



Biosuszenie pofermentu z biogazowni rolniczych

Andrzej Białowiec^{, **}, Dariusz Wiśniewski^{**}, Jakub Pulka^{*},
Mariusz Siudak^{***}, Bogdan Jakubowski^{***}, Bartosz Myślak^{***}*

^{}Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław*

*^{**}Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn*

*^{***}Instytut Energii Sp. z o.o., Olsztyn*

1. Poferment z biogazowni rolniczych

Beztlenowa stabilizacja odpadów sprzężona z produkcją i energetycznym wykorzystaniem biogazu jest jednym z obiecującym kierunków osiągnięcia korzyści środowiskowych i ekonomicznych [5, 6]. Biogazownie mogą być zarówno źródłem energii odnawialnej w terenach rolniczych jak również ograniczać uciążliwości środowiskowe wynikające z działalności rolniczej [8, 13, 10]. Biogazownie stanowią unikalną technologię pozwalającą na przetwarzanie odpadów, produkcję i wykorzystanie energetyczne biogazu oraz wytwarzanie nawozu organicznego, który z powodzeniem może zastąpić nawozy mineralne. Jednakże, jednym z zidentyfikowanych problemów są aspekty logistyczne. Rosnąca liczba biogazowni, szczególnie tych dużych o mocy powyżej 0,5 MW energii elektrycznej skutkuje wzrostem odległości transportu zarówno substratów (biomasy wsadowej) jak i pozostałego pofermentu. Opracowano kilka idei rozwiązania tego problemu. Jedną metodą jest wykorzystanie pofermentu z biogazowni bezpośrednio w środowisku w celach nawozowych. Poferment z biogazowni rolniczej jest nawozem organicznym bogatym w substancje odżywcze, przez co jego zawrótce do środowiska zmniejszyć może zużycie nawozów mineralnych oraz poprawić właściwości gleby. Wynika to z faktu, iż składniki pofermentu, szczególnie zawierające celulozę i ligniny, nie ulegają całkowitej biodegradacji, dzięki czemu do gleby wprowadzany jest węgiel organiczny. Poferment

bogaty jest także w inne składniki: azot, fosfor, potas, których proporcja determinowana jest pochodzeniem biomasy wsadowej do biogazowni. W literaturze wielokrotnie wykazano korzystny wpływ na produkcję roślin oraz właściwości gleby nawozowego wykorzystania pofermentu [2, 9, 19]. Występuje jednak kilka problemów związanych z nawozowym wykorzystaniem pofermentu.

Po pierwsze akumulacja biogazowni na małej przestrzeni, prowadzi może do przedawkowania pofermentu i przenawożenia gleb. Zjawisko to może być także wzmocnione przez dodatkowe rolnicze stosowanie innych nawozów organicznych pochodzących z hodowli zwierząt. Efektem tego może być zachwianie stosunków wodno-powietrznych w glebie oraz zanieczyszczenie wód gruntowych azotem. W przypadku gdy dostępna powierzchnia pod uprawy jest zbyt mała w stosunku do dostępnego pofermentu, prawidłowe stosowanie tego nawozu wymaga jego transportu na większe odległości do miejsc o deficycie nawozowym [14]. Dodatkowo, zawarty w pofermencie azot, stanowić może problem w ujęciu spełnienia standardów europejskich w zakresie stosowania odpadów i azotu w środowisku. W Polsce warunki rozprowadzania odpadów pofermentacyjnych w celu nawożenia określa bezpośrednio Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 listopada 2007 r. w sprawie procesu odzysku R10 (Dz. U. z 2007 r., Nr 228, poz. 1685) oraz Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz. U. z 2007 r., Nr 147, poz. 1033). Ograniczona stosowalność pofermentu jako nawozu może wystąpić także w zimie, jak również w terenach zagrożonych nadmierną eutrofizacją (pojezierza, zlewnie rzek).

Innym problemem środowiskowym związanym ze stosowaniem nieprzetworzonego pofermentu w środowisku jest emisja NH_3 oraz innych związków złoonych [1]. Wykazano, iż około 70% azotu może zostać wyemitowane po nawiezieniu pól pofermentem [3]. Zjawisko to występuje szczególnie intensywnie gdy odczyn pofermentu jest powyżej 8,0 [12]. Rozwiązaniem tego problemu może być prawidłowy harmonogram nawożenia oraz niska trajektoria nawożenia.

Innym problemem jest konieczność budowy zbiorników retencyjnych, w których poferment może być magazynowany do momentu wywiezienia na pole [16, 18].

Czynnikiem wpływającym na trudności w magazynowaniu, transporcie i stosowaniu rolniczym jest bardzo wysoka zawartość wody w surowym pofermencie >95%. Z tego względu magazynowaniu, transportowi czy aplikacji na pola podlega głównie woda.

Podsumowując, stwierdzić można iż surowy, nieprzetworzony poferment jest odpadem trudnym do zagospodarowania, jednakże stanowić może źródło nawozowe, jak również potencjalne paliwo, konieczne jest jednak znaczące odwodnienie tego materiału.

W celu obniżenia zawartości wody i azotu stosowano wiele metod, głównie opartych na odwadnianiu i suszeniu pofermentu. Wysokie uwodnienie pofermentu można obniżyć następującymi metodami:

- fizyczną: sedymentacja, suszenie, filtracja membranowa,
- mechaniczną: wirówki, prasy,
- termiczno-ciśnieniową: odparowanie [14].

Odwodnienie pofermentu, czy też dalsze jego wysuszenie stanowi rozwiązanie wymienionych wcześniej problemów logistycznych i środowiskowych. Dodatkowo odwodnienie i wysuszenie pofermentu przynieść może szereg nowych korzyści, nie branych pod uwagę wcześniej, przy zagospodarowaniu surowego pofermentu. Suchy poferment może być wykorzystany bezpośrednio w procesach termicznych do produkcji energii, może być przetworzony w dobrej jakości paliwo drugiej generacji, jak również możliwe jest uzyskanie biocharu (biowęgla) do zastosowań nawozowych. Wymienione możliwości są obecnie na etapie intensywnych badań. Dotychczas stosowane metody osuszania pofermentu wymagają zewnętrznego źródła ciepła, są także energochłonne. Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie procesu biosuszenia.

Technologia biosuszenia odpadów jest stosowana powszechnie jako element mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów komunalnych (MBP) [15]. W gospodarce odpadami, termin biosuszenie może dotyczyć: reaktorów, w których procesy biologicznego przetwarzania odpadów zachodzą; samych procesów zachodzących w reaktorach, jak również instalacji, która wyposażona jest w reaktor do biosuszenia odpadów [7]. Termin ten zatem obejmuje kilka poziomów począwszy od przebiegających procesów, warunków je charakteryzujących, jak również logistyki funkcjonowania instalacji przetwarzania odpadów oraz zagospodarowania produktów poprocesowych.

Głównym celem biosuszenia jest uzyskanie w jak najkrótszym czasie wysokojakościowego stałego paliwa zastępczego przy udziale procesów biologicznych. Jest to osiągnięte poprzez: zwiększenie wartości opałowej w wyniku obniżenia zawartości wody w odpadzie, jak również ograniczenia pełnego rozkładu biochemicznego materii organicznej. Co jest warto podkreślić, w wyniku wysuszenia materiał jest stabilny i łatwy w krótko terminowym magazynowaniu i transporcie. Ze względu na termofilowe temperatury procesu, zachodzi także częściowa sanitacja materiału.

W inżynierii środowiska stosowane zazwyczaj technologie suszenia wykorzystują zewnętrzne źródło ciepła. Tak jest w przypadku wytwarzania paliwa RDF, czy też suszeniu osadów ściekowych. Biosuszenie wykorzystuje natomiast wewnętrzne źródło ciepła jakim są zachodzące w masie odpadów intensywne procesy biochemiczne. Wilgotność usuwana jest dwuetapowo: najpierw cząsteczki wody odparowują z powierzchni odpadów do przestrzeni powietrznych pomiędzy ziarnami odpadów, a następnie są transportowane i usuwane z układu przez przepływające powietrze. Dodatkowo niewielka ilość wody może się skraplać, przesiąkać przez odpady i odpływać z układu w postaci odcieków. Energia niezbędna do przejścia fazowego wody z postaci ciekłej do gazowej, dostarczana jest głównie z procesów rozkładu biologicznego [17].

Obecnie stosowane technologie komercyjne biosuszenia zmieszanych odpadów komunalnych pozwalają w ciągu 5–15 dni w wyniku biosuszenia obniżyć masę wsadu od 25 do 35% masy. Głównymi produktami przemian, oprócz poprocesowej masy odpadów o niskiej wilgotności są para wodna oraz CO₂.

Zaproponowano zastosowanie procesu biosuszenia do znaczącego obniżenia masy pofermentu z biogazowni rolniczej.

Celem pracy jest podanie możliwości suszenia pofermentu z biogazowni rolniczych poprzez biosuszenie z uwzględnieniem analizy kinetyki i efektywności procesu.

2. Materiały i metody

Poferment stosowany w badaniach pochodził z biogazowni zlokalizowanej w Eksperymentalnej Stacji Badawczej w Bałdach, w Polsce (N53° 36' 1.8073", E20° 36' 8.5295"). Stosowano następujące parametry technologiczne fermentora:

- wilgotność wsadu 90%,
- całkowita objętość jednokrotnego wsadu 1,2 m³,
- całkowity ładunek materii organicznej 2,3 kg s.m.o./m³ (s.m.o. – sucha masa organiczna),
- temperatura procesu 35–40°C,
- czas zatrzymania w zbiorniku pre-fermentacyjnym 3 dni,
- czas zatrzymania w zbiorniku fermentacyjnym 20 dni,
- czas zatrzymania w zbiorniku po-fermentacyjnym 20 dni.

Odwadnianie pofermentu wykonano w szczelinowym separatorze ślimakowym o wydajności 2,5 m³/h. Podczas odwadniania współczynnik separacji pomiędzy frakcją stałą a ciekłą wyniósł 0,166. Właściwości pofermentu świeżego oraz odwodnionego (przed biosuszeniem) przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Tabela 1. Właściwości nawozowe pofermentu

Table 1. Nutritional properties of digestate

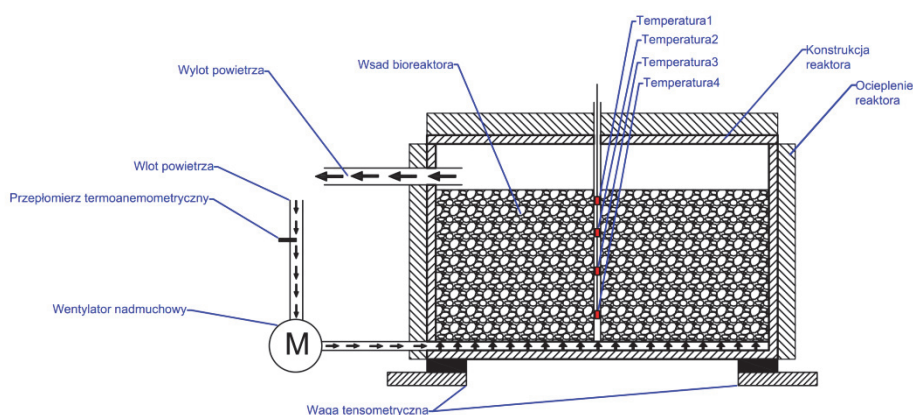
Typ pofermentu	Parametr									
	Odczyn	Wilgotność	Straty przy prażeniu	N	N-NH ₄ ⁺	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Na ₂ O
	pH	%	% s.m.*	% s.m.	mg/kg s.m.	% s.m.	% s.m.	% s.m.	% s.m.	% s.m.
Świeży	8,24	94,6	69,0	7,2	1830,0	2,4	6,6	1,3	3,5	1,3
Odwodniony	9,03	79,5	86,4	2,6	692,9	1,7	2,5	0,8	2,3	0,7

* s.m. – sucha masa

Tabela 2. Zawartość zanieczyszczeń w pofermencie**Table 2.** Pollutants content in digestate

Typ pofermentu	Parametr						
	Cu	Zn	Mn	Fe	Zasolenie	S	Cl
	mg/kg s.m.	mg/kg s.m.	mg/kg s.m.	mg/kg s.m.	g/dm ³	% s.m.	mg/dm ³
Świeży	224	340	569	1206	11,5	0,4	101
Odwodniony	48	138	158	927	4,3	0,3	94

Odwodniony poferment został zmieszany ze zrębkami drzewnymi w proporcji 45:55, odpowiednio. Tak przygotowaną mieszaninę umieszczono w reaktorze kontenerowym (rysunek 1).

**Rys. 1.** Schemat reaktora do biosuszenia pofermentu**Fig. 1.** Scheme of bioreactor for digestate biodrying

Po umieszczeniu pofermentu w reaktorze rozpoczęto napowietrzanie suszonej masy. Proces trwał 4 tygodnie, przy średnim wydatku powietrze, w przeliczeniu na masę mieszaniny 0,025 m³/kg·h.

W czasie procesu mierzono temperaturę w reaktorze, masę pofermentu w reaktorze oraz zużycie energii.

Jako system sterowania i akwizycji danych został użyty program Promotic. Jest to oprogramowanie SCADA (ang. Supervisory Control And Data Acquisition) służące do wizualizacji i sterowania procesami technologicznymi w szerokim spektrum gałęzi przemysłu. System sterowania miał za zadanie komunikację z urządzeniami peryferyjnymi i zapis

danych pomiarowych do lokalnej bazy danych jak i bazy danych na zewnętrznym serwerze.

Do pomiaru objętościowego natężenia przepływu powietrza dostarczanego do bioreaktora zastosowano sondę termooanemometryczną STA300 wraz z przetwornikiem MTA20. Przetwornik wysyła informacje o prędkości powietrza przepływającego przez rurę wlotową powietrza. Wartość prędkości przeliczana była w systemie na objętościowe natężenie przepływu.

Pomiar temperatury w reaktorze został zrealizowany przy wykorzystaniu wodoodpornych, cyfrowych przetworników temperatury DS18B20. Czujniki temperatury podłączone zostały do modułu pomiaru temperatury WIRE-CHIP. Moduł WIRE-CHIP realizował również pomiar wilgotności otoczenia wykorzystując czujnik wilgotności HIGRO-CHIP.

Masa wsadu bioreaktora mierzona była przez cztery tensometry na których umieszczony został bioreaktor. Tensometry współpracowały z miernikiem wagowym SWI-94.

Sterowanie wydajnością wentylatora nawiewowego odbywało się poprzez jednofazowy falownik ATV12H055M2 o mocy 0,55 kW.

Moc zużytą w trakcie trwania procesu zarejestrowano używając trójfazowego licznika zużycia energii elektrycznej LE-03M

Wszystkie wyżej wymienione urządzenia komunikowały się z systemem nadrzędnym za pomocą magistrali RS-485 protokołem Modbus.

Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono stopień utraty masy %, stałą szybkości utraty masy k [1/h] (reakcja I-ego rzędu), szybkość utraty masy [kg/h] oraz całkowite i jednostkowe zużycie energii na usunięcie kilograma masy pofermentu.

Stałą szybkości utraty masy k [1/h] oszacowano na podstawie równania:

$$M_t = M_0 \cdot e^{(-k \cdot t)} \quad (1)$$

gdzie:

M_t – masa mieszaniny w czasie t [kg],

M_0 – masa początkowa mieszaniny [kg],

t – czas [h].

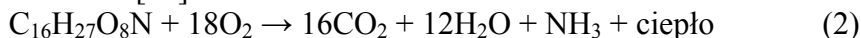
Estymacje nieliniową walidowano poprzez wyznaczenie współczynnika determinacji R^2 . Estymację oraz rysunki wykonano w programie Statistica 11.

3. Wyniki i dyskusja

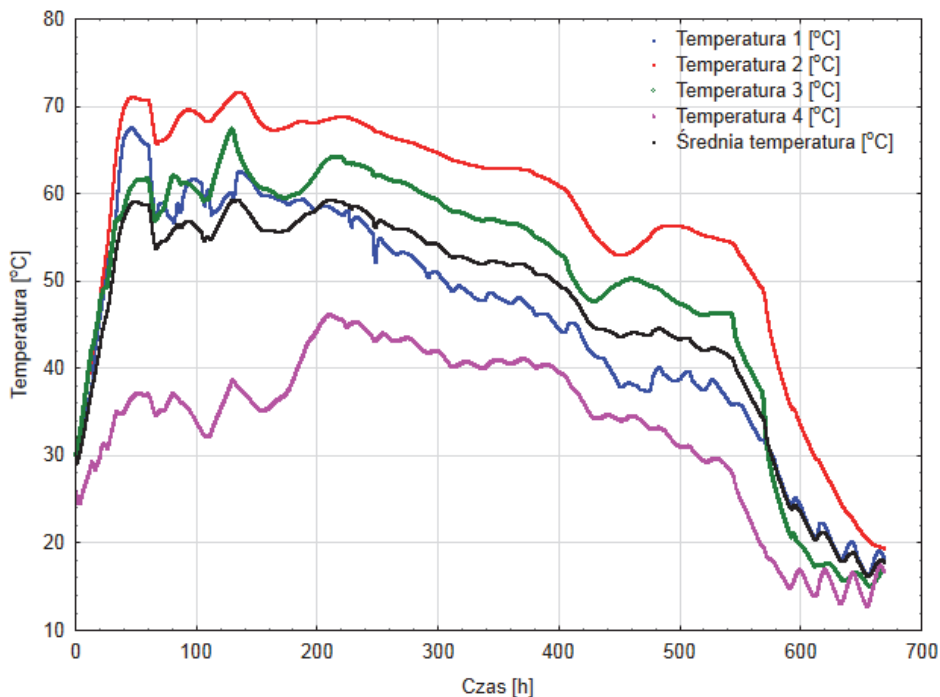
3.1. Zmiany temperatury w trakcie procesu

Zgodnie z oczekiwaniami obserwowano wystąpienie gradientu termicznego (rysunek 2), co jest zjawiskiem charakterystycznym dla reaktorów wsadowych napowietrzanych odpodłogowo. Sondy zlokalizowane najbliżej dna rejestrowały temperatury najniższe. W kolejnych sondach umieszczonych w wyższych warstwach odpadów obserwowano wzrost mierzonych temperatur. Zjawisko to wynika ze stopniowego obniżenia prędkości przepływu w kolejnych warstwach wsadu, wynikających z oporów filtracji. W dolnych warstwach, gdzie prędkości przepływu powietrza są większe, pomimo dobrego natlenienia, następuje wychłodzenie masy wsadu zarówno na drodze konwekcji jak i odparowania wody. Gradient termiczny utrzymywał się przez cały okres eksperymentu. Temperatura w reaktorze ulegała wahaniom w zależności od etapu procesu (rysunek 2). Średnia temperatura w reaktorze w pierwszych 10 dniach procesu zmieniała się w zakresie od 55 do blisko 60°C, po czym obserwowano jej stopniowy spadek do około 40°C w trakcie kolejnych 2 tygodni. W ostatnim tygodniu nastąpiło wychłodzenie reaktora do temperatury poniżej 20°C. Taki przebieg procesu biosuszenia został potwierdzony przez autorów w trakcie badań nad biosuszeniem [4] odpadów komunalnych jak i w literaturze [17]. W pierwszym okresie następuje intensywny wzrost temperatury wynikający z rozpoczynających się i stopniowo intensyfikujących procesów rozkładu materii organicznej. W tym czasie w wyniku rozkładu materii organicznej wydzielane jest ciepło. Ilość wydzielonego ciepła w trakcie przemian biologicznych, była badana przez wielu autorów. Jej wartość mieści się w zakresie od 17,8 do 24,7 (kJ/g usuniętej s.m.), w przeliczeniu na usuniętą materię organiczną wartość ta może sięgać 28,0 [kJ/g usuniętej s.m.o. [11].

W wyniku rozkładu materii organicznej wydziela się woda zgodnie z równaniem [11]:



Z tego wynika, iż z 1 kg s.m.o. powstaje 0,6 kg wody. Pomimo tego, utrata wody z systemu, w wyniku wynoszenia pary wodnej przez przepływające powietrze, następuje stopniowy spadek wilgotności. W efekcie tego procesy rozkładu materii organicznej ulegają stopniowemu spowolnieniu, co w niniejszych badaniach objawiło się po około 10 dniach. W ostatnim tygodniu obserwowano szybki spadek temperatury w reaktorze. Mogło to być spowodowane znaczącym pogorszeniem warunków dla mikroorganizmów, które w istotny sposób spowolniły przemianę materii w związku ze zbyt niską wilgotnością wsadu.

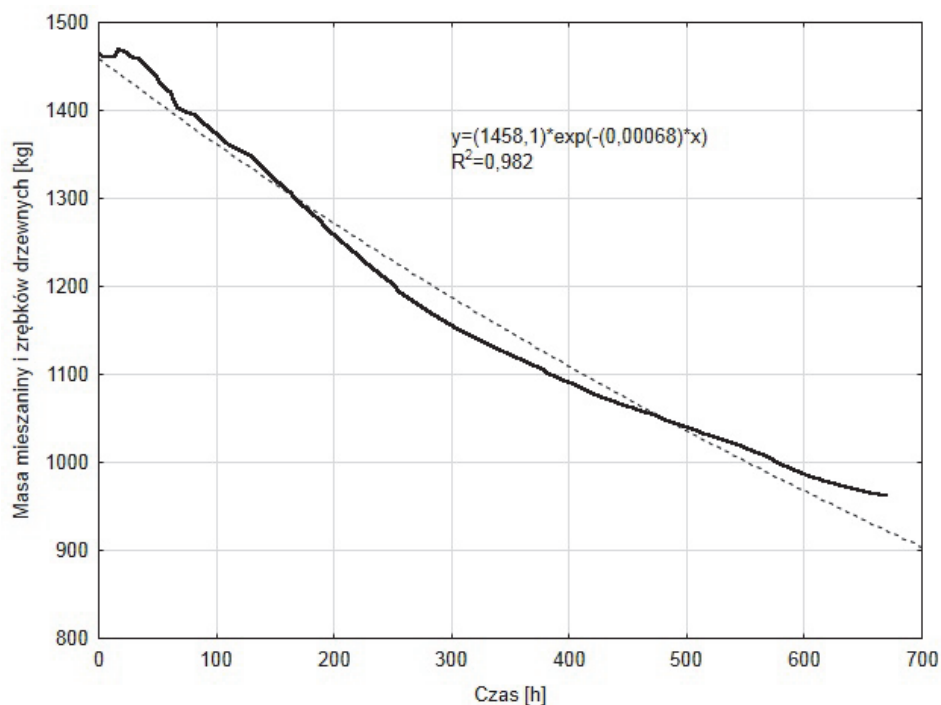


Rys. 2. Zmiany temperatury w reaktorze w trakcie procesu biosuszenia pofermentu

Fig. 2. Temperature changes in the bioreactor during digestate biodrying

3.2. Kinetyka utraty masy i efektywność procesu

Stwierdzono, iż utrata masy ma charakter reakcji I-ego rzędu. Wyznaczono stałą szybkości utraty masy k , która wyniosła około 0,00068 [1/h]. Poprzez przemnożenie stałej k , z masą początkową wsadu M_0 określono prędkość utraty masy r [kg/h], która wyniosła 0,99 kg/h.



Rys. 3. Zmiana masy wsadu w trakcie biosuszenia mieszaniny pofermentu i zrębek drzewnych

Fig. 3. Feedstock weight loss during digestate and wood chips mixture biodrying

W wyniku procesu biosuszenia, przy średnim wydatku powietrza 0,025 m³/kg·h, uzyskano utratę masy 502 kg, co stanowi 76% masy początkowej w odniesieniu do masy pofermentu oraz 34% w stosunku do masy początkowej mieszaniny pofermentu i zrębek.

Przeprowadzone badania technologiczne w reaktorze do biosuszenia pofermentu wykazały bardzo niskie zapotrzebowanie energetyczne na usuwanie wody z pofermentu. Całkowite zużycie energii elek-

trycznej wyniosło 14,792 kWh, co odpowiada 0,0295 kWh/kg usuniętej masy. Przy założonej cenie prądu elektrycznego 0,55 PLN/kWh daje to koszt 0,016 PLN na kg usuniętej masy (16 PLN/Mg). Zaprojektowane urządzenie jest bioreaktorem wsadowym w którym wykorzystuje się procesy biologicznego rozkładu materii organicznej w celu wytworzenia ciepła procesowego do odparowania wilgotności. Jest to główna przyczyna niskiej energochłonności oraz bardzo dobrej ekonomiki procesu.

3.3. Dalsze kierunki badań

Przedstawione wyniki prezentują pierwsze próby nad technologią biosuszenia pofermentu. Proces poddany zostanie optymalizacji. Optymalne biosuszenie może być osiągnięte w wyniku prawidłowego zaprojektowania reaktora, wstępnego kondycjonowania materiału wsadowego połączonego z monitoringiem i doбором parametrów technologicznych. Prowadzenie procesu powinno polegać na dostosowaniu parametrów, na podstawie monitoringu warunków jak i efektywności procesu. Typowe projektowe i eksploatacyjne działania dotyczyć będą:

- kondycjonowania materiału wsadowego poprzez dobór proporcji z materiałem strukturalnym,
- wyboru rodzaju reaktora (reaktory kontenerowe, bębnowe, przyzmy tunelowe itp.) - reaktory obrotowe, bębnowe powodują większe ujednoczenie warunków procesu, jednakże najczęściej stosowane są reaktory okresowe, statyczne,
- projektu systemu napowietrzania – ze względu na problemy związane z występowaniem gradientu temperaturowego przy jednostronnym napowietrzaniu od dołu, prowadzone są próby z systemami obrotowych reaktorów, jak również z napowietrzaniem odwróconym (reaktor posiada dwie dysze wlotowe powietrza pracujące naprzemiennie); możliwym wyborem jest również napowietrzanie ciśnieniem wymuszonym lub też podciśnieniem – (napowietrzanie poprzez stworzenie warunków podciśnienia powoduje lepszą dystrybucję powietrza wewnątrz masy odpadów),
- dostosowanie wielkości przepływu powietrza poprzez regulację ilości podawanego powietrza na podstawie kontroli parametrów wewnętrznych: temperatura masy odpadów, wilgotność odpadów, masa odpadów,

- zastosowanie zewnętrznych systemów kontroli wilgotności powietrza doprowadzanego i odprowadzanego, w celu stworzenia wewnątrz reaktora jak największego deficytu wilgotności, usunięcia jej nadmiaru w postaci kondensatu, i zawrócenia części powietrza,
- dobór odpowiedniego czasu zatrzymania wsadu w reaktorze, pozwalającego na uzyskanie zakładanej jakości materiału do produkcji np. nawozu z pofermentu.

W celu uzyskania wysokich efektów biosuszenia pofermentu z biogazowni rolniczych, przy jednoczesnym jak najmniejszym zużyciu energii elektrycznej na pracę wentylatora konieczne jest opracowanie optymalnego przebiegu pracy bioreaktorów w ciągu roku kalendarzowego (różne warunki atmosferyczne). Praca bioreaktora zależy od masy umieszczonych w nim odpadów, a więc od tzw. obciążenia bioreaktora, od konstrukcji reaktora, od aktywności mikroorganizmów, właściwości odpadów oraz od temperatury i wilgotności powietrza tłoczonego (zasysanego) do bioreaktora. Przy dużym obciążeniu oraz wysokich temperaturach zachodzić może niebezpieczeństwo przegrzania bioreaktora i higienizacji mikroorganizmów. Spowodować to może znaczące obniżenie szybkości biosuszenia. Przy dużym obciążeniu oraz wysokiej temperaturze powietrza zachodzi konieczność zwiększenia przepływu powietrza co istotnie zwiększa zużycie energii oraz obciąża pracę samego wentylatora. Dla wybranej technologii biosuszenia, w oparciu o modele kinetyki przemian łatwo rozkładalnej materii organicznej oraz bilanse cieplne i masowe, można wyznaczyć zakresy parametrów procesu, przy których jest ono najefektywniejsze. Będzie to przedmiotem dalszych badań.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone wstępne badania wykazały, iż możliwe jest istotne obniżenie masy pofermentu z biogazowni rolniczej poprzez zastosowanie procesu biosuszenia. W doświadczeniu zastosowano odwodniony poferment z biogazowni rolniczej, o wilgotności początkowej 78%, który zmieszano ze zrębkami drzewnymi w proporcji 45:55. W wyniku procesu biosuszenia, przy średnim wydatku powietrza $0,025 \text{ m}^3/\text{kg}\cdot\text{h}$, uzyskano utratę masy 502 kg, co stanowi 76% masy początkowej pofermentu. Stwierdzono, iż utrata masy ma charakter reakcji I-ego rzędu. Wyznaczono stałą szybkości utraty masy k , która wyniosła $0,00068$

[1/h]. Potwierdzono typowy układ warunków termicznych w reaktorze dla procesu biosuszenia. Średnia temperatura w reaktorze w pierwszych 10 dniach procesu zmieniała się w zakresie od 55 do blisko 60°C, po czym obserwowano jej stopniowy spadek do około 40°C po 3 tygodniach. W ostatnim tygodniu nastąpiło wychłodzenie reaktora do temperatury poniżej 20°C. Badania wykazały, iż efektywność utraty masy była wysoka, przy jednoczesnym bardzo niskim zużyciu energii na proces. Wyznaczono, iż całkowite zużycie energii elektrycznej wyniosło 14,792 kWh, co odpowiada 0,0295 kWh/kg usuniętej masy. Ze względu na inicjalny charakter prac badawczych nad biosuszeniem pofermentu, konieczne są dalsze prace badawczo-rozwojowe w zakresie modelowania i doboru parametrów technologicznych procesu.

Podziękowania

*Artykuł przygotowany został dzięki finansowemu wsparciu z projektu:
ERANET: SE Bioemethane. Small but efficient – Cost and Energy
Efficient Biomethane Production.*

Literatura

1. **Amon B. Kryvoruchko V. Amon T. Zechmeister-Boltenstern S.:** *Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment.* Agriculture Ecosystem and Environment, 112, 153–162 (2006).
2. **Badran N.M.:** *Residual effect of nutrient-enriched organic residues on growth and nutrient utilization by corn plants grown on a sandy soil.* Annals of Agricultural Sciences Moshtohor Journal, 39(1), 717–736 (2001).
3. **Bauer A. Mayr H. Hopfner-Sixt K. Amon T.:** *Detailed monitoring of two biogas plants and mechanical solid–liquid separation of fermentation residues.* Journal of Biotechnology, 142, 56–63 (2009).
4. **Białowiec A. Templin M. Bernat K.:** *Raport z badań przemysłowych technologii biosuszenia organicznej frakcji odpadów komunalnych. na zlecenie Zakładu Usług Komunalnych „USKOM” sp. z o.o. z siedzibą w Mławie, w ramach projektu zgłoszonego w Działaniu 1.4 Wsparcie projektów celowych – Działania 4.1 Wsparcie wdrożeń wyników prac B + R. Nr wniosku (POIG.01.04.00-14-077/09).* 2010.
5. **Börjesson P. Berglund M.:** *Environmental systems analysis of biogas systems—Part I: fuel-cycle emissions.* Biomass and Bioenergy, 30, 469–485 (2006).

6. **Börjesson P. Berglund M.:** *Environmental systems analysis of biogas systems—Part II: the environmental impact of replacing various reference systems.* Biomass and Bioenergy, 31, 326–344 (2007).
7. **Bernat K. Wojnowska-Baryła I. Kasiński S. Agopsowicz M.:** *Technologie i biotechnologie stosowane w mechaniczno-biologicznym przetwarzaniu odpadów komunalnych.* Trendy w Biotechnologii Środowiska. Cz. II. Wydawnictwo UWM. Olsztyn 2011.
8. **Chen S.Q. Chen B.:** *Sustainability and future alternatives of biogas-linked agrosystem (BLAS) in China: an energy-based analysis.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(6), 3948–3959 (2012).
9. **Garg R.N. Pathak H. Das D.K. Tomar R.K.:** *Use of fly ash and biogas slurry for improving wheat yield and physical properties of soil.* Environmental Monitoring and Assessment, 107(1/3), 1–9 (2005).
10. **Kogut P., Piekarski J., Ignatowicz K.:** *Rozruch instalacji biogazowej z wykorzystaniem osadu zaszczepowego.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 16, 534–545 (2014).
11. **Mason I.G.:** *Mathematical modeling of the composting process: A review.* Waste Management, 26, 3–21 (2006).
12. **Pötsch E.M. Pfundtner E. Much P.:** *Nutrient Content and hygienic properties of fermentation residues from agricultural biogas plants. Land use systems in grassland dominated regions.* Proceedings of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation, Luzern, Switzerland, 21–24 June 2004, 1055–1057.
13. **Prochnow A. Heiermann M. Plöchl M. Linke B. Idler C. Amon T. Hobbs P.J.:** *Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas.* Bioresource Technology, 100, 4931–4944 (2009).
14. **Rehl T. Müller J.:** *Life cycle assessment of biogas digestate processing technologies.* Resources Conservation and Recycling, 56, 92–104 (2011).
15. **Ritzkowski M. Heerenklage J. Stegmann R.:** *An overview on techniques and regulations of mechanical-biological pre-treatment of municipal solid waste.* Environmental Biotechnology, 2(2), 57–68 (2006).
16. **Sandars D.L. Audsley E. Canete C. Cumby T.R. Scottford I.M. Williams A.G.:** *Environmental benefits of livestock manure management practices and technology by Life Cycle Assessment.* Biosystems Engineering, 84, 267–81 (2003).
17. **Velis C.A. Longhurst P.J. Drew G.H. Smith R. Pollard S.J.T.:** *Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: A review of process science and engineering.* Bioresource Technology, 100, 2747–2761 (2009).
18. **Voca N. Kricka T. Cosic T. Rupic V. Jukic Z. Kalambura S.:** *Digested residue as a fertilizer after the mesophilic process of anaerobic digestion.* Plant Soil Environment, 51, 262–6 (2005).

19. **Zaid M.S. Ghozli M.A. Lamhy M.A.:** *Residual effect of some organic residues produced from biogas on growth and nutrients utilization by wheat plants.* Annals of Agricultural Sciences Moshtohor Journal, 43(2), 955–972 (2005).

Biodrying of the Digestate from Agricultural Biogas Plants

Abstract

Anaerobic digestion residue represents a nutrient rich resource which, if applied back on land, can reduce the use of mineral fertilizers and improve soil fertility. However, dewatering of digestate may be recommended in certain situation. Limited applicability of digestate as fertilizer may appear, especially in winter, during the vegetation period or in areas where advanced eutrophication of arable land and water bodies is developing. The use of digestate may be also governed by different laws depending on whether it is treated as fertilizer, sewage sludge or waste. The solution for thus problem may by application of biodrying process. The aim of this paper is to present the possibilities of digestate from agricultural biogas plant drying in biodrying process, and analysis of its kinetic and efficiency. Dewatered digestate from agricultural biogas plant, with initial moisture of 78%, was mixed with wood chips in proportion 45:55, respectively. The mixture was placed in container reactor, and aerated during 4 weeks. During the experiment the temperature in the reactor, weight of the digestate, and energy demand was measured. Due to biodrying process, with mean air flow rate $0.025 \text{ m}^3/\text{kg}\cdot\text{h}$, 502 kg mass loss was achieved, what consists 76% of the initial weight of the digestate. Mean temperature in the bioreactor during first 10 days, fluctuated between 55 to 60°C. After that, gradual decrease of the temperature to 40°C in the end of 3rd week was observed. During last week the intense cooling of the bioreactor to final temperature below 20°C was observed. It was determined, that digestate mass loss had I-order reaction character. The k constant rate value was estimated, which was on the level of 0.00068 [1/h]. Total energy demand was 14.792 kWh, what relates to 0.0295 kWh of used energy per kg of mass removed.

Słowa kluczowe:

poferment, biosuszenie, utrata masy, temperatura

Keywords:

digestate, biodrying, mass loss, temperature