

BUDOWA STANOWISKA DO BADANIA ENERGETYCZNYCH ASPEKTÓW KOMPOSTOWANIA BIOMASY POCHODZENIA ROLNICZEGO

Maciej Neugebauer, Janusz Piechocki, Piotr Sołowiej

Katedra Elektrotechniki i Energetyki, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. W artykule przedstawiono założenia budowy stanowiska badawczego mającego umożliwić badanie energetycznych aspektów kompostowania biomasy. Wyodrębniono wielkości fizyczne, które będą mierzone. Zbudowane stanowisko ma umożliwić badania empiryczne potrzebne do opracowania systemu sterowania procesem kompostowania tak, aby można było odebrać maksymalną ilość ciepła (możliwą do wykorzystania w innym miejscu, np. do ogrzewania podłoża w szklarniach) i jednocześnie, aby proces kompostowania był jak najkrótszy.

Słowa kluczowe: kompostowanie, sterowanie, stanowisko badawcze.

Wstęp

W czasie badań prowadzonych w ramach grantu numer N N313 036 136 nt. „Efektywność pozyskiwania energii cieplnej w procesie kompostowania odpadów rolniczych i przemysłu rolno-spożywczego” pojawiła się potrzeba dokładnego określenia możliwego do odebrania ciepła. Kompostowanie jest znanym od wieków sposobem utylizacji odpadów pochodzenie rolnicze. W procesie kompostowania główną rolę pełnią mikroorganizmy przetwarzające odpady organiczne w humus. Dodatkowo w procesie tym jest wydzielane ciepło oraz emitowany jest ditlenek węgla i metan (w zależności od fazy procesu) [Guardia i in. 2006]. Próby ograniczenia emisji amoniaku z wykorzystaniem filtrów biologicznych można znaleźć np. w pracy Lin [2008]. Ciekawe wnioski można znaleźć w pracy Nawrocki, Myczko [1998b] w której stwierdzono, że odbiór ciepła z podłoża tuczarni zmniejsza emisję amoniaku. Mikroorganizmy te są wrażliwe na zmianę warunków, np. wzrost temperatury lub brak tlenu może spowodować spowolnienie procesu a w skrajnych warunkach nawet jego zatrzymanie [Chroni i in. 2009]. Prowadzone są różne próby prowadzenia procesu kompostowania tak, aby utrzymać tylko najbardziej efektywną fazę kompostowania – termofilną (w której powstaje nadmiar ciepła, możliwy do odebrania) [Xiao i inni 2009].

Koncepcja odbioru ciepła z przyzmy kompostu i jego efektywne wykorzystanie w innym miejscu, np. do podgrzewania podłoża w szklarniach pojawiła się już wcześniej [por. np. Sołowiej 2007; Kurpaska i in. 2008; Neugebauer, Sołowiej 2009b]. Zbudowane jednak dla potrzeb ówczesnych badań stanowiska są zbyt mało dokładne do opracowania algorytmu precyzyjnego układu sterowania, którego koncepcja została przedstawiona w pracy Neugebauer Sołowiej [2009a] i przebadania jego skuteczności. Próby opisu teoretycznego proce-

su kompostowania, budowy jego modeli matematycznych są prowadzone w wielu ośrodkach, z wykorzystaniem metody elementów skończonych [Bongochgetsakul, Ishida 2008], czy dynamiczne modele zjawisk fizyko-chemiczno-biologicznych [Ahn i in. 2007; Sole-Mauri i in. 2007]. Podobne instalacje do odbioru ciepła były tworzone w przypadku fermentacji tlenowej obornika [Janyga, Kołodziejczyk 1987], czy też do odzysku ciepła z podłoża tuczarni [Nawrocki, Myczko 1998a]. Wynika stąd konieczność opracowania koncepcji i budowy kolejnego stanowiska do przeprowadzenia badań i opracowania efektywnego systemu sterowania procesem kompostowania i odbioru ciepła możliwego do zastosowania w praktyce, np. w gospodarstwach ogrodniczych.

Cel pracy

Celem pracy jest opracowanie koncepcji budowy stanowiska w celu umożliwienia przeprowadzenia badań energetycznych aspektów kompostowania biomasy pochodzenia rolniczego w celu możliwości optymalizacji procesu kompostowania, tak, aby uzyskać jak najkrótszy czas procesu i jednocześnie odebrać maksymalną ilość ciepła i utrzymać optymalne parametry fazy termofilnej procesu kompostowania.

Założenia budowy stanowiska badawczego

Projektowane stanowisko musi umożliwiać wykonanie i zarchiwizowanie następujących wielkości fizycznych:

- temperatura:
 - wewnątrz złoża w kilku punktach;
 - na zewnątrz;
 - powietrza doprowadzanego do złoża;
 - powietrza opuszczającego złożo kompostu;
 - wody na wyjściu i wejściu układu chłodzenia
- wilgotność powietrza na wejściu i wyjściu złoża;
- przepływ powietrza na wejściu i wyjściu złoża;
- przepływ wody w układzie chłodzenia;
- czas;
- pomiar masy wsadu;
- pomiar masy kompostu po procesie;
- pomiar masy odcieku;
- moc prądu w układzie ogrzewania powietrza doprowadzanego do złoża;
- pomiar emisji gazów na wyjściu z bioreaktora;

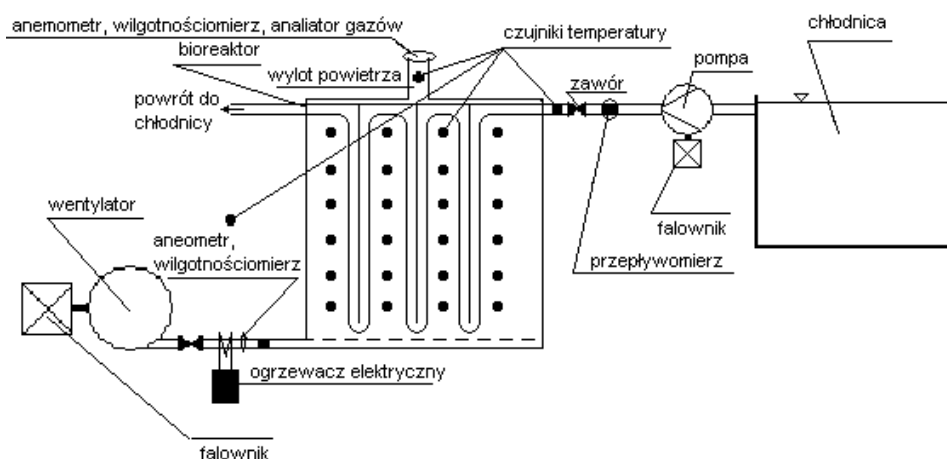
Pomiary i archiwizacja poszczególnych wielkości mogą być prowadzona przy pomocy czujników np:

- temperatury – czujniki DALLAS 18B201, klasa dokładności 0,25°C, ;
- przepływ powietrza – przepływomierze termiczne do powietrza MCF008 firmy Yamatake, dokładność $\pm 3\%$ FS, zakres przepływu od 4 do 200 l·min⁻¹, wyjście analogowe 4-20 mA;
- przepływ wody w układzie chłodzenia – przepływomierz firmy Burket, typ 8031, zakres pomiarowy 10 do 250 l·h⁻¹, dokładność $\pm 2\%$ FS, wyjście częstotliwościowe;

Budowa stanowiska...

- pomiar mocy ogrzewacza elektrycznego powietrza na wejściu do bioreaktora – miernik cyfrowy firmy Lumel, typ N30P, umożliwiający pomiary podstawowych wielkości elektrycznych, w tym mocy i energii czynnej oraz czasu, wyjście analogowe – programowalne 0-10V, energia czynna pomiar od 0 do 9999999,9 kWh z dokładnością $\pm 5\%$, pomiary czasu z dokładnością do 1 s na dobę;
- pomiar wilgotności – miernik wilgotności firmy AZ Instruments, model AZ 8829R, zakres pomiarowy od 0 do 100% RH, częstotliwość rejestracji od 1 s do 2 h,;
- pomiary masy – waga cyfrowa;
- pomiar emisji gazów – analizator biogazów Gas Data GFM 400, pomiary gazów CH₄, CO₂, O₂, w % a H₂S, NH₃ w ppm.

Na rysunku 1 pokazano schemat projektowanego stanowiska do badania energetycznych aspektów kompostowania.



Rys. 1. Schemat stanowiska do badania energetycznych aspektów kompostowania

Fig. 1. Diagram of the station for testing of energy aspects of composting.

Stanowisko powinno składać się z:

- izolowanego bioreaktora o pojemności ok. 0,5 m³, czujników temperatury umieszczonych równomiernie w całej przestrzeni bioreaktora;
- układu napowietrzania – wentylator napędzany silnikiem asynchronicznym z regulacją prędkości obrotowej za pomocą falownika (w celu zapewnienia możliwości płynnej regulacji napowietrzania złoża od 0 do 10 l·min⁻¹); w celu stabilizacji temperatury powietrza na wejściu – elektrycznej grzałki zapewniającej stałą temperaturę powietrza, wraz z pomiarem doprowadzonej energii; (należy zaznaczyć, że ogrzewanie powietrza doprowadzanego będzie się odbywać tylko w stanowisku badawczym i ma na celu odtworzenie zmian temperatury powietrza w przypadku instalacji w warunkach rzeczywistych);
- czujników wilgotności i przepływu powietrza na wejściu i wyjściu z bioreaktora oraz analizatora gazu na wyjściu;

- układu odbioru ciepła – wykonanego z wężownicy miedzianej, zbiornika magazynującego odebrane z bioreaktora ciepło, czujników mierzących temperaturę wody na wyjściu i wejściu układu chłodzenia do bioreaktora, przepływomierza, zaworu i pompy z płynną regulacją obrotów (np. przy pomocy falownika), umożliwiającą regulację przepływu wody w zakresie od 0 do 4 l·min⁻¹.

Układ regulacji

Układ regulacji projektowanego stanowiska obejmował będzie:

- regulację przepływu wody w układzie chłodzenia;
- regulację przepływu powietrza w układzie napowietrzania złoża;
- regulację nagrzewania powietrza na wlocie złoża;

Regulując te wielkości będzie można wpływać na dynamikę procesu kompostowania, ilości wydzielanego i odbieranego ciepła. Opracowany w trakcie badań układ regulacji sterowania procesem kompostowania powinien umożliwiać zarówno odbiór jak największej ilości ciepła w najkrótszym czasie (bez zatrzymania procesu fermentacji) jak i wolniejsze odbieranie tworzonego ciepła ale za to przez dłuższy czas.

Podsumowanie

Kolejnym krokiem będzie przeprowadzenie badań kompostowania biomasy dla określonych wielkości wyjściowych (wpływających na proces) dobranych według metod planowania eksperymentu. Posiadając wszystkie zebrane dane: temperatury, dostarczoną do bioreaktora energię cieplną i ilość powietrza (w tym tlenu), różnicę temperatur wody w układzie chłodzenia i przepływ będzie można zrobić bilans energetyczny procesu. Kolejnym krokiem będzie utworzenie modelu matematycznego zjawisk fizycznych związanych z wymianą ciepła (przy założeniu braku przepływu ciepła pomiędzy bioreaktorem a otoczeniem – reaktor będzie izolowany). Zbudowany model powinien umożliwić określenie ile ciepła można będzie odebrać bez zaburzenia przebiegu procesu oraz określić intensywność napowietrzania najkorzystniejszą z punktu widzenia czasu trwania procesu kompostowania (aby proces był jak najkrótszy). Następnym etapem będzie weryfikacja modelu dla innych danych doświadczalnych. To z kolei umożliwi budowę układu sterowania procesem kompostowania na przykład z wykorzystaniem logiki rozmytej, zaimplementowanej na przykład w sterowniku PLC.

Bibliografia

- Ahn H.K., Richard T.L., Choi H.L.** 2007. Mass and thermal balance during composting of a poultry manure—Wood shavings mixture at different aeration rates. *Process Biochemistry* 42. s. 215-223.
- Bongochgetsakul N., Ishida T.** 2008. A new analytical approach to optimizing the design of large-scale composting systems. *Bioresource Technology* 99. s. 1630-1641.
- Chroni C., Kyriacou A., Georgaki I., Manios T., Kotsou M., Lasaridi K.** 2009. Microbial characterization during composting of biowaste. *Waste Management* 29. s. 1520-1525.
- Guardia A., Petiot C., Rogeau D.** 2006. Influence of aeration rate and biodegradability fractionation on composting kinetics. *Waste Management*. Vol. 28. s. 73-84.

- Janyga J., Kołodziejczyk T.** 1987. Wykorzystanie ciepła z fermentacji tlenowej obornika. *Mechanizacja Rolnictwa*. Nr 6-7.
- Kurpaska S., Latała H., Michalek R., Sporysz M.** 2008. Analiza efektywności elementów systemu wykorzystującego pompę ciepła do ogrzewania tunelu foliowego. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 2. s. 163-170.
- Lin C.** 2008. A negative-pressure aeration system for composting food wastes. *Bioresource Technology* 99. s. 7651-7656.
- Nawrocki L., Myczko A.** 1998a. Odzysk ciepła z podłoża tuczarni. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 4(22). Warszawa. s. 125-130.
- Nawrocki L., Myczko A.** 1998b. Ograniczenie strat amoniaku w trakcie pozyskiwania i kumulacji ciepła fermentacyjnego. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 4(22). Warszawa. s. 131-136.
- Neugebauer M., Sołowiej P.** 2009a. Koncepcja wykorzystania logiki rozmytej do sterowania procesem kompostowania biomasy pochodzenia rolniczego z jednoczesnym odbiorem ciepła. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 8. Kraków. s. 139-146.
- Neugebauer M., Sołowiej P.** 2009b. Wykorzystanie algorytmów samouczących się do sterowania procesem kompostowania biomasy pochodzenia rolniczego. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 8(117). Kraków. s. 147-156.
- Sole-Mauri F., Illa J., Magri A., Prenafeta-Boldu F.X., Flotats X.** 2007. An integrated biochemical and physical model for the composting process. *Bioresource Technology* 98. s. 3278-3293.
- Sołowiej P.** 2007. Przykład wykorzystania pryzmy kompostu jako niskotemperaturowego źródła ciepła. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 8(96). s. 247-253.
- Xiao Y., Zeng G-M., Yang Z-H., Shi W-J., Huang C., Fan C-Z., Xu Z-Y.** 2009. Continuous thermophilic composting (CTC) for rapid biodegradation and maturation of organic municipal solid waste. *Bioresource Technology* 100. s. 4807-4813.

CONSTRUCTION OF A STATION FOR TESTING OF ENERGY ASPECTS OF COMPOSTING OF BIOMASS OF AGRICULTURAL ORIGIN

Abstract. The article presents assumptions for the construction of a testing station intended to provide the possibility of testing of energy aspects of composting of biomass. Physical quantities that will be measured were separated. The new station should make it possible to perform empirical tests necessary to elaborate a system of control of the composting process so that the maximum quantity of heat (which can be used in another place, e.g. for heating of the ground in greenhouses) could be collected and the composting process is as short as possible.

Key words: composting, control, testing station

Adres do korespondencji:
Maciej Neugebauer e-mail: mak@uwm.edu.pl
Katedra Elektrotechniki i Energetyki
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. Oczapowskiego 11
10-957 Olsztyn