



Krystian KRUPA*

Zrównoważona energetyka biogazowa w oczyszczalniach ścieków

STRESZCZENIE. Pozyskiwanie energii w sposób zrównoważony jest zarówno priorytetem, jak i wyznacznikiem nowoczesnych społeczeństw. Spełnienie postulatów zrównoważonej energetyki możliwe jest między innymi dzięki wykorzystaniu fermentacji metanowej, będącej jedną z najstarszych przemian biochemicznych zachodzących na Ziemi w sposób naturalny. Powstający w efekcie fermentacji metanowej biogaz jest paliwem odnawialnym, cechującym się wysoką wartością opałową oraz łatwością konwersji do postaci energii elektrycznej lub ciepła. Obok korzyści energetycznych, fermentacja metanowa odgrywa przede wszystkim istotną rolę ekologiczną, pozwalając na utylizację niebezpiecznych odpadów organicznych, którymi są między innymi osady ściekowe. Wykorzystanie fermentacji metanowej w oczyszczalniach ścieków pozwala zatem na uzyskanie dwojakich korzyści – stabilizacji osadów i wytworzenia biogazu – oraz sprawia, że przedsiębiorstwa realizujące te procesy stanowią dobry przykład zrównoważonych i samowystarczalnych mikrosystemów energetycznych.

Celem artykułu jest przedstawienie podsektora energetyki biogazowej w ujęciu globalnym, europejskim oraz krajowym, omówienie procesu fermentacji metanowej osadów w oczyszczalniach ścieków oraz analiza uzyskanego efektu energetycznego na przykładzie Oczyszczalni Ścieków Tychy-Urbanowice.

SŁOWA KLUCZOWE: biogaz, fermentacja metanowa, oczyszczalnia ścieków, energetyka zrównoważona, samowystarczalność energetyczna, odnawialne źródła energii

* Mgr – TAURON Polska Energia S.A., Departament Analiz; e-mail: krystian.krupa@tauron.pl

Wprowadzenie

Szeroka paleta odnawialnych źródeł energii (OZE) pozwala na pozyskiwanie energii elektrycznej oraz ciepła równoległe do energetyki węglowo-węglowodorowej bądź energetyki nuklearnej. Według danych za rok 2013, w ramach 5 865,0 GW_e zainstalowanych we wszystkich źródłach energii elektrycznej na świecie, udział ekoenergetyki to około 28,9%, z czego źródła wykorzystujące energię wody stanowiły około 67,0%. Dominacja hydroelektrowni ulega jednak systematycznemu zmniejszeniu na rzecz dynamicznie rozwijających się źródeł wiatrowych, słonecznych, biomasowo-odpadowych, biogazowych czy geotermalnych (Global Renewable... 2014, Lavagne d'Ortigue i in. 2015), przedstawionych w tabeli 1.

TABELA 1. Moc elektryczna [MW_e] instalacji wykorzystujących OZE inne niż woda

TABLE 1. Electric capacity [MW_e] of non-hydro renewables

	Wiatr	Słońce	Geotermia	Biomasa stała i odpady	Biogaz	Biopaliwa płynne
Świat						
2007	93 709,0	9 090,0	9 863,0	50 200,0	6 241,0	494,0
2008	119 653,0	15 072,0	10 326,0	53 720,0	6 709,0	668,0
2009	158 427,0	23 148,0	10 727,0	57 720,0	5 945,0	1 084,0
2010	196 321,0	40 045,0	10 979,0	62 714,0	8 587,0	1 234,0
2011	236 594,0	70 674,0	10 914,0	68 232,0	10 040,0	1 319,0
2012	282 679,0	99 870,0	11 294,0	71 434,0	11 761,0	1 515,0
2013	318 197,0	139 303,0	11 698,0	76 532,0	12 371,0	1 463,0
Polska						
2007	287,9	0,0	b.d.	255,4	45,7	b.d.
2008	451,1	0,0	b.d.	232,0	54,6	b.d.
2009	724,7	0,0	b.d.	252,5	70,9	b.d.
2010	1 180,3	0,0	b.d.	356,2	82,9	b.d.
2011	1 616,4	1,1	b.d.	409,7	103,5	b.d.
2012	2 496,7	1,3	b.d.	820,7	131,2	b.d.
2013	3 389,5	1,9	b.d.	986,9	162,2	b.d.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Lavagne d'Ortigue i in. 2015 oraz Potencjał krajowy... 2015

Mimo iż biogaz posiada relatywnie niewielki udział w ogólnej strukturze OZE, warto podkreślić, że paliwo to cechuje się właściwościami pozwalającymi na uzyskanie pozytywnych efektów energetycznych oraz ekologicznych, które łącznie przekładają się na rozwój energetyki zrównoważonej, będącej celem nowoczesnych społeczeństw.

1. Energetyka biogazowa w Europie i Polsce

Według danych Międzynarodowej Agencji Energii Odnawialnej za rok 2014, globalna moc elektryczna instalacji wykorzystujących biogaz to 12 666,0 MW_e, z czego 8 780,0 MW_e przypada na Unię Europejską. Drugi w kolejności region – U.S.A. – dysponuje mocą 2 350,0 MW_e. Analogiczne dane dla roku 2013 to 12 371,0 MW_e w skali globalnej, 8 670,0 GW_e w przypadku UE oraz 2 271,0 MW_e w przypadku U.S.A. (Lavagne d’Ortigue i in. 2015).

Europejskim liderem gospodarki biogazowej są Niemcy. Łączna ilość uzyskanej w biogazie energii pierwotnej wyniosła w 2013 roku około 287,5 PJ, natomiast zainstalowane moce wytwórcze na poziomie 4 100 MW_e umożliwiły wytworzenie z biogazu 29 235 MWh energii elektrycznej, pokrywając około 5,8 % rocznego zapotrzebowania (Le Seigneur, red. 2014; Lavagne d’Ortigue i in. 2015; www.energy-charts.de). Szczegółowe dane charakteryzujące gospodarke biogazową krajów Unii Europejskiej zaprezentowane zostały w tabeli 2.

TABELA 2. Produkcja i wykorzystanie biogazu w dziesięciu wiodących krajach Unii Europejskiej w 2013 roku

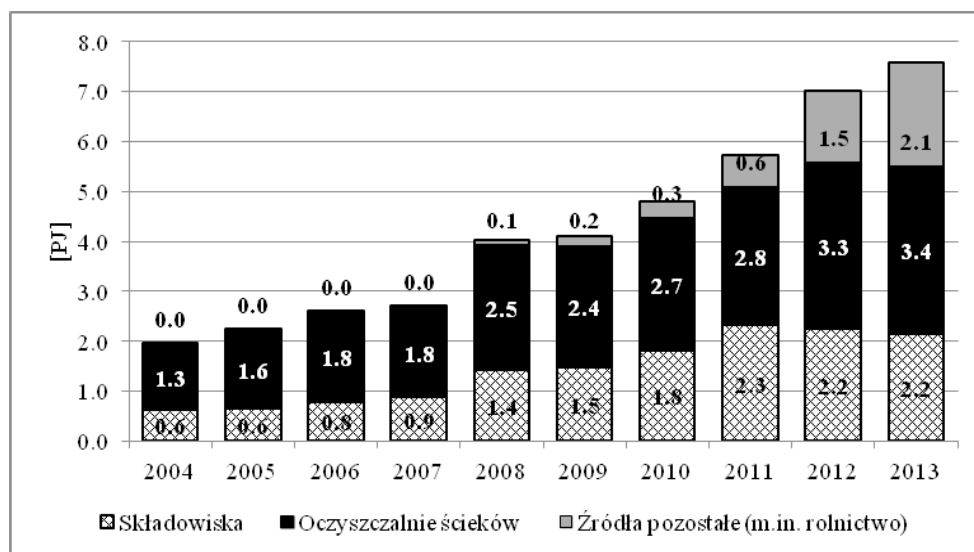
TABLE 2. Biogas production and use across top ten EU countries in 2013

Kraj	Produkcja energii pierwotnej biogazu [PJ]				Energia wtórna	
	składowiska	oczyszczalnie ścieków	źródła pozostałe*	SUMA	elektryczna [GWh]	ciepło [PJ]
Niemcy	4,6	18,3	264,6	287,5	29 235,0	4,9
Wlk. Brytania	64,4	12,0	0,0	76,4	5 930,7	n/d
Włochy	16,9	2,0	57,1	76,0	7 447,7	8,4
Rep. Czeska	1,2	1,7	21,0	23,9	2 294,0	0,5
Francja	7,6	1,8	8,9	18,3	1 506,6	0,7
Kraj	Produkcja energii pierwotnej biogazu [PJ]				Energia wtórna	
	składowiska	oczyszczalnie ścieków	źródła pozostałe*	SUMA	elektryczna [GWh]	ciepło [PJ]
Holandia	1,0	2,4	9,2	12,7	966,0	0,2
Hiszpania	7,0	2,9	2,1	12,0	908,0	n/d
Austria	0,2	0,8	7,3	8,2	615,0	0,3
Belgia	1,2	1,0	5,7	7,9	773,8	0,2
Polska	2,2	3,4	2,1	7,6	689,7	0,4
SUMA dla wszystkich krajów UE	117,1	54,1	395,3	566,5	52 729,6	19,7

* Biogazownie rolnicze, instalacje fermentacji odpadów komunalnych, biogazownie kofermentacyjne

Polska plasuje się w pierwszej dziesiątce krajów o najbardziej rozwiniętej gospodarce biogazowej w Unii Europejskiej. Produkcja energii pierwotnej zawartej w biogazie wyniosła

w 2013 roku 7,6 PJ, co stanowiło około 1,3% łącznej produkcji w UE i około 1,4% krajowego zużycia gazu ziemnego (Gilecki i in. 2014). Wiodącym wytwórcą biogazu w Polsce są oczyszczalnie ścieków – w roku 2013 wyprodukowały około 3,4 PJ energii zawartej w paliwie, co w porównaniu do roku 2004 daje wzrost o około 160,0% (Berent-Kowalska i in. 2014) i plasuje biogaz oczyszczalniany przed biogazem składowiskowym oraz rolniczym. Strukturę produkcji biogazu w Polsce obrazuje rysunek 1.



Rys 1. Produkcja biogazu [PJ] w Polsce w podziale na źródło jego pozyskania
Źródło: opracowanie własne na podstawie: Berent-Kowalska i in. 2014

Fig. 1. Biogas production in Poland [PJ] as per source

Biogaz w Polsce w przeważającej części wykorzystywany jest na cele energetyczne w elektrociepłowniach przemysłowych, zaspokajając potrzeby własne zakładu, w którym jest pozyskiwany. W roku 2013 zużycie biogazu oczyszczalniowego na cele energetyczne dotyczyło około 69,0% wolumenu jego produkcji, podczas gdy pozostałe 31,0% stanowiło tzw. zużycie finalne, czyli zużycie przez konsumentów (przemysł, sektor usług, gospodarstwa domowe) na ich potrzeby technologiczne, produkcyjne i bytowe (Berent-Kowalska i in. 2014). Przykładem zużycia końcowego może być także oczyszczanie i uszlachetnianie biogazu w celu uzyskania biometanu, który może być wprowadzany do sieci gazowej lub stanowić paliwo dla samochodów i autobusów.

Według danych Urzędu Regulacji Energetyki dla pierwszego kwartału 2015 roku (Mapa odnawialnych... 2015), łączna moc elektryczna 257 instalacji do produkcji energii elektrycznej z biogazu wynosiła w Polsce około 190,5 MW_e, z czego:

- ✧ 101 jednostek o łącznej mocy 64,1 MW_e wykorzystuje biogaz składowiskowy,
- ✧ 96 jednostek o łącznej mocy 57,9 MW_e wykorzystuje biogaz powstający w oczyszczalniach ścieków,
- ✧ 60 jednostek o łącznej mocy 68,6 MW_e pracuje opierając się na biogazie rolniczym.

Łączny wolumen energii elektrycznej wyprodukowanej z biogazu wyniósł w 2013 roku około 689,7 GWh, co stanowi niecałe 0,5% krajowego zużycia (www.pse.pl). Łączny wolumen

ciepła uzyskanego ze spalania biogazu wyniósł 376,0 TJ, co stanowi 0,1% krajowego zużycia (Buńczyk 2014). W ramach tych wolumenów energii elektrycznej i ciepła, odpowiednio 233,5 GWh oraz 128,0 TJ wyprodukowane zostało w oczyszczalniach ścieków.

2. Osady ściekowe jako zasób energii w oczyszczalniach

Produkcja biogazu w oczyszczalniach ścieków jest ściśle związana z głównym procesem technologicznym zakładu. Napływające do oczyszczalni nieczystości komunalne złożone są głównie z pozostałości przemysłowych, pozostałości bytowych oraz wód deszczowych (Bień i in. 2014) i jako takie stanowią ładunek biochemiczny wymagający unieszkodliwienia. Efektem procesów oczyszczania – poza oczywistą poprawą jakości wody – jest powstanie tzw. osadów ściekowych.

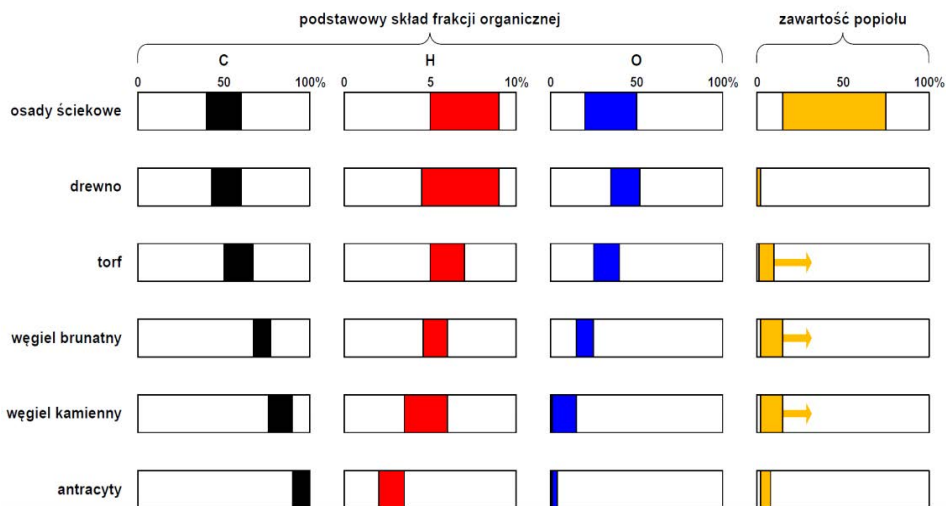
Zgodnie z obowiązującym prawem osady ściekowe stanowią odpad wymagający odpowiedniego przetworzenia w celu eliminacji mikroorganizmów chorobotwórczych, substancji potencjalnie niebezpiecznych dla środowiska, a także z uwagi na emisję uciążliwych zapachów. Spełnienie powyższych wymogów możliwe jest dzięki zastosowaniu wielostopniowych procesów przeróbki osadów – opartych o techniki obejmujące między innymi (Bień i in. 2011; Bień i in. 2014; Dobre Praktyki... 2012; Malej 2000; Środa i in. 2012):

- ✧ zagęszczanie,
- ✧ stabilizację biologiczną:
 - ✧ tlenową (kompostowanie, autotermiczną termofilową stabilizację osadów – ATSO),
 - ✧ beztlenową (fermentację metanową poprzedzoną ewentualną dezintegracją oraz zakończoną ewentualnym kompostowaniem),
- ✧ stabilizację termiczną:
 - ✧ spalanie / spalanie mokre / pirolizę,
 - ✧ zgazowanie / gazyfikację plazmową,
- ✧ kondycjonowanie, odwadnianie, suszenie,
- ✧ higienizację:
 - ✧ wapnowanie,
 - ✧ pasteryzację,
 - ✧ radiację.

Warto podkreślić, iż powyższa lista stanowi ogólny katalog, na podstawie którego ciąg technologiczny przeróbki osadów w danej oczyszczalni komponowany jest indywidualnie.

Oprócz możliwości wypełnienia wymogów ekologicznych przywołane metody przetwarzania pozwalają również wykorzystywać osady ściekowe m.in. dla celów energetycznych lub rolniczych – skład osadów sprawia bowiem, iż z odpadu stają się one cennym zasobem. Z punktu widzenia energetyki szczególnie wartościowym aspektem osadów ściekowych jest relatywnie wysoka zawartość substancji organicznych (*vide* poniżej) podatnych na biodegradację.

Analizując osady ściekowe pod kątem przydatności energetycznej należy wskazać na kwestię niejednorodności zawartości substancji organicznych, co wynika tak z rodzaju, jak i chemizmu napływających ścieków oraz stosowanej technologii ich oczyszczania. Z uwagi na te czynniki osady ściekowe w różnych oczyszczalniach mogą cechować się różną zawartością frakcji



Rys 2. Zawartość frakcji organicznej i popiołu w osadach ściekowych na tle paliw stałych [%]

Źródło: Bałazińska i Stelmach 2013

Fig. 2. Organic fraction and ash in wastewater sludge as compared to solid fuels [%]

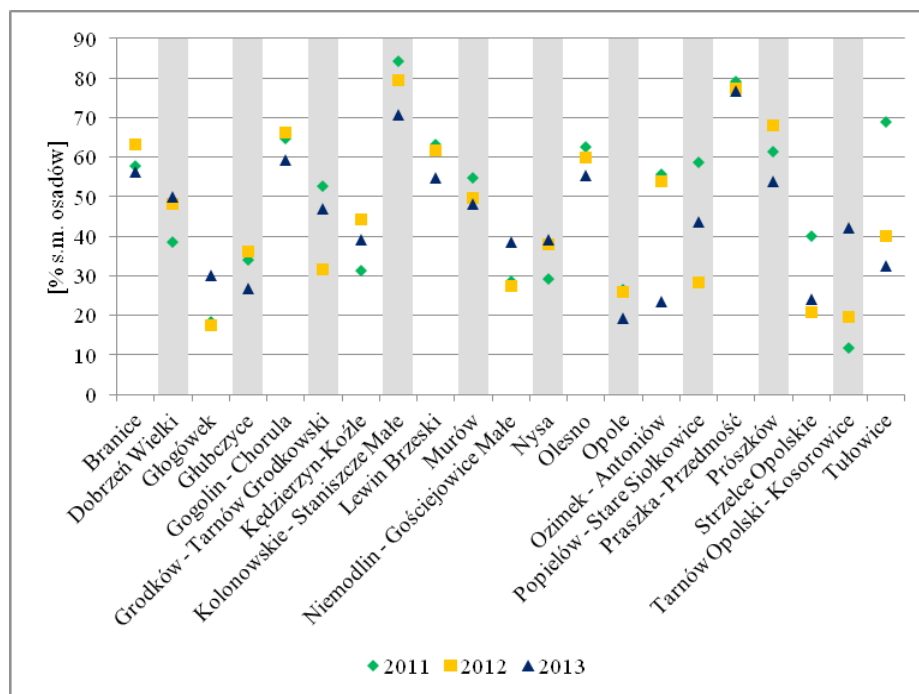
organicznej, bądź różnice dotyczyć mogą tej samej oczyszczalni na przestrzeni czasu. Wskazaną kwestię przykładowo ilustruje rysunek 3.

3. Pozyskiwanie biogazu z osadów ściekowych

Wykorzystanie osadów ściekowych na cele energetyczne jest możliwe dzięki metodzie opartej na fermentacji metanowej lub technikach przekształcania termicznego – spalaniu, pirolizie, zgazowaniu lub gazyfikacji plazmowej. Warto zauważyć, że o ile podstawowym sposobem zagospodarowania osadów ściekowych jest fermentacja metanowa (Klaczyński 2013), o tyle od początku roku 2016 na znaczeniu będą zyskiwać również metody termiczne (Pająk 2014).

Fermentacja metanowa, zwana także beztlenową lub anaerobową, jest jedną z najstarszych przemian biochemicznych na Ziemi, zachodzącą naturalnie od miliardów lat dzięki aktywności odpowiednich mikroorganizmów (Romaniuk i in. 2010; Węglarzy i Stekla 2009). W sensie technologicznym proces ten znany jest człowiekowi od około 150 lat. Pierwsza instalacja wykorzystująca fermentację metanową zbudowana została w roku 1859 w Indiach, natomiast początki rozwoju w Europie to instalacje w oczyszczalni ścieków Exeter w Wielkiej Brytanii – 1895 rok, niemieckim Essen – 1920 rok, na bazie urządzeń Karla Imhoffa, oraz w Poznaniu – 1928 rok (Monnet 2003; Kwaśny i in. 2012; Kogut i in. 2014).

Sednem fermentacji metanowej jest przekształcanie złożonych związków organicznych w ustabilizowane chemicznie związki proste – metan (ok. 50 do 75% objętości) i dwutlenek węgla (ok. 19 do 44% objętości), z domieszkami siarkowodoru, wodoru, azotu czy tlenu (Kwaśny



Rys. 3. Zróżnicowanie zawartości substancji organicznych w osadach ściekowych – dane za lata 2011–2013 dla wybranych oczyszczalni ścieków w województwie opolskim [% suchej masy osadów]
 Źródło: Gospodarka komunalnymi... 2011–2013

Fig. 3. Variability of organic matter content in wastewater sludge – data for 2011–2013 for selected wastewater treatment plants in the Opolskie region [% of sludge dry mass]

i in. 2012). Powyższe składniki łącznie tworzą biogaz, będący paliwem o relatywnie wysokiej wartości opałowej, wynoszącej od 19 do nawet 25 MJ/m³ (wartość opałowa gazu ziemnego wysokometanowego to ok. 36,0 MJ/m³).

Proces fermentacji przebiega czterofazowo – począwszy od hydrolizy, przez acido- oraz acetogenezę po metanogenezę – i może być realizowany z wykorzystaniem urządzeń takich jak (Zdebek i in. 2015):

- ✧ osadniki gnilne,
- ✧ osadniki Imhoffa,
- ✧ baseny fermentacyjne / wydzielone komory fermentacyjne otwarte (WKFo) lub
- ✧ wydzielone komory fermentacyjne zamknięte (WKFz).

Fermentację metanową prowadzić można metodą moką lub suchą, gdzie różnicą jest procentowa zawartość suchej masy osadu poddawanego fermentacji. W przypadku uchodzącej za metodę konwencjonalną fermentacji mokrej zawartość suchej masy wynosi około 12–15%. Fermentacja sucha – obecnie w fazie rozwoju i dlatego rzadziej stosowana – cechuje się zawartością suchej masy powyżej 15–16% (Poradnik... 2009; Curkowski i in. 2009; Dobre Praktyki... 2012; Myczko i in. 2011).

Aby proces fermentacji przebiegał prawidłowo, konieczne jest zapewnienie odpowiedniego środowiska do wzrostu mikroorganizmów. Parametrami kluczowymi dla przebiegu fermentacji metanowej są (Dobre Praktyki... 2012; Myczko i in. 2011):

- ✧ beztlenowa atmosfera, warunkowana m.in. szczelnością WKFz,
- ✧ temperatura procesu,
- ✧ odczyn pH,
- ✧ skład chemiczny osadu poddawanego fermentacji, w tym tzw. stosunek C/N,
- ✧ odpowiednie mieszanie fermentującej masy,
- ✧ czas retencji osadu w komorze fermentacyjnej,
- ✧ obecność inhibitorów procesu.

Z uwagi na zakres temperatur oraz czas trwania procesu fermentacji metanowej wyróżnia się fermentację psychrofilną, mezofilną oraz termofilną – scharakteryzowane w tabeli 3.

TABELA 3. Charakterystyka typów fermentacji metanowej

TABLE 3. Types of anaerobic digestion

Typ fermentacji	Temperatura procesu	Czas trwania procesu	Wykorzystywane urządzenia	Uwagi
Psychrofilna	poniżej 20 °C	70 do 80 dni	osadniki gnilne, osadniki Imhoffa, WKFo	długi czas trwania procesu, biogaz uwalnia się do atmosfery (nie jest gromadzony)
Mezofilna	30 do 40 °C (przeważnie 37 +/- 2 °C)	25 do 30 dni	WKFz	biogaz gromadzi się w górnej części WKFz, a następnie jest magazynowany i wykorzystywany na cele energetyczne
Termofilna	powyżej 40 °C	15 do 20 dni (12 do 14 dni dla temp. 50 °C)	WKFz	proces o ujemnym bilansie energetycznym – ujmowany biogaz nie pokrywa zapotrzebowania na ciepło konieczne do ogrzania WKFz

Źródło: opracowanie własne na podstawie Zdebik i in. 2015

Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania przebiegu fermentacji metanowej, rozwiązaniem najbardziej racjonalnym oraz najczęściej stosowanym w praktyce jest fermentacja mezofilowa realizowana w WKFz. Podejście to pozwala na relatywnie szybką produkcję biogazu przy stabilnym przebiegu procesu, a także – w przeciwieństwie do osadników lub WKFo – umożliwia wychwyty i magazynowanie biogazu w celu późniejszego zużycia na cele energetyczne.

4. Analiza efektów energetycznych

Wykorzystanie fermentacji metanowej dla celów ekologiczno-energetycznych ma miejsce w wielu oczyszczalniach ścieków w Polsce. Obiektem uchodzącym za przykład dobrych praktyk w tym zakresie jest Oczyszczalnia Ścieków Tychy-Urbanowice, zarządzana przez Regionalne Centrum Gospodarki Wodno-Ściekowej S.A. (RCGW). Na skutek modernizacji w latach

2005–2010, Oczyszczalnia została wyposażona w wydzielone komory fermentacyjne zamknięte (WKFz) oraz agregaty prądotwórcze.

Zachodzący w WKFz proces mezofilowej fermentacji metanowej pozwala na zmianę struktury osadów ściekowych w odpad ustabilizowany (pozbawiony bakterii chorobotwórczych i tendencji do zagniwania) oraz jednocześnie skutkuje wydzieleniem biogazu, który spalany jest w agregatach w celu produkcji energii elektrycznej i ciepła (www.rcgw.pl).

Zainstalowane w oczyszczalni agregaty posiadają łączną moc elektryczną na poziomie 1 090,0 kW_e oraz moc cieplną na poziomie 1 462,0 kW_{th}. W roku 2013 umożliwiły one produkcję 7 421,0 MWh energii elektrycznej, podczas gdy zużycie przez Oczyszczalnię wyniosło 5 082,0 MWh (Deklaracja Środowiskowa... 2014). Powyższy efekt energetyczny plasuje zakład na pierwszym miejscu w Polsce pod względem samowystarczalności energetycznej wśród oczyszczalni (www.rcgw.pl).

Biorąc pod uwagę korzyści ekologiczne (stabilizacja osadów), a także uzyskany stopień samowystarczalności energetycznej, Oczyszczalnię Ścieków Tychy-Urbanowice uznać można za dobry przykład zrównoważonej energetyki opartej na odnawialnym paliwie gazowym – biogazie.

Podsumowanie

Produkcja i wykorzystanie biogazu, pomimo relatywnie niewielkiej skali względem energetyki nieodnawialnej oraz wodnej i wiatrowo-słonecznej, jest obszarem istotnym z punktu widzenia zrównoważonej gospodarki ekologiczno-energetycznej.

W przypadku oczyszczalni ścieków fermentacja metanowa pozwala na osiągnięcie dwojakich korzyści, kluczowych dla prowadzenia zrównoważonej gospodarki odpadowo-energetycznej, tj. stabilizację osadów oraz produkcję biogazu, będącego odnawialnym źródłem energii (OZE). Stabilizacja osadów ściekowych oznacza istotne zmniejszenie ich podatności do zagniwania oraz emisji uciążliwych zapachów, jak również redukcję ilości drobnoustrojów chorobotwórczych. Wytworzony w procesie fermentacji metanowej biogaz – złożony głównie z metanu i dwutlenku węgla – jest paliwem nadającym się do bezpośredniego wykorzystania na cele produkcji energii elektrycznej i ciepła lub do produkcji biometanu po uprzednim oczyszczeniu i uszlachetnieniu. Dodatkowo, korzyścią z gospodarki biogazowej prowadzonej w oczyszczalniach ścieków jest możliwość wsparcia lokalnego bilansu energetycznego przez odnawialne źródła rozproszone posiadające możliwość pracy regulacyjnej (w przeciwieństwie do trudno przewidywalnych i trudno sterowalnych źródeł wiatrowych), a także poprawa wskaźników niezawodności systemu i rozplywów energii elektrycznej w sieci dystrybucyjnej.

Literatura

BAŁAZIŃSKA, M. i STELMACH, S. 2013. Energetyczne zagospodarowanie osadów ściekowych w powiązaniu z produkcją energii elektrycznej, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, materiały konferencyjne

- Odpady-Nowa Energia* 2013, www.ecocluster.com.pl/tems/show/konferencja-odpady-nowa-energia/34, dostęp w dniu 2015-05-25.
- BERENT-KOWALSKA, G. i in. 2014. *Energia ze źródeł odnawialnych w 2013 r.* Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2014.
- BIEŃ, J. i in. 2011. Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* t. 14, nr 4.
- BIEŃ J. i in. 2014. *Ekspertyza, która będzie stanowić materiał bazowy do opracowania strategii postępowania z komunalnymi osadami ściekowymi na lata 2014–2020.* Politechnika Częstochowska na zlecenie Generalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Warszawie, Częstochowa 2014.
- BUŃCZYK, A. 2014. *Energetyka ciepła w liczbach – 2013.* Urząd Regulacji Energetyki, Warszawa.
- CURKOWSKI, A. i in. 2009. *Biogaz rolniczy – produkcja i wykorzystanie.* Mazowiecka Agencja Energetyczna, Warszawa 2009.
- GILECKI, R. i in. 2014. *Bilans energii pierwotnej w latach 1998–2013.* Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa.
- Hanergy & China New Energy Chamber of Commerce: Global Renewable Energy Report 2014, [Online] Dostępne w: www.hanergy.com/en/upload/contents/2014/07/53bfa4772d9f6.pdf [Dostęp: 22.05.2015].
- Institut für Energetik und Umwelt: Poradnik BIOGAZ: produkcja, wykorzystywanie (tłumaczenie Instytut Energetyki Odnawialnej), 2009, [Online] Dostępne w: www.ieo.pl/pl/raporty/doc_download/78-poradnik-biogaz.html [Dostęp: 29.05.2015].
- Komisja Środowiska Naturalnego Związku Miast Bałtyckich: Dobre Praktyki Związane z Gospodarką Osadami Ściekowymi, Project on Urban Reduction of Eutrophication, 2012.
- KLACZYŃSKI, E. 2013. Oczyszczalnia ścieków – stabilizacja osadów (cz. IV). *Wodociągi-Kanalizacja* 11(117)/2013, Wydawnictwo ABRYS.
- KOGUT, P. i in. 2014. Rozruch instalacji biogazowej z wykorzystaniem osadu zaszczepowego. *Rocznik Ochrona Środowiska 2014* (tom 16), Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska.
- KWAŚNY, J. i in. 2012. Przegląd technologii produkcji biogazu różnego pochodzenia. *Czasopismo Techniczne*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, zeszyt 17, rok 109, 2-Ch/2012.
- Le SEIGNEUR, V.J. red, 2014. *The State of Renewable Energies in Europe.* 14th EurObserv'ER Report, 2014.
- LAVAGNE d'ORTIGUE, i in. 2015. *Renewable Energy Capacity Statistics 2015.* International Renewable Energy Agency (IRENA), 2015.
- MALEJ, J. 2000. Właściwości osadów ściekowych oraz wybrane sposoby ich unieszkodliwiania i utylizacji. *Rocznik Ochrona Środowiska 2000* (tom 2), Wydawnictwo Środkowo-Pomorskiego Towarzystwa Naukowego Ochrony Środowiska.
- MONNET, F. 2003. An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes, Remade Scotland.
- MYCZKO, A. i in. 2011. *Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych.* Poradnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Warszawa-Poznań.
- PAJĄK, T. 2014. Termiczne przekształcanie osadów ściekowych wobec wyzwań roku 2016. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* t. 17, nr 3.
- Regionalne Centrum Gospodarki Wodno-Ściekowej S.A.: Deklaracja Środowiskowa EMAS za rok 2013, Tychy 2014, [Online] Dostępne w: www.rcgw.pl/download.php?file=systemy_zarządzania_DEKLARACJA_EMAS.pdf [Dostęp 27.05.2015].
- ROMANIUK, W. i in. 2010. Potencjalne możliwości rozwoju biogazowni w gospodarstwach rolnych w Polsce. *Problemy Inżynierii Rolniczej* nr 4.
- ŚRODA, K. i in. 2012. Termiczne unieszkodliwianie osadów ściekowych. *Inżynieria Ekologiczna* nr 28.

- Urząd Regulacji Energetyki: Mapa odnawialnych źródeł energii na podstawie koncesji udzielonych przez Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki, [Online] Dostępne w: www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html [Dostęp: 28.05.2015].
- Urząd Regulacji Energetyki: Potencjał krajowy OZE w liczbach, [Online] Dostępne w: www.ure.gov.pl/pl/rynki-energii/energia-elektryczna/odnawialne-zrodla-ener/potencjal-krajowy-oze [Dostęp: 28.05.2015].
- WĘGLARZY, K. i STEKLA, J. 2009. Agrogazownia w ochronie środowiska rolniczego. *Wiadomości Zootechniczne* R. XLVII, 3.
- Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Opolu: Gospodarka komunalnymi osadami ściekowymi w województwie opolskim – opracowania dla roku 2011, 2012 oraz 2013, [Online] Dostępne w: www.opole.pios.gov.pl/wms/wms.php [Dostęp: 23.05.2015].
- ZDEBIK, D. i in. 2015. Badania symulacyjne procesu fermentacji w układzie komory psychrofilnej i komory mezofilnej w odniesieniu do ilości wytwarzanego biogazu. *Inżynieria Ekologiczna* vol. 42.

Strony internetowe:

www.energy-charts.de
www.pse.pl
www.rcgw.pl

Krystian KRUPA

Sustainable energy from biogas at wastewater treatment plants

Abstract

Generating energy in a sustainable manner has become both a priority as well as a determinant of modern societies. Fulfilment of the sustainability goal is achievable, among other methods, by means of anaerobic digestion, this being one of the oldest biochemical processes occurring naturally on Earth. Biogas resulting from digestion is a full-fledged renewable fuel with relatively high net energy content and ease of conversion into electricity or heat. Aside from the abovementioned benefits, anaerobic digestion plays a substantial ecological role stemming from its ability to neutralise hazardous organic waste, part of which is inter alia, wastewater sludge. Given the above premises, wastewater treatment plants which apply anaerobic digestion reap twofold benefits – the stabilization of sludge and the production of biogas – and demonstrates a good example of sustainable and self-sufficient energy microsystems.

The purpose of this article is to present the biogas energy subsector from the global, European, and Polish perspective, discuss the actual process of anaerobic digestion of sludge at wastewater treatment plants and – based on the example of Tychy-Urbanowice Wastewater Treatment Plant – analyse the resulting energy effect.

KEYWORDS: biogas, anaerobic digestion, wastewater treatment plant, sustainable energy, energy independence and self-sufficiency, renewable energy sources

