

Kofermentacja osadów ściekowych sposobem na ich zagospodarowanie oraz produkcję energii

Wpłynęło 07.02.2017 r.
Zrecenzowano 21.02.2017 r.
Zaakceptowano 07.03.2017 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

Wojciech CZEKAŁA^{ABCDEF}, **Anna SMURZYŃSKA**^{ABDEF},
Kamil KOZŁOWSKI^{BDEF}, **Michał BRZOSKI**^{BF},
Dawid CHEŁKOWSKI^{ADF}, **Katarzyna GAJEWSKA**^{EF}

*Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Rolnictwa i Bioinżynierii,
Instytut Inżynierii Biosystemów*

Do cytowania For citation: Czekała W., Smurzyńska A., Kozłowski K., Brzoski M., Chełkowski D., Gajewska K. 2017. Kofermentacja osadów ściekowych jako sposób na ich zagospodarowanie oraz produkcję energii. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Z. 1 (95) s. 5–14.

Streszczenie

Osady ściekowe, jako produkt oczyszczania ścieków, wymagają właściwego zagospodarowania. Dotychczas powszechną metodą utylizacji osadów było składowanie. Jednak od 1 stycznia 2016 r. obowiązuje zakaz magazynowania, co w wielu wypadkach komplikuje możliwość ich bezpiecznego i racjonalnego wykorzystania. W związku z tym poszukuje się różnych rozwiązań i technologii umożliwiających bezpieczną ich utylizację. Jedną z nich jest rolnicze wykorzystanie. Zasobność osadów w składniki pokarmowe i materię organiczną sprawia, że stanowią one odpad o dużej wartości nawozowej. Jednak należy podkreślić, że obecność w osadach zanieczyszczeń mineralnych oraz biologicznych powoduje często ograniczenia w rolniczej utylizacji. W praktyce coraz częściej wykorzystuje się technologię opartą na procesie fermentacji metanowej, w której osady ściekowe pełnią rolę kosubstratu. Rozkład beztlenowy utylizowanego substratu wzbogaca mieszanek fermentacyjną w materię organiczną, ale również w mikroflorę bakteryjną niezbędną do prawidłowego przebiegu tego procesu. Ponadto wykorzystanie osadów ściekowych w biogazowniach umożliwia higienizację tego substratu, ze względu na temperaturę, w jakiej zachodzi fermentacja metanowa. Proces ten pozwala również na uzyskanie stabilnego i zasobnego w składniki pokarmowe pofermentu, który jest odpadem bezpieczniejszym w porównaniu z surowymi osadami ściekowymi oraz na uzysk energii elektrycznej i/lub ciepłej, co wpływa na dochodowość instalacji. Celem niniejszej pracy była analiza aktualnego stanu wiedzy na temat najważniejszych kierunków zagospodarowania osadów ściekowych oraz możliwości ich wykorzystania w procesie fermentacji metanowej.

Słowa kluczowe: osady ściekowe, fermentacja metanowa, kofermentacja, oczyszczanie ścieków, biogaz

Wstęp

Zwiększenie emisji zanieczyszczeń oraz obserwowana degradacja środowiska powodują, że zagadnienia dotyczące ochrony środowiska naturalnego z każdym rokiem przybierają na znaczeniu. Dotyczy to wielu aspektów, wśród których wyróżnia się przede wszystkim produkcję energii ze źródeł odnawialnych, gospodarkę: odpadami, wodnościekową oraz odchodami zwierzęcymi [SMURZYŃSKA i in. 2016]. Wysoka skuteczność oczyszczania ścieków pozwala na ochronę wielu elementów środowiska, do których należą m.in. wody powierzchniowe oraz podziemne. Mówiąc o ściekach, pod uwagę należy wziąć dwa główne aspekty – oczyszczanie ścieków oraz zagospodarowanie powstających w wyniku tego działania osadów ściekowych. Analizując dane pochodzące z oczyszczalni ścieków można stwierdzić, że ilość powstających osadów ściekowych stanowi na ogół ok. 1–3% objętości doprowadzonych do oczyszczalni ścieków. Wielkość ta zależy w głównej mierze od składu samych ścieków, wykorzystywanej do ich przetwarzania technologii oraz stopnia degradacji substancji organicznej. Mając na uwadze zwiększenie liczby oczyszczalni ścieków oraz skuteczności oczyszczania, konieczne staje się poszukiwanie odpowiednich metod ich zagospodarowania [CZEKAŁA, CZEKAŁA 2012].

Celem niniejszej pracy była analiza aktualnego stanu wiedzy na temat najważniejszych kierunków zagospodarowania osadów ściekowych oraz możliwości ich wykorzystania w procesie fermentacji metanowej. Autorzy pracy omówili wybrane właściwości osadów ściekowych pod kątem ich przydatności do procesu fermentacji metanowej. Zapotrzebowanie na badania w omawianym temacie jest znaczące i wynika w głównej mierze z rosnącej ilości powstających osadów oraz rozwoju technologii w myśl idei *Waste to energy*.

Pochodzenie i charakterystyka osadów ściekowych

Zgodnie z Ustawą o odpadach [Ustawa... 2012], komunalne osady ściekowe to „pochodzące z oczyszczalni ścieków osady z komór fermentacyjnych oraz innych instalacji służących do oczyszczania ścieków komunalnych oraz innych ścieków o składzie zbliżonym do składu ścieków komunalnych”. Biorąc pod uwagę dynamiczny wzrost stopnia skanalizowania Polski, obserwuje się jednocześnie zwiększanie ilości powstających osadów ściekowych, co potwierdzają dane zaprezentowane w tabeli 1. W 2015 r. ilość ta wyniosła 568 tys. Mg w przeliczeniu na suchą masę i była aż o ok. 58% większa od ilości osadów wytworzonych w 2000 r. Sytuacja ta wynika przede wszystkim z dwóch czynników. Pierwszy, jak wspomniano wcześniej, to wzrost stopnia skanalizowania obszaru Polski, drugi związany jest z ulepszaniem technologii i sprawności oczyszczania ścieków.

Utylizacja uciążliwego i niebezpiecznego substratu odbywa się w kilku etapach. W trakcie oczyszczania ścieków powstają osady wstępne, wtórne oraz chemiczne, które w końcowym etapie po odwodnieniu stanowią swoistą mieszaninę [BŁASZCZYK, KRZYŚKO-ŁUPICKA 2014; VON SPERLING 2007]. Procesy oczyszczania osadów ściekowych są ściśle związane z koniecznością przygotowania osadów do dalszego zagospodarowania, w tym szczególnie rolniczego wykorzystania. Etapy postępowania z osadami nie zawsze mają jednolity schemat w każdej oczyszczalni, decyduje

Tabela 1. Komunalne osady ściekowe wytworzone na terenie oczyszczalni ścieków
Table 1. Municipal sewage sludge produced in the sewage treatment plant

Wyszczególnienie Specification	Ilość [tys. Mg s.m.] w roku: Quantity [thous. Mg DM] in year:				
	2000	2005	2010	2014	2015
Komunalne osady ściekowe Municipal sewage sludge	359,8	486,1	526,7	556,0	568,0

Źródło: GUS [2016]. Source: Central Statistical Office [GUS 2016].

bowiem o tym m.in. wielkość samej oczyszczalni, jak i możliwości finansowe. Na ogół im większy obiekt, tym bardziej rozbudowane są procesy technologiczne, począwszy od zagęszczania do utylizacji termicznej [OSTOJSKI, GAJEWSKA 2014].

Właściwości i kierunki zagospodarowania osadów ściekowych

Osady ściekowe z oczyszczalni komunalnych występują w różnych postaciach fizycznych, chociaż na ogół charakteryzują się stosunkowo dużym stopniem uwodnienia [HEIDRICH, TIUNAJTIS 2008]. To z kolei stwarza często poważne problemy technologiczne i ekonomiczne w kolejnych procesach ich przetwarzania, które są niezbędne ze względu na możliwość przyrodniczego, w tym i rolniczego wykorzystania osadów. Dlatego przetwarzanie osadów odbywa się na ogół w procesach zagęszczania, stabilizacji, higienizacji oraz odwodnienia lub w procesach jednostkowych usuwania wody, tzn. zagęszczaniu, odwadnianiu i suszeniu [SADECKA 2014].

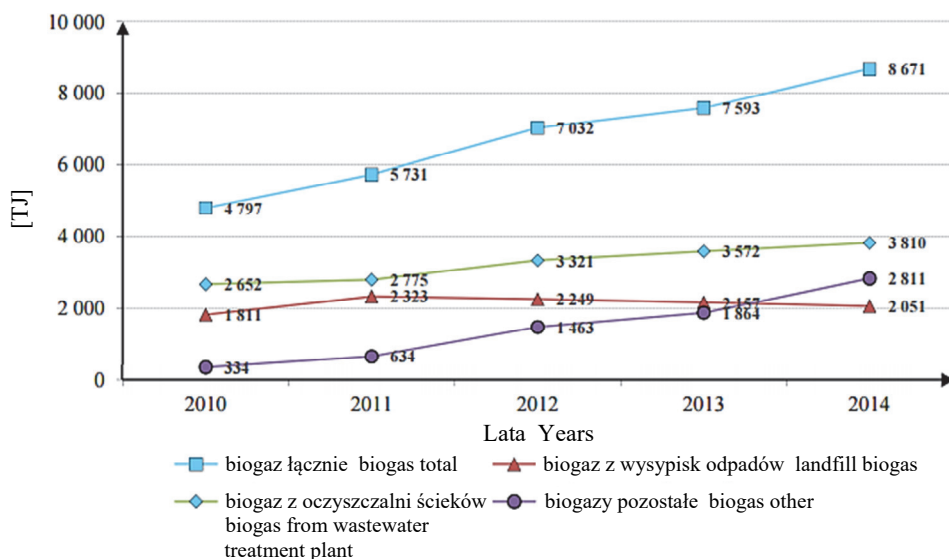
Szczególne znaczenie ma zagęszczanie osadów, którego najważniejszym celem jest zmniejszenie ilości wody, a co za tym idzie, zmniejszenie objętości osadów. Właściwie przeprowadzony proces ma duże znaczenie nie tylko dla dalszych procesów oczyszczania osadów, ale i dla aspektów ekonomicznych oczyszczalni. Przyjmuje się, że 2-krotnemu zwiększeniu ilości suchej masy w osadach odpowiada zmniejszenie o połowę objętości osadów [STIER, FISCHER 1998].

Również ważnym procesem jest odwodnienie osadów [GŁODNIOK, ZDEBIK 2016]. Proces ten, niezależnie od wykorzystywanych technologii, pozwala na zmniejszenie ich objętości i zwiększenie zawartości suchej masy, co ma wpływ na dalsze procesy technologiczne, ale też, co ważne, na czynnik ekonomiczny i łatwiejsze zagospodarowanie osadów. Innym ważnym parametrem osadów ściekowych mającym wpływ na dalsze przetwarzanie jest zawartość materii organicznej. W przypadku osadów wstępnych i wtórnych w stanie surowym parametr ten kształtuje się na poziomie sięgającym nawet do 80% w suchej masie. Informacja ta pozwala stwierdzić m.in., że osady są potencjalnie odpowiednim substratem do przetwarzania w procesach biologicznych i energetycznych. Jednak należy jeszcze sprawdzić inne parametry. Dotyczy to np. pH osadów ściekowych, które najczęściej mieści się w przedziale od 6,5 do 8,5, jak i składu chemicznego (zawartość m.in. makroelementów i metali ciężkich). W ocenie jakościowej osadów nie można pominąć również aspektów higienicznych związanych z obecnością mikroorganizmów, w tym patogenów, których obecność ogranicza możliwość wykorzystania osadów w rolnictwie [BABEL, DEL MUNDO DACERA 2006].

Odwodnione osady, bez względu na ich skład i właściwości, należy odpowiednio przetworzyć (m.in. w procesach stabilizacji oraz higienizacji). Najprostszą i często stosowaną metodą zagospodarowania osadów ściekowych jest ich bezpośrednie wykorzystanie w celach nawozowych. Spośród składników ważne znaczenie ma przede wszystkim azot oraz fosfor. Jednak, jak wspomniano wcześniej osady, mogą niekiedy zawierać metale ciężkie oraz mikroorganizmy chorobotwórcze. Ich zakres wraz z dopuszczalnymi limitami zawarto w Rozporządzeniu Ministra Środowiska [Rozporządzenie... 2015]. Brak świadomości wśród rolników oraz nie zawsze odpowiedni sposób przetwarzania osadów w oczyszczalniach ścieków powodują niekiedy obawy związane z wykorzystaniem osadów w rolnictwie bądź w rekultywacji terenów zdegradowanych. Poza tym, do końca 2015 r. alternatywną i często stosowaną w praktyce metodą zagospodarowania osadów było ich składowanie. Z dniem 1 stycznia 2016 r. obowiązuje zakaz magazynowania/przechowywania komunalnych osadów ściekowych na składowiskach odpadów [Rozporządzenie Ministra Gospodarki... 2015]. W związku z tym konieczne staje się poszukiwanie alternatywnych rozwiązań zagospodarowania osadów komunalnych. Wśród nich dominują procesy termiczne oraz biologiczne. Do najbardziej wydajnych rozwiązań zalicza się metody termiczne, co wynika z wysokiej efektywności produkcji energii [BIEŃ, BIEŃ 2015]. Wśród tych metod wyróżnić można przede wszystkim produkcję biopaliw stałych, spalanie, współspalanie, czy procesy alternatywne, obejmujące m.in. pirolizę oraz zgazowanie [BIEŃ 2012]. Alternatywą dla procesów termicznych jest stabilizowanie osadów w procesach biologicznych. W przypadku tych procesów, zachodzących w obecności tlenu, wyróżnia się proces kompostowania [CZEKAŁA i in. 2013]. Największą jego zaletą są względnie niskie koszty budowy i eksploatacji oraz uzyskanie stabilnego i bezpiecznego nawozu organicznego, jakim jest kompost [BIAŁOBRZEWSKI i in. 2015]. W ostatnich latach coraz większym zainteresowaniem cieszą się też biogazownie, czyli instalacje, w których odpady są stabilizowane w warunkach beztlenowych [CZEKAŁA i in. 2016]. Popularność tych technologii wynika w głównej mierze z produkcji kalorycznego gazu, jakim jest metan. Według danych GUS [2015], w 2014 r. w biogazowniach znajdujących się na terenie oczyszczalni ścieków wytworzono 3810 TJ energii. Oznacza to, że wytwarzanie energii z osadów komunalnych jest dominujące w porównaniu z biogazowniami rolniczymi oraz zlokalizowanymi na terenie składowisk odpadów (rys. 1).

Proces fermentacji i kofermentacji osadów ściekowych

Jak wspomniano wcześniej, zabrania się składowania m.in. ustabilizowanych komunalnych osadów ściekowych. Mając to na uwadze, poszukuje się alternatywnych metod ich zagospodarowania. Jedną z nich jest fermentacja metanowa charakteryzująca się wysokowydajnym procesem produkowanego biogazu, będącego mieszaniną gazów, wśród których dominuje metan (45–70%). Ponieważ metan jest gazem palnym o wysokim potencjale energetycznym, możliwe staje się jego przetworzenie na energię elektryczną i ciepło w silnikach kogeneracyjnych. W zależności od miejsca powstawania biogazu wyróżnia się biogazownie rolnicze, składowiskowe oraz działające przy oczyszczalniach ścieków. Niezależnie jednak od miejsca wytwarzania, produktem końcowym jest biogaz. Zasadniczą różnicę w powstających emisjach gazowych stanowi procentowy udział poszczególnych gazów (dwutlenku węgla, amoniaku, siarkowodoru). Największa zawartość metanu (55–65%) występuje w biogazie pochodzącym z instalacji rolniczych, z wykorzystaniem substratów o dużej zawartości



Źródło: GUS [2016]. Source: Central Statistical Office [GUS 2016].

Rys. 1. Pozyskiwanie biogazu według źródeł
Fig. 1. Biogas production by source

białka i tłuszczów. Biogazownie funkcjonujące na terenie oczyszczalni ścieków na ogół charakteryzują się nieco mniejszym procentowym udziałem metanu, na poziomie ok. 50–58%. Wynika to głównie ze składu rozkładanego substratu.

Proces rozkładu materii organicznej w warunkach beztlenowych jest procesem złożonym, a jego prawidłowy przebieg zależy od wielu czynników. Jednym z najważniejszych jest charakterystyka ilościowa i jakościowa wykorzystywanych substancji [CHANDRA i in. 2012]. Poza tym ważne jest dostarczanie odpowiedniej ilości substratów, tak aby nie przeciążyć komory materią organiczną. Konieczne jest również przebadanie wykorzystywanych materiałów pod kątem chemicznym i mikrobiologicznym, w celu ewentualnego wyeliminowania inhibującego wpływu niektórych zawartych składników na proces fermentacji.

Z technologicznego punktu widzenia istotnym czynnikiem jest również utrzymanie stabilnej i odpowiedniej temperatury dla mikroflory fermentacyjnej [KUMARAN i in. 2016; MAO i in. 2015]. Większość biogazowni w Europie Środkowo-Wschodniej pracuje z wykorzystaniem fermentacji w warunkach mezofilowych (temperatura ok. 39°C). W celu zwiększenia uzysku biogazu oraz skrócenia czasu rozkładu stosuje się również fermentację w warunkach termofilowych (52–56°C). Należy podkreślić, że jest to rozwiązanie bardziej energochłonne, co zwiększa koszty związane z ogrzewaniem komór fermentacyjnych. Poza tym na uwagę należy mieć większą wrażliwość bakterii termofilowych, nawet na niewielkie zmiany temperatury. Do zapewnienia odpowiednio wysokiej i stabilnej produkcji biogazu konieczne jest również zapewnienie odpowiednich parametrów procesowych fermentacji metanowej, tj. obciążenia objętościowego reaktora, czasu retencji oraz równomiernego wymieszania cieczy fermentacyjnej [KOZŁOWSKI i in. 2016].

Najważniejszą zaletą osadów ściekowych jako wsadu do biogazowni jest zawartość składników pokarmowych niezbędnych do rozwoju mikroorganizmów, to jest makro- i mikroelementów. Istotną cechą osadów są właściwości inokulujące. Można więc stwierdzić, że osady są nie tylko źródłem składników do produkcji biogazu, ale i podłożem zawierającym pożądane dla procesu mikroorganizmy.

Coraz częściej stosowanym rozwiązaniem technologicznym w procesie fermentacji metanowej (zarówno w biogazowniach rolniczych, jak i komunalnych) jest kofermentacja, czyli poddanie procesowi kontrolowanego rozkładu w jednej komorze fermentacyjnej co najmniej dwóch różnych substratów. Wykorzystanie tego rozwiązania, wiąże się najczęściej z koniecznością wcześniejszego ustalenia odpowiednich dla fermentacji proporcji składników pokarmowych dla bakterii (mikro- i makroelementów). Mając na uwadze degradację mieszaniny substratów podczas fermentacji, istnieje konieczność odpowiedniego doboru poszczególnych substratów, szczególnie pod kątem prawidłowego stosunku C/N. To bowiem minimalizuje możliwość wystąpienia niedoborów któregoś z tych pierwiastków, a w konsekwencji przeciwdziała zatrzymaniu procesu fermentacji [MAO i in. 2015]. Z doniesień literaturowych oraz badań własnych wynika, że substratami najczęściej wykorzystywanymi w kofermentacji z osadami ściekowymi są odpady tłuszczowe i rolno-spożywcze oraz wywar gorzelniany [GAZDA i in. 2012].

Wady i zalety wykorzystywania osadów ściekowych w procesie kofermentacji

Zastosowanie osadów ściekowych jako kosubstratu w procesie fermentacji metanowej, w szczególności dla substratów o dużej zawartości węgla (np. słoma), pozwala na dostarczenie substancji odżywczych niezbędnych do rozwoju mikroorganizmów. Dominującym składnikiem w osadach ściekowych, jak wspomniano wcześniej jest azot, będący w zasadzie jednym z najważniejszych makroelementów niezbędnym do prawidłowego przebiegu procesu fermentacji. Jednak zbyt duża jego zawartość w podłożu może przyczynić się do nagromadzenia azotu amonowego w cieczy fermentacyjnej, a w konsekwencji nawet do zatrzymania produkcji biogazu. Oznacza to, że forma amonowa azotu może być w nieodpowiednich warunkach czynnikiem inhibującym proces beztlenowej biodegradacji. Przyczyną tego może być wysokie pH, w wyniku czego następuje zakłócenie równowagi jonowej między NH_4 a NH_3 , który to gaz ma właściwości toksyczne. Uważa się, że ustabilizowana produkcja biogazu przebiega w warunkach, gdy pH wynosi od 7,2 do 8,2.

Do zalet kofermentacji zaliczyć można również możliwość zmniejszenia masy oraz objętości wykorzystywanych substratów, z jednoczesną produkcją energii. Ponadto fermentacja metanowa zapewnia ustabilizowanie i higienizację osadów ściekowych oraz innych stosowanych materiałów. Stosunkowo długi czas procesu fermentacji oraz warunki beztlenowe pozwalają na całkowitą redukcję patogenów, mimo nie najwyższej temperatury procesu (ok. 37°C). Kolejnym produktem procesu fermentacji metanowej, oprócz biogazu, jest pulpa pofermentacyjna, nazywana również pofermentem [CZEKAŁA i in. 2012]. Mając na uwadze fakt, że osady ściekowe są wsadem zasobnym w składniki niezbędne roślinom do rozwoju, powstały na ich bazie poferment stanowi także odpad o dużej wartości nawozowej [CIEŚLIK i in. 2014].

Zastosowanie kofermentacji w instalacji biogazowej umożliwia zagospodarowanie kilku odpadów jednocześnie, co przyczynia się do większego uniezależnienia się biogazowni od ewentualnych przerw w dostawach (co ma często miejsce w przypadku monofermentacji). Ma to duże znaczenie w stabilnej produkcji paliwa gazowego. Należy pamiętać, że osady ściekowe są substratem o specyficznych właściwościach, co umożliwi z powodzeniem ich wykorzystanie do produkcji energii ze źródeł odnawialnych. Wśród właściwości przemawiających za wykorzystaniem osadów w procesie fermentacji metanowej należy wyróżnić uwodnienie (umożliwiająca pompowanie), dużą zawartość materii organicznej oraz pH zbliżone do neutralnego. Pomimo wielu pozytywnych cech należy również wspomnieć o ich niekorzystnych właściwościach. Jako główną wadę można wyróżnić duże zróżnicowanie składu, co może być powodowane m.in. porą roku lub sezonowością dostaw ścieków do instalacji. Drugim istotnym problemem może być duża zawartość zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych, w tym szczególnie metali ciężkich oraz patogenów chorobotwórczych [HEIDRICH i in. 2008; SMITH 2009].

Podsumowanie

Osady ściekowe należy postrzegać nie tylko jako substrat o specyficznych parametrach, ale również jako materiał o dużym potencjale energetycznym i nawozowym. Kierunek ich zagospodarowania powinien zależeć w głównej mierze od ilości powstających osadów, ich właściwości oraz możliwości finansowych oczyszczalni. Jednym ze sposobów ich wykorzystania może być proces fermentacji metanowej, którego produkty końcowe (biogaz oraz pulpa pofermentacyjna) stanowią często dodatkowe źródło przychodu i poprawy bilansu ekonomicznego całej inwestycji. Wśród beneficjentów, oprócz oczyszczalni ścieków, można wymienić także dostawców substratów (m.in. rzeźnie, ubojnie czy zakłady przetwarzające produkty rolne i spożywcze), którzy nie będą zmuszeni do ponoszenia wysokich opłat związanych z utylizacją odpadów. Ponadto energia elektryczna i ciepło powstałe w wyniku spalania biogazu w silnikach kogeneracyjnych mogą zostać zagospodarowane na potrzeby własne instalacji (np. na pracę pomp, suszenie osadów, ogrzewanie zbiorników i pomieszczeń) lub sprzedane do lokalnej sieci.

Bibliografia

- BABEL S., DEL MUNDO DACERA D. 2006. Heavy metal removal from contaminated sludge for land application: a review. *Waste Management*. Vol. 26. No. 9 s. 988–1004.
- BŁASZCZYK K., KRZYŚKO-LUPICKA T. 2014. Overview of the research methods for sewage sludge used in Poland. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*. T. 17. Nr 1 s. 117–133.
- BIAŁOBRZEWSKI I., MIKŠ-KRAJNIK M., DACH J., MARKOWSKI M., CZEKAŁA W., GŁUCHOWSKA K. 2015. Model of the sewage sludge-straw composting process integrating different heat generation capacities of mesophilic and thermophilic microorganisms. *Waste Management*. Vol. 43 s. 72–83.
- BIEŃ J.D. 2012. Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi [Utilisation of sewage sludge in Poland by thermal method]. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*. T. 15. Nr 4 s. 439–449.
- BIEŃ J.D., BIEŃ D. 2015. Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi w obliczu zakazu składowania po 1 stycznia 2016 [Utilisation of municipal sewage

sludge by thermal methods in the face of storage disallowing]. *Inżynieria Ekologiczna*. Vol. 45 s. 36–43.

CHANDRA R., TAKEUCHI H., HASEGAWA T. 2012. Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 16. No. 3 s. 1462–1476.

CIEŚLIK M., LEWICKI A., RODRÍGUEZ CARMONA P. C., CZEKAŁA W., JANCZAK D., WITASZEK K., DACH J. 2014. Badania separacji na frakcje stałą i ciekłą gnojowicy i pulpy pofermentacyjnej [Research on slurry and digestate pulp separation on the solid and liquid fraction]. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*. Vol. 16. Nr 2 s. 43–48.

CZEKAŁA J., CZEKAŁA W. 2012. Wpływ różnych odpadów organicznych na dynamikę zmian zawartości suchej masy, materii organicznej oraz węgla organicznego w kompostach [Impact of different organic waste materials on the dynamics of changes in the contents of dry matter, organic matter and organic carbon in composts]. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. Vol. 56. No. 3. s. 47–50.

CZEKAŁA W., PILARSKI K., DACH J., JANCZAK D., SZYMAŃSKA M. 2012. Analiza możliwości zagospodarowania pofermentu z biogazowni [Analysis of management possibilities for digestate from biogas plant]. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*. Nr 4 s. 13–15.

CZEKAŁA W., WITASZEK K., RODRIGUEZ CARMONA P. C., GRZELAK M. 2013. Instalacje do przemysłowego kompostowania bioodpadów: wady i zalety [Composting systems for industrial biowastes: advantages and disadvantages]. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*. Nr 2 s. 23–25.

CZEKAŁA W., SZEWCZYK P., KWIATKOWSKA A., KOZŁOWSKI K., JANCZAK D. 2016. Produkcja biogazu z odpadów komunalnych [Biogas production from municipal solid waste]. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*. Nr 5 s. 21–25.

GAZDA M., RAK A., SUDAK M. 2012. Badania konfermentacji osadów ściekowych z tłuszczami odpadowymi w oczyszczalni [Research on cofermentation of sewage sludge with waste fats for the wastewater treatment plant in Brzeg]. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 3/III s. 79–90.

GŁODNIOK M., ZDEBIK D. 2016. Badanie skuteczności odwadniania przefermentowanych osadów ściekowych z zastosowaniem polielektrolitu żelowego na bazie polimerów organicznych [Study of the digested sludge deatering effectiveness using polyelectrolyte gel based on organic polymers]. *Inżynieria Ekologiczna*. Vol. 46 s. 100–108.

GUS 2015. Energia ze źródeł odnawialnych w 2014 r. [Energy from renewable sources in 2014]. Warszawa. ISSN 1898-4347 ss. 70.

GUS 2016. Ochrona środowiska 2016 [Environment 2016]. Warszawa. ISSN 0867-3217 ss. 560.

HEIDRICH Z., TIUNAJTIS K. 2008. Ilości osadów pochodzących z wiejskich oczyszczalni ścieków i kierunki ich unieszkodliwiania [About quantities of sludge from household wastewater treatment plants and directions of their disposal]. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 5 s. 191–198.

KOZŁOWSKI K., DACH J., LEWICKI A., CIEŚLIK M., CZEKAŁA W., JANCZAK D. 2016. Parametry środowiskowe oraz procesowe fermentacji metanowej prowadzonej w trybie ciągłym (CSTR) [Environmental and process parameters of methane fermentation in continuously stirred tank reactor (CSTR)]. *Inżynieria Ekologiczna*. Vol. 50 s. 153–160.

KUMARAN P., HEPHZIBAH D., SIVASANKARI R., SAIFUDDIN, N., SHAMSUDDIN A. H. 2016. A review on industrial scale anaerobic digestion systems deployment in Malaysia: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 56 s. 929–940.

MAO C., FENG Y., WANG X., REN G. 2015. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 45 s. 540–555.

OSTOJSKI A., GAJEWSKA M. 2014. Możliwości energetycznego wykorzystania osadów ściekowych jako paliwa [Possibilities of energy use sewage sludge as fuel]. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*. Vol. 17. No. 4 s. 521–531.

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach. *Dz.U.* 2015 poz. 1277.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. *Dz.U.* 2015 poz. 257.

SADECKA Z. 2014. Przyrodnicze zagospodarowanie osadów ściekowych. W: *Metody zagospodarowania osadów ściekowych [Environmental management of sewage sludge. In: Management methods of sewage sludge]*. Materiały konferencyjne, 2–3 czerwca 2014, Zielona Góra s. 11–22.

SMITH S. R. 2009. Organic contaminants in sewage sludge (biosolids) and their significance for agricultural recycling. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. Vol. 367 s. 4005–4041.

SMURZYŃSKA A., DACH J., DWORECKI Z., CZEKAŁA W. 2016. Emisje gazowe podczas gospodarki gnojowicą [Gas emissions during slurry management]. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*. T. 19 s. 109–125.

VON SPERLING M. 2007. *Basic principles of wastewater treatment*. London, New York. Publishing IWA ss. 408.

STIER E., FISCHER M. 1998. *Podręczny poradnik eksploatacji oczyszczalni ścieków [Handbook for the operation of the wastewater treatment plant]*. Warszawa. Wydaw. Seidel-Przywecki ss. 498.

Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach. *Dz.U.* 2013 poz. 21.

***Wojciech Czekala, Anna Smurzyńska, Kamil Kozłowski, Michał Brzoski,
Dawid Chełkowski, Katarzyna Gajewska***

SEWAGE SLUDGE CO-DIGESTION AS A WAY OF RECYCLING WASTE AND PRODUCING ENERGY

Summary

Waste water treatment in form of sewage sludge require proper disposal, such as storage which has been a common method so far. However, since January 1st, 2016 storage is legally forbidden, which in many cases complicates their safe and rational usage. For this reason, different technologies and solutions are being observed ensuring safe disposal. One of them is the agricultural use due to the abundance of waste in nutrients and organic matter. This makes sludge a valuable fertilizer which can be later used for agricultural purposes. However, the presence of mineral and biological pollutants often cause restrictions on agricultural utilization. More often for recycling sludge a methane fermentation technology is used, where sludge serves as a co-substrate. The recycled substrate in anaerobic fermentation is enriched by organic matter but also by microflora necessary for the proper process flow. Moreover, the use of sludge in a biogas plant allows for the substrate hygienisation, due to the temperature at which the methane

fermentation takes place. This process results in achieving stable and nutritional digestate, which is safer in comparison to the raw sludge. This process will simultaneously yield electricity and/or heat, which affects the profitability of the system. However, the varied composition of sewage sludge and the presence of chemical and biological contaminants can contribute to the reduction of the plant efficiency planned. Therefore, the possibility of disposal of sewage sludge in biogas plants, requires periodic analysis. The aim of the study was to analyze current knowledge about sewage sludge management and their potential for methane fermentation.

Key words: sewage sludge, methane fermentation process, co-fermentation, wastewater treatment, biogas

Adres do korespondencji:

dr inż. Wojciech Czekala
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Rolnictwa i Bioinżynierii
Instytut Inżynierii Biosystemów
ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań
tel. 794-265-938; e-mail: wojciech.czekala@up.poznan.pl