanicznego oczyszczania ścieków, w związku z tym ilości powstających osadów były dużo mniejsze.

W celu unieszkodliwienia niebezpiecznych mikroorganizmów oraz substancji organicznych zawartych w osadzie zebranym w oczyszczalniach, osad poddaje się fermentacji z udziałem bądź też bez udziału tlenu. W osadzie po fermentacji zawartość substancji organicznych spada co najmniej o 30%, korzystnie maleje uwodnienie osadu, powodując wzrost masy substancji stałej w osadzie do 6÷7%. Przefermentowany osad ściekowy ma barwę czarną – od zawartości siarczków i substancji ziemistych humusowych. Jest to osad zmineralizowany, zhumifikowany, o wysokich wartościach nawozowych. Osad dużo łatwiej się odwadnia i nie wydziela nieprzyjemnych woni w czasie składowania

po odwodnieniu. Produktem ubocznym stosowania fermentacji beztlenowej jest powstawanie biogazu. Wytworzony gaz palny zmniejsza ilość substancji organicznej do wartości 40÷50% udziału masowego. Zmiany te skutkują jednak obniżeniem wartości opałowej osadu.

Fermentacja metanowa zachodząca w WKF bez udziału tlenu jest biochemicznym procesem gazyfikacji złożonych wielkocząsteczkowych substancji organicznych (białek, węglowodanów i tłuszczów) bez obecności tlenu. Produktem procesu jest gaz, którego podstawowymi składnikami są metan i ditlenek węgla.

Proces fermentacji osadów ściekowych jest procesem znacznie bardziej zintensyfikowanym od biodegradacji zachodzącej na składowisku odpadów. Szczególnie dzieje się tak w warunkach rzeczywistej fermentacji beztlenowej, tj. w obecności bardzo niewielkiej ilości tlenu. W tabelicy 1 przedstawiono ilości oraz skład otrzymanego biogazu po przefermentowaniu różnych rodzajów substancji organicznych będących składnikami osadu ściekowego oraz samego osadu w warunkach laboratoryjnych.

Niestety, o ile mamy wpływ na ilość otrzymywanego na oczyszczalni osadu (zastosowanie lepszych technologii oczyszczania ścieków powoduje wzrost ilości otrzymanego osadu, a tym samym wyższy stopień oczyszczenia wód ściekowych), o tyle w praktyce nie mamy wpływu na to, jaki produkt w postaci osadu otrzymujemy, ponieważ jego skład chemiczny zależy jedynie od jakości dopływających ścieków.

Tablica 1. Ilość i skład biogazu otrzymanego z 1 kg suchej masy substratu wyjściowego (wyniki laboratoryjne) [1]

Rodzaj substratu	Ilość otrzymanego biogazu [dm <sup>3</sup> ]	Stężenie głównych składników biogazu	
		metanu (CH <sub>4</sub> ) [%]	ditlenku węgla (CO <sub>2</sub> ) [%]
Skrobia, celuloza	825	50	50
Węglowodany	790	50	50
Tłuszcze	1250	68	32
Białka	704	71	29
Osad ściekowy	875÷1020	63,8÷66,7	33,3÷36,2

### Potencjał energetyczny biogazu powstającego w oczyszczalniach w Polsce

Proces stabilizacji beztlenowej osadów w oczyszczalniach ścieków powoduje powstawanie biogazu. Należy zatem dążyć do powszechnego stosowania wydzielonych komór fermentacyjnych, co pozwala na wykorzystanie gazu do produkcji energii.

Ilość powstających osadów uzależniona jest od:

- zawartości zanieczyszczeń w ściekach,
- zastosowanej technologii oczyszczania,
- reagentów stosowanych w procesie oczyszczania ścieków i przeróbki osadów (wzrost ilości osadów nawet o 25÷35%).

Do bezpośredniej produkcji biogazu najlepiej dostosowane są oczyszczalnie biologiczne, które mają zastosowanie we wszystkich oczyszczalniach ścieków komunalnych oraz w części oczyszczalni przemysłowych. W średnich i dużych oczyszczalniach ścieków jedną z podstawowych metod zagospodarowywania osadów ściekowych jest ich fermentacja w wydzielonych (zwanych czasami zamknię-

tymi) komorach fermentacyjnych (WKF, ZKF). Pomiarzy przeprowadzone w oczyszczalniach wykazały, że z 1 Mg ścieków komunalnych uzyskuje się do 600 m<sup>3</sup> biogazu, w przeliczeniu na 1 Mg suchej masy [2]. Dla najkorzystniejszych warunków stosunek ten określono w wysokości 200 m<sup>3</sup> wytworzonego biogazu na 1000 m<sup>3</sup> wpływających do oczyszczalni ścieków, w przeliczeniu na ścieki pochodzące wyłącznie z sektora komunalnego. Przy obliczaniu potencjału technicznego stosunek ten przyjmuje się jednak niższy – w wysokości 100 m<sup>3</sup> wytworzonego biogazu na 1000 m<sup>3</sup> rzeczywiście wpływających do oczyszczalni ścieków.

Realizacja Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK) i związane z tym objęcie do końca 2015 roku prawie wszystkich aglomeracji o równoważnej liczbie mieszkańców (RLM), od 2000 do 100 000 i więcej, systemami kanalizacji sanitarnej (we wszystkich aglomeracjach o RLM ≥ 15000 systemy kanalizacji zbiorczej

Tablica 2. Prognoza ilości biogazu powstającego w oczyszczalniach ścieków w roku 2015

Wielkość aglomeracji	Liczba oczyszczalni ścieków (prognoza na rok 2015)	RLM obsługiwanych siecią kanalizacyjną (prognoza na rok 2015) w:		Ilość oczyszczonych ścieków <sup>1</sup>	Ilość powstającego biogazu <sup>2</sup>	Średnia ilość biogazu powstającego na jednej oczyszczalni	
		[RLM]	[%]			[m <sup>3</sup> /rok]	[m <sup>3</sup> /h]
≥ 100 000	136	21 274 754	56	1 553,1	232 958 556	1 712 931	196
15 000÷100 000	402	12 164 969	32	888,0	133 206 411	331 359	38
2000÷15 000	991	4 574 718	12	250,5	37 569 872	37 911	4
Łącznie	1 529	38 014 441	100	2691,6	403 734 838	-	-

<sup>1</sup> Przy założeniu eksploatacyjnego wskaźnika jednostkowego ilości ścieków litrów/Mieszkańca i dobę w wysokości 150 l/M.d dla aglomeracji o RLM wynoszącej ≤ 15 000 oraz 200 l/M.d dla aglomeracji o RLM wynoszącej > 15 000.

<sup>2</sup> Przy założeniu produktywności gazowej w wysokości 150 m<sup>3</sup> na każde 1000 m<sup>3</sup> doprowadzonych ścieków.

już istnieją) skutkować będzie bezpośrednio znacznym wzrostem ilości wytwarzanych ścieków, a co za tym idzie – osadów ściekowych. Zapisy te są transpozycją ustaleń negocjacji z Unią Europejską w sektorze *Środowisko*, przeniesionych następnie do Traktatu o Akcesji Polski do Unii Europejskiej [3].

Szacuje się, że realizacja zapisów zamieszczonych w KPOŚK spowoduje do 2015 roku wzrost ilości gromadzonych ścieków o 7%, a do roku 2018 – maksymalnie nawet do 10%.

Obok budowy nowych instalacji zmianom ulegają również stosowane w oczyszczalniach technologie. Podczas ostatniego dziesięciolecia znacznie spadła ilość ścieków oczyszczana metodami mechanicznymi, zmniejszyła się również ilość ścieków oczyszczana tradycyjnymi meto-

dami biologicznymi. Spadła także znacznie ilość ścieków nieoczyszczonych, odprowadzanych do wód. Powodem takiej sytuacji była modernizacja istniejących oczyszczalni i zastąpienie tradycyjnych metod mechanicznych i biologicznych znacznie wydajniejszymi instalacjami wykorzystującymi podwyższone usuwanie biogenów. Nie pozostało to również bez wpływu na jakość oczyszczonych wód ściekowych, a tym samym – na ilość powstających osadów ściekowych.

W tablicy 2 przedstawiono prognozę ilości otrzymywanego biogazu na 2015 rok w oczyszczalniach ścieków na terenie kraju. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że jedynie w oczyszczalniach o RLM zbliżonym bądź większym od 100 000 odzysk oraz wykorzystanie biogazu może być opłacalne.

### Opis rynku energetyki odnawialnej w Polsce w zakresie oczyszczalni ścieków

Zwiększające się wymagania dotyczące stopnia oczyszczania ścieków, przeróbki i unieszkodliwiania osadów wpływają na zwiększenie zapotrzebowania oczyszczalni na ciepło i energię elektryczną. W ostatnich latach widoczny jest wyraźny wzrost zainteresowania wykorzystaniem biogazu jako dodatkowego źródła energii. Coraz częściej wykorzystywany jest on do pokrycia zapotrzebowania energetycznego procesów w biogazowni. W bilansie energetycznym bardzo ważną rolę odgrywa sposób i stopień wykorzystania biogazu do ogrzewania komór fermentacyjnych, a dopiero jego nadwyżki można wykorzystać do innych celów. Zapotrzebowanie na wewnętrzne zużycie ciepła w procesie wytwarzania biogazu dotyczy zużycia ciepła w celu podtrzymania procesu fermentacji (podgrzewania osadów ściekowych przeciętnie od temperatury 10 do 35°C). Sytuacja taka powoduje, iż biogaz wyprodukowany w WKF jest z reguły wykorzystywany na miejscu do produkcji energii cieplnej (kotły) lub – gdy jest taka możliwość – energii elektrycznej i cieplnej (jednostki kogeneracyjne). Wyjątkiem są oczywiście instalacje małe, w których produkcja biogazu jest niewielka, a co za tym idzie – jego energetyczne wykorzystanie nie przyniosłoby oczekiwanych efektów w postaci zmniejszenia kosztów zużywanej energii (zbyt duże początkowe nakłady finansowe).

Zgodnie z aktualnym Krajowym Planem Gospodarki Odpadami (KPGO) głównym celem w gospodarce osadami ściekowymi (do roku 2018) będzie przede wszystkim ograniczenie składowania osadów ściekowych, zwiększenie ilości komunalnych osadów ściekowych przetwarzanych przed wprowadzeniem do środowiska oraz osadów przekształcanych metodami termicznymi. Przewiduje się

maksymalizację stopnia wykorzystania substancji biogenych zawartych w osadach, przy jednoczesnym spełnieniu wszystkich wymogów dotyczących bezpieczeństwa sanitarnego i chemicznego. Prognozuje się, że docelowo w roku 2018 ponad 50% osadów będzie unieszkodliwianych termicznie, około 20% – kompostowanych, około 10% będzie wykorzystywanych rolniczo i przyrodniczo oraz około 10% – stosowanych do rekultywacji. Taki kierunek zagospodarowania osadów ściekowych wynika z implementacji przepisów dyrektywy 99/31/EC – dotyczących redukcji strumienia masy składowanych odpadów ulegających biodegradacji. Osady ściekowe zawierają przeciętnie 60% frakcji organicznej [3].

Możliwość dalszego rolniczego czy przyrodniczego wykorzystania osadów staje pod dużym znakiem zapytania, co wynika głównie z bardzo ostro zdefiniowanych, sukcesywnie zaniżanych dopuszczalnych stężeń metali ciężkich w osadach, co w konsekwencji ukierunkowuje ich zagospodarowanie metodami termicznymi.

Warto również pamiętać o tym, że zapisy zawarte w *Ustawie Prawo Wodne* [5] wymuszają na Polsce budowę około 21 tys. km sieci kanalizacyjnej i budowę bądź modernizację znacznej ilości oczyszczalni ścieków, czego konsekwencją będzie w 2015 r. zwiększenie strumienia osadów ściekowych w porównaniu do stanu obecnego.

Zaostrzenie norm umożliwiających rolnicze wykorzystanie przereagowanego osadu oraz konieczność zagospodarowania go w sposób inny niż składowanie na składowiskach odpadów czy rolnicze wykorzystanie spowoduje, że oczyszczalnie zmuszone będą do utylizacji osadu we własnym zakresie. W oczyszczalniach, obok obecnie bu-

dowanych instalacji do osuszania osadu oraz jednostek CHP (*Combined Heat and Power*), zaczną pojawiać się dodatkowo instalacje do termicznej obróbki osadu lub przyzakładowe kompostownie. Rozwiązania takie spowodują

dotądowy wzrost zapotrzebowania na energię (w tym wypadku energię cieplną), co przyczyni się do jeszcze bardziej zintensyfikowanego wykorzystywania źródła „darmowej” energii, jaką w oczyszczalniach jest biogaz.

### Analiza ekonomiczna wybranych technologii wykorzystania biogazu powstającego w oczyszczalniach ścieków

Głównym czynnikiem decydującym o możliwości oraz sposobie wykorzystania biogazu w oczyszczalniach ścieków jest liczba mieszkańców, jaką obsługuje oczyszczalnia, co bezpośrednio przekłada się na ilość powstającego biogazu oraz na zapotrzebowanie na energię cieplną i elektryczną poszczególnych elementów instalacji. W czasie analizy wzięto pod uwagę oczyszczalnie o następujących wielkościach: 1 000 000 RLM (równoważna liczba mieszkańców), 500 000 RLM, 100 000 RLM oraz 50 000 RLM.

W zależności od wielkości oczyszczalni można wymienić następujące metody wykorzystania biogazu:

- zasilanie jednostek CHP produkujących jednocześnie energię elektryczną i ciepłą; energia cieplna wykorzystywana jest do podgrzewania wydzielonych komór fermentacyjnych (WKF), a energia elektryczna sprzedawana do sieci energetycznej,
- podgrzewanie suszarni osadu ściekowego,
- podgrzewanie wydzielonych komór fermentacyjnych.

W tabelicy 4 przedstawiono warianty, jakie wzięto pod uwagę przy przeprowadzonej w dalszej części analizy ekonomicznej sposobów wykorzystania biogazu. Przy ich wyborze wzięto pod uwagę zmieniające się przepisy pra-

wa, zmuszające oczyszczalnie do unieszkodliwienia osadu ściekowego (budowa suszarni i spalarni na średnich bądź dużych obiektach) we własnym zakresie. W rozpatrywanych przypadkach celowo pominięto opcję budowy spalarni wysuszonego osadu ściekowego, gdyż jej istnienie w ciągu technologicznym nie ma wpływu na sposób wykorzystania biogazu. Spalanie osadu o zawartości suchej masy większej niż 25% (taką zawartość suchej masy ma osad po odwadnianiu mechanicznym) jest procesem autotermicznym i nie wymaga doprowadzania żadnego dodatkowego źródła energii, którym mógłby być biogaz. Istnienie spalarni na potrzeby przeprowadzenia analizy może być zatem pomijane.

Wariant „1” i „2” zakłada wykorzystanie biogazu do zasilania jednostek CHP, z kolei w wariantcie „3” biogaz wykorzystywany jest do podgrzewania suszarni. Wariantów „1” i „3” nie brano pod uwagę przy oczyszczalni o wielkości 50 000 RLM, ponieważ w oczyszczalniach tej wielkości nie są budowane suszarnie ze względu na ich zbyt dużą wydajność. Wariant „2” został dodatkowo pominięty przy oczyszczalni o wielkości 100 000 RLM, z uwagi na niewystarczającą do zasilania turbiny ilość powstającego na oczyszczalni biogazu.

Tabela 3. Orientacyjna ilość biogazu powstająca w oczyszczalniach o rozpatrywanych wielkościach

Wielkość aglomeracji	Wskaźnik jednostkowy ilości ścieków	Ilość oczyszczonych ścieków	Ilość powstającego biogazu		
			[m <sup>3</sup> /rok]	[m <sup>3</sup> /dobę]	[m <sup>3</sup> /h]
[RLM]	[l/M.d]	[hm <sup>3</sup> /rok]			
1 000 000	200	73,00	10 950 000	30 000	1 250
500 000	200	36,50	5 475 000	15 000	625
100 000	200	7,30	1 095 000	3 000	125
50 000	200	3,65	547 500	1 500	63

Tabela 4. Warianty przeprowadzonej analizy ekonomicznej

RLM		CHP (silnik tłokowy) + suszarnia	CHP (turbina) + suszarnia	Suszarnia	CHP	WKF
	Wariant	„1”	„2”	„3”	„4”	„5”
1 000 000	„A”	„A1”	„A2”	„A3”	-	-
500 000	„B”	„B1”	„B2”	„B3”	-	-
100 000	„C”	„C1”	-	„C3”	„C4”	„C5”
50 000	„D”	-	-	-	„D4”	„D5”

Warianty „4” i „5” wzięto pod uwagę przy oczyszczalni o wielkości 100 000 RLM oraz najmniejszej – o wielkości 50 000 RLM, gdzie nie ma możliwości stosowania dodatkowych elementów zagospodarowania osadu ściekowego w postaci suszarni. Są to odpowiednio opcje wykorzystania biogazu do zasilania jednostki CHP (wariant „4”) lub podgrzewania wydzielonych komór fermentacyjnych (wariant „5”).

Dla oczyszczalni o wielkości 100 000 RLM obliczenia

wykonano w opcji z suszarnią (warianty „1” i „3”) oraz bez jej zastosowania w ciągu technologicznym (warianty „4” i „5”). W celu umożliwienia dokładniejszego porównania tych dwóch wariantów (niezależnie od zastosowania jednostki CHP) wprowadzono dodatkowy element analizy w postaci kosztu utylizacji osadu o zawartości suchej masy, odpowiednio:

- dla opcji z suszarnią – 90%,
- dla opcji bez suszarni – 25%.

### Analiza ekonomiczna wybranych wariantów zagospodarowania biogazu

Analiza ekonomiczna możliwości wykorzystania biogazu w oczyszczalniach ścieków zasadniczo różni się od podobnych analiz tego typu. Przy ocenie poszczególnych wariantów należy wziąć pod uwagę fakt, iż oczyszczalnia ścieków jako instalacja nie jest nastawiona na zysk. Proces oczyszczania ścieków oraz sposób wykorzystania wszelkich źródeł energii cieplnej i elektrycznej są optymalizowane, jednak priorytetem nie jest w tym przypadku zminimalizowanie kosztów, a dotrzymanie warunków, jakie są narzucane przez obowiązujące przepisy prawa.

Dla realizowania wszelkiego rodzaju inwestycji (budowy nowych urządzeń bądź modernizacji istniejących) nie są zaciągane kredyty bankowe. Finansowane są one ze źródeł państwowych.

Dofinansowanie inwestycji związanych z oczyszczaniem ścieków jest możliwe dzięki pozyskaniu funduszy ze środków Unii Europejskiej przeznaczonych na gospodarkę wodno-ściekową. W celu porównania całkowitych kosztów, jakie towarzyszą konkretnym rozwiązaniom, w obliczeniach nie brano jednak tej opcji pod uwagę.

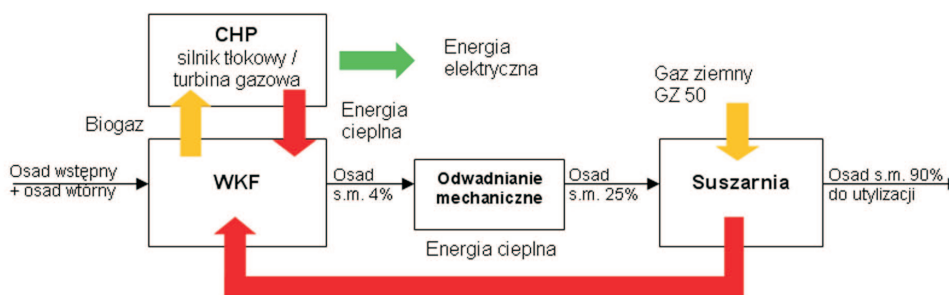
Założenia ogólne do obliczeń:

- 1) okres eksploatacji inwestycji wynosi 10 lat,
- 2) koszty eksploatacyjne ulegają wzrostowi o wskaźnik 1,5% w skali r/r,
- 3) budowa instalacji nie przekracza jednego roku – w „roku zerowym” ponoszone są wszelkie nakłady inwestycyjne,
- 4) cenę energii elektrycznej sprzedawanej do sieci energetycznej zakłada się na poziomie 197,21 zł/MWh,
- 5) cenę za prawo wynikające ze świadectwa pochodzenia energii ze źródła odnawialnego (zielony certyfikat) zakłada się na poziomie 270,0 zł/MWh,
- 6) koszt zakupu jednego metra sześciennego gazu ziemnego GZ50 wynosi 1,60 zł,
- 7) przyjęto amortyzację z roczną stawką odpisu wynoszącą 10%,
- 8) podatek dochodowy ze sprzedaży energii fizycznej oraz praw wynikających ze świadectw pochodzenia wynosi 19%,
- 9) zakłada się stopę dyskontową na poziomie 10%.

### Warianty: „A1”, „B1”, „C1”, „A2”, „B2”

Opis wariantów:

- całkowita ilość biogazu przeznaczona jest na produkcję energii elektrycznej w instalacji CHP,
- otrzymana energia elektryczna sprzedawana jest do sieci energetycznej,
- uzyskana z jednostek CHP energia cieplna wykorzystywana jest w całości do podgrzania WKF oraz na cele socjalne,



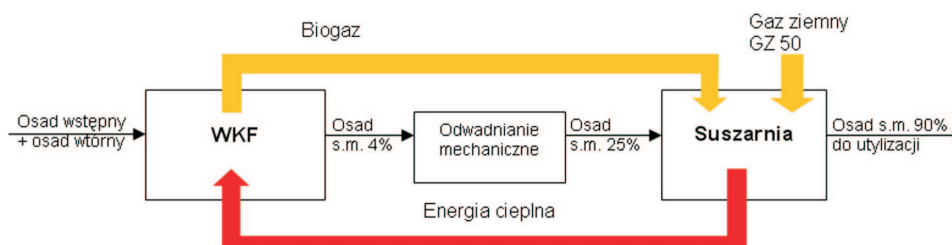
Rys. 1. Schemat blokowy wykorzystania biogazu dla wariantów: „A1”, „B1”, „C1”, „A2” oraz „B2”

- do układu dostarczone jest ciepło (jako gaz ziemny) do instalacji suszenia. Koszt tego ciepła ujęty jest w kosztach eksploatacyjnych suszarni,
- ciepło odpadowe z suszarni wykorzystane jest do podgrzewania WKF oraz na cele socjalne,
- niewykorzystana nadwyżka ciepła odprowadzana jest do atmosfery,
- osad o zawartości suchej masy 90% przekazany jest do utylizacji.

### Warianty: „A3”, „B3”, „C3”

Opis wariantów:

- biogaz powstający w procesie fermentacji w WKF w całości jest zużywany na potrzeby suszarni,
- energia cieplna zawarta w biogazie nie pokrywa w 100% zapotrzebowania suszarni; brakująca ilość energii konieczna do wysuszenia osadu do zakładanych parametrów dostarczana jest w postaci gazu ziemnego E (GZ50); koszt tego ciepła ujęty jest w kosztach eksploatacyjnych suszarni,
- ciepło odpadowe z suszarni wykorzystane jest do podgrzewania WKF oraz na cele socjalne,
- niewykorzystana nadwyżka ciepła odprowadzana jest do atmosfery,
- osad o zawartości suchej masy 90% przekazany jest do utylizacji

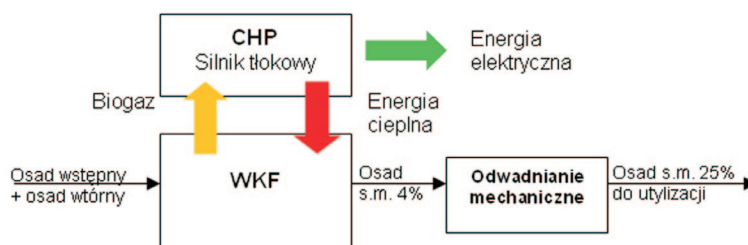


Rys. 2. Schemat blokowy wykorzystania biogazu dla wariantów: „A3”, „B3” oraz „C3”

### Warianty: „C4”, „D4”

Opis wariantów:

- całkowita ilość biogazu przeznaczona jest na produkcję energii elektrycznej w instalacji CHP,
- otrzymana energia elektryczna sprzedawana jest do sieci energetycznej,
- uzyskana z jednostek CHP energia cieplna wykorzystywana jest w całości do podgrzania WKF oraz na cele socjalne,
- niewykorzystana nadwyżka ciepła odprowadzana jest do atmosfery,
- osad o zawartości suchej masy 25% przekazany jest do utylizacji.



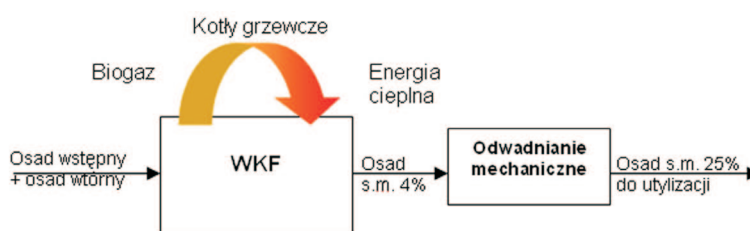
Rys. 3. Schemat blokowy wykorzystania biogazu dla wariantów „C4” i „D4”

### Warianty: „C5”, „D5”

Opis wariantów:

- biogaz w zależności od zapotrzebowania trafia do kotłowni grzewczej, której zadaniem jest pokrycie zapotrzebowania na energię cieplną potrzebną do podgrzania osadu w WKF oraz do celów socjalnych,

- niewykorzystany biogaz jest utylizowany bądź odprowadzany bezpośrednio do atmosfery,
- osad o zawartości suchej masy 25% przekazany jest do utylizacji.



Rys. 4. Schemat blokowy wykorzystania biogazu dla wariantów „C5” i „D5”

### Analiza wyników

Tablica 5 zawiera zbiorcze zestawienie przepływów pieniężnych dla poszczególnych wariantów i wielkości oczyszczalni przez okres 10 lat od momentu wybudowania instalacji. Podstawowym elementem, jaki można zauważyć, jest fakt, iż tylko w jednym przypadku instalacja oczyszczania (wariant „D4”) przynosi realny dochód. Z kolei wariant „D5” bilansuje się na „zero”. Należy podkreślić jednak, że w obu tych przypadkach nie wzięto pod uwagę, podobnie jak w większości pozostałych wariantów, kosztów utylizacji osadu. Są to koszty nieuniknione, a możliwe sposoby wykorzystania biogazu przy danej wielkości oczyszczalni nie mają wpływu na ich zmianę, dlatego nie brano ich pod uwagę. Wyjątek stanowią warianty dla oczyszczalni o RLM równym 100 000, gdzie przedstawiono opcję z suszarnią i bez jej zastosowania. W pozostałych przypadkach wielkość oczyszczalni niejako determinuje sposób prowadzenia całego procesu oczyszczania ścieków oraz postępowania z osadami ściekowymi, a tym samym – ogranicza opcje wykorzystania biogazu.

W przypadku największych oczyszczalni, o RLM zbliżonym do 1 000 000, zdecydowanie najkorzystniejszym wariantem okazuje się być wykorzystanie biogazu do napędu jednostek CHP wyposażonych w turbiny gazowe. Wykorzystanie turbin gazowych zamiast stosowanych

powszechnie silników tłokowych, pomimo początkowo większych nakładów finansowych, owocuje znacznie wyższymi przychodami z tytułu sprzedaży energii elektrycznej oraz świadectw pochodzenia energii („zielonych certyfikatów”). Ponadto, przychody, jakie otrzymamy w przypadku korzystania z jednostek CHP wyposażonych w silniki tłokowe, nie są w stanie pokryć kosztów zakupu gazu ziemnego na potrzeby suszarni. Tym samym, wariant z zasilaniem biogazem jednostek CHP wyposażonych w silniki tłokowe jest w tym przypadku opcją najbardziej niekorzystną.

W oczyszczalniach o wielkości 500 000 RLM również najbardziej niekorzystnym wariantem jest użycie jednostek CHP na bazie silnika tłokowego, z tą różnicą, że opcją najbardziej opłacalną jest wykorzystanie biogazu bezpośrednio do zasilania suszarni. Decydujący wpływ na opłacalność inwestycji w tym przypadku mają relatywnie wysokie koszty zakupu instalacji CHP oraz zbyt niskie dochody z tytułu sprzedaży energii elektrycznej oraz świadectw pochodzenia energii („zielonych certyfikatów”) w porównaniu do kosztów eksploatacyjnych.

Trzeci wariant wielkości oczyszczalni (RLM = 100 000) obejmuje największą liczbę dostępnych możliwości. Pod względem finansowym najkorzystniej prezentuje się opcja

Tablica 5. Zbiorcze zestawienie kosztów poszczególnych instalacji poniesionych w okresie 10 lat

RLM	CHP silnik + suszarnia	CHP turbina + suszarnia	Suszarnia	CHP	Zerowy
1 000 000	„A1”	„A2”	„A3”	-	-
	-161 548 331	-74 467 279	-139 114 955	-	-
500 000	„B1”	„B2”	„B3”	-	-
	-88 506 957	-82 104 030	-76 995 248	-	-
100 000	„C1”	-	„C3”	„C4”	„C5”
	-27 060 745	-	-24 279 370	-5 728 704	-11 268 252
50 000	-	-	-	„D4”	„D5”
	-	-	-	2 383 541	0

z zasilaniem biogazem jednostki CHP, bez jednoczesnego wykorzystania suszarni. Jednak z uwagi na uwarunkowania prawne i aspekt środowiskowy, opcją równie korzystną może być budowa suszarni i wykorzystanie biogazu do jej zasilania.

Oczyszczalnia o wielkości 50 000 RLM jest najmniejszą instalacją, jaką wzięto pod uwagę przy przeprowadzaniu analizy. Dostępne na rynku suszarnie mają zbyt dużą wydajność w stosunku do ilości produkowanego biogazu w oczyszczalniach o takiej wielkości i ich stosowanie

w tym przypadku jest nieuzasadnione. Dlatego wariantami, jakie wzięto pod uwagę, są: wariant „zerowy” oraz wariant z zastosowaniem niewielkiej jednostki CHP. Ilość ciepła produkowana przez jednostkę CHP jest wystarczająca do pokrycia zapotrzebowania na ciepło do ogrzania WKF. Zatem w porównaniu do wariantu „zerowego”, gdzie biogaz wykorzystywany jest do ogrzania WKF, mamy przychody w postaci sprzedaży energii elektrycznej oraz świadectw pochodzenia energii. Opcja z wykorzystaniem jednostki CHP jest w tym przypadku znacznie bardziej korzystna.

### Podsumowanie i wnioski

Najlepsze efekty produkcji biogazu uzyskuje się w oczyszczalniach biologicznych, które mają zastosowanie we wszystkich komunalnych oczyszczalniach ścieków oraz w części oczyszczalni przemysłowych. Oczyszczalnie ścieków mają stosunkowo wysokie zapotrzebowanie własne na energię cieplną, jak i elektryczną.

Dodatkowo, komunalne osady ściekowe (kod 19 08 05) będące odpadami biodegradowalnymi ze względu na znaczną zawartość organiki, z reguły powyżej 50% suchej masy, w nowych regulacjach prawnych nie będą mogły być unieszkodliwiane poprzez składowanie. Kryteria dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów zawarte są w *Rozporządzeniu Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 7 września 2005 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu* (Dz.U. z 2005 roku nr 186, poz. 1553) [4]. Aby osady ściekowe mogły być skierowane na składowisko odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne, muszą spełniać dopuszczalne graniczne wartości wymywania metali ciężkich oraz parametry dodatkowe, takie jak:

- ogólny węgiel organiczny (TOC) – 5%,
- strata przy prażeniu (LOI) – 8%.

Te ostatnie kryteria całkowicie dyskwalifikują możliwość składowania osadów ściekowych na składowiskach.

Rolnicze wykorzystanie osadów ściekowych z dużych aglomeracji miejskich jest problematyczne ze względu na znaczne ilości osadów, często zanieczyszczonych metalami ciężkimi, a przede wszystkim ze względu na brak wystarczającej ilości terenów rolnych spełniających stosowne wymagania w tym zakresie. Brak również wystarczających powierzchni terenów przeznaczonych do rekultywacji, gdzie komunalne osady ściekowe mogłyby być zastosowane.

W tym kontekście najlepszymi metodami unieszkodliwiania odpadów ulegających biodegradacji okazują się być termiczne metody unieszkodliwiania, takie jak: suszenie, spalanie, piroliza i zgazowywanie.

Zagospodarowanie przetworzonego osadu ściekowego we własnym zakresie zwiększa zapotrzebowanie oczyszczalni na dodatkowe źródła energii, zarówno cieplnej, jak i elektrycznej, co dodatkowo determinuje do wykorzystania powstającego biogazu. Dlatego też energetyczne wykorzystanie biogazu w istotny sposób poprawia rentowność tych zakładów, pozwalając na obniżenie zakupu czynników energetycznych: energii elektrycznej oraz paliwa do wytwarzania ciepła – na potrzeby własne.

### Literatura

- [1] Buczkowski R.: *Gospodarcze wykorzystanie dwutlenku węgla*. Materiały konferencyjne: „Biogaz Przyjaznym Państwem Lokomocyjnym”. Toruń 2007.
- [2] Grzybek A.: *Ocena strategii rozwoju energetyki odnawialnej oraz kierunki rozwoju energetycznego wykorzystania biogazu wraz z propozycją działań*. Warszawa 2005.
- [3] Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych. Warszawa, grudzień 2003.
- [4] *Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 7 września 2005 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu* (Dz.U. z 2005 roku nr 186, poz. 1553).
- [5] *Ustawa z 18 lipca 2001 r. Prawo Wodne* (Dz.U. z 2005 roku nr 239, poz. 2019).



Mgr inż. Grzegorz KOŁODZIEJAK – absolwent Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej. Asystent w Zakładzie Technologii Energii Odnawialnych Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Obecnie zajmuje się realizacją prac związanych z wykorzystaniem energii ze źródeł odnawialnych, w szczególności biomasy.