

WYKORZYSTANIE ALGORYTMÓW SAMOUCZĄCYCH SIĘ DO STEROWANIA PROCESEM KOMPOSTOWANIA BIOMASY POCHODZENIA ROLNICZEGO

Maciej Neugebauer, Piotr Sołowiej

Katedra Elektrotechniki i Energetyki, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. W pracy opisano zbudowane stanowisko do kompostowania materiału biologicznego wraz z odbiorem ciepła. Przedstawiono ideę i wykonanie układu regulacji wykorzystujący algorytm samouczące się sterowania procesem napowietrzania i odbioru ciepła ze stanowiska do kompostowania. Przeprowadzono badania układu regulacji dla różnych punktów początkowych startu procesu (wartości napowietrzania i odbioru ciepła). Uzyskane wyniki badań pokazują, że proces kompostowania przebiegał najkrócej w przypadku rozpoczęcia procesu nauki od zerowych wartości początkowych napowietrzania i odbioru ciepła oraz nie przekroczył temperatury optymalnej dla procesu kompostowania.

Słowa kluczowe: kompostowanie, sterowanie, algorytm samouczący

Wstęp

Kompostowanie jest efektywną metodą zagospodarowania biomasy odpadowej pochodzącej z produkcji rolniczej. Efektem końcowym procesu jest kompost będący doskonałym nawozem dla roślin, bogatym w związki organiczne. W procesie kompostowania występują trzy fazy: mezofilna, termofilna oraz wychładzania i dojrzewania. W fazie termofilnej głównie wydzielane są znaczne ilości ciepła i dwutlenek węgla, natomiast w fazach pierwszej i trzeciej wydzielane są niewielkie ilości ciepła i między innymi - metan – szkodliwy dla środowiska [de Guardia 2006]. Przedłużenie drugiej fazy kompostowania może przyczynić się do skrócenia całego cyklu procesu jak i ograniczenia ilości emitowanego metanu. Badania nad tym problemem sprowadzały się głównie do opracowania najbardziej efektywnego sposobu napowietrzania kompostowanego materiału [Bari i in. 2000; Ekinci i in. 2004], przy czym w procesie kompostowania ilość dostarczanego do złoża powietrza uzależniano od temperatury złoża lub zawartości tlenu w opuszczającym złożo powietrzu [Bari i in. 2000; Körner i in. 2003]. Efekt ten można także uzyskać stosując dodatkowo odebranie części ciepła z pryzmy kompostu w celu stworzenia mikroorganizmom termofilnym optymalnych warunków do rozwoju. Ciepło może być odbierane również innymi metodami, np. przy pomocy pompy ciepła, por. np. Kurpaska i inni 2008 lub wymienników por. np. Nawrocki 2000. Odebrane ciepło może zostać wykorzystane w ogrodnictwie do podgrzewania gleby w szklarniach czy tunelach foliowych [Kurpaska, Latała 2007; Sołowiej 2007]. Jednak zbyt duża ilość odebranego ciepła może spowodować spadek temperatu-

ry w pryzmie kompostu i w efekcie spowolnienie (lub nawet zatrzymanie) fazy termofilnej procesu kompostowania. W celu utrzymania właściwych dla fazy termofilnej parametrów procesu kompostowania wykorzystano układ sterujący oparty na algorytmie samouczącym się w którym odbiór ciepła i ilość dostarczanego powietrza uzależniono od średniej temperatury złoża.

Cel pracy

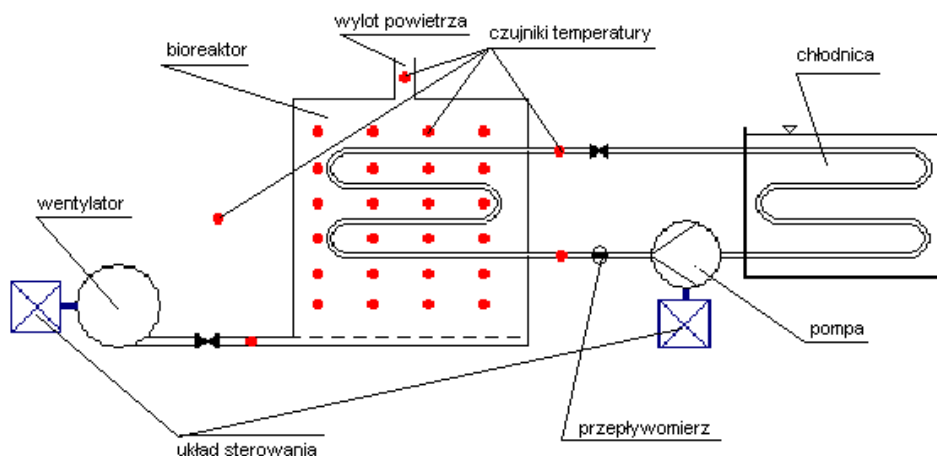
Optymalizacja procesu kompostowania poprzez opracowanie systemu sterującego napowietrzaniem i odbiorem ciepła z pryzmy kompostu w celu uzyskania i utrzymania optymalnych parametrów fazy termofilnej procesu kompostowania.

Zakres pracy

- modernizacja stanowiska laboratoryjnego przedstawionego pracy Sołowieja [2008];
- wyposażenie stanowiska do kompostowania w układ automatycznej regulacji;
- napisanie programu na bazie algorytmu samouczącego się do sterowania procesem kompostowania;
- zestawienie stanowiska i przeprowadzenie procesu uczenia algorytmu sterującego.

Opis układu sterowania i kompostowania

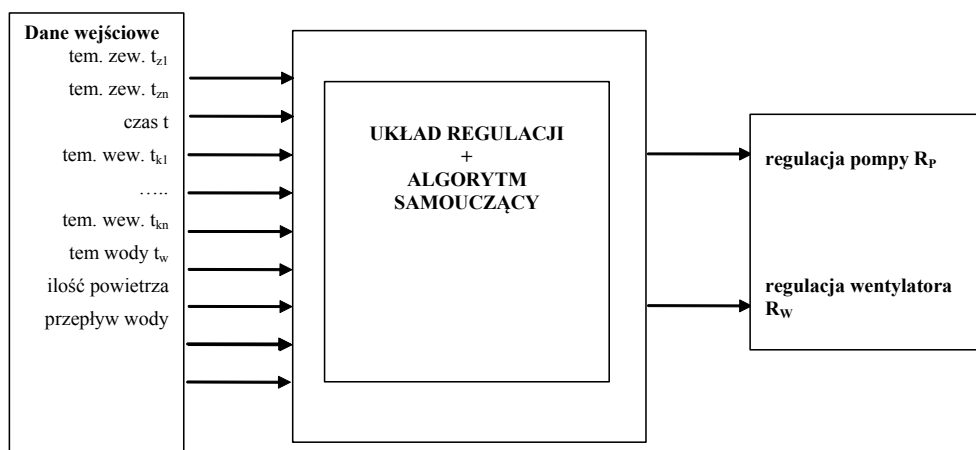
Schemat stanowiska do kompostowania i pomiarów pokazano na rysunku 1 a na rysunku 2 pokazano schemat układu regulacji. Układ regulacji pompy i wentylatora przyjmuje wartości dyskretne (jest regulowany skokowo nastawy 0 do 9) od wartości zero do maksymalnej – dla układu napowietrzania regulacja od 0 do 10 l·min⁻¹ a układ chłodzenia od 0 do 2 l·min⁻¹.



Rys. 1. Schemat stanowiska do kompostowania

Fig. 1. Diagram showing composting station

Algorytm samouczący działa na zasadzie drzewa rozpinającego o znanej liczbie gałęzi (rys. 3). Liczba „gałęzi” dostępna w każdym kroku to: $\binom{3}{1} \cdot \binom{3}{1} = 9$

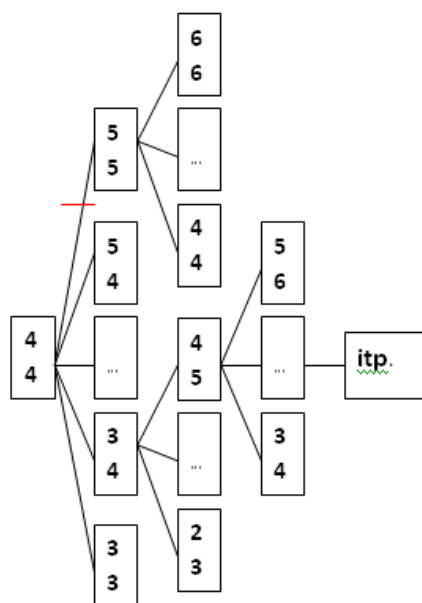


Rys. 2. Układ regulacji z wykorzystaniem algorytmu samouczącego

Fig. 2. Adjustment system using a self-learning algorithm

Program zaczyna od wartości początkowych – podanych przez eksperta (wynikających z wcześniejszych pomiarów/eksperymentów jako optymalne dla danych warunków) lub danych końcowych z poprzedniej pętli czasowej. Kolejnym krokiem działania programu jest próba zwiększenia ilości odbieranego ciepła – wzrost o jeden wartości pracy pompy. Jeśli temperatura wewnątrz złoza nie zmieni się lub nawet wzrośnie (jako zmianę temperatury przyjmuje się różnicę minimum 2°C) – program zwiększa dalej intensywność pracy pompy. W przypadku, gdy temperatura wewnątrz złoza kompostu zaczyna spadać poniżej optymalnej, program zwiększa doprowadzenie powietrza o 1 w celu zwiększenia intensywności przebiegu procesu kompostowania. Jeśli temperatura wewnątrz bioreaktora dalej spada, program wraca do poprzednich ustawień (krok wcześniej), a cała ta gałąź zostaje „odcięta” do końca tej pętli czasowej. Następnie program zwiększa o jeden doprowadzenie powietrza i czeka na wzrost temperatury. Przy wzroście temperatury wewnątrz, program zwiększa odbiór ciepła o jeden, jeśli temperatura wewnątrz nie wzrosła lub zmalała to program zmniejsza o jeden odbiór ciepła.

Przeszukując w ten sposób „drzewo” rozwiązań program dochodzi do wartości ustawień, przy których temperatura wewnątrz bioreaktora jest optymalna dla procesu kompostowania w danym czasie trwania procesu (ustalona wcześniej – dana w programie, równa 55°C) a wydajność pompy w układzie chłodzenia największa ze znalezionych – co przekłada się na większy odbiór ciepła ze złoza, lub do osiągnięcia maksymalnych wartości nastawień regulatorów wentylatora i pompy (9;9).



Rys. 3. Przykład drzewa rozpinającego dla układu regulacji
 Fig. 3. Example of a stretching tree for the adjustment system

Następuje koniec poszukiwań w danym cyklu. Kolejny cykl przeszukiwania rozpoczyna się co 96 godzin. Poszczególne kroki regulacji realizowane są co 6 godzin – daje to maksymalnie 16 kroków (zmian) w każdym cyklu.

Opis eksperymentu

Do istniejącego na wyposażeniu katedry bioreaktora [Sołowiej 2008], adiabatycznego o pojemności 100 dm³ wsadu dołączono dodatkowo układ odbioru ciepła, w postaci węzownicy we wnętrzu bioreaktora na przestrzeni od 1/3 do 2/3 wysokości bioreaktora. Drugi koniec układu odbioru ciepła umieszczono w zbiorniku z wodą o pojemności 250 dm³. Układ ten został wykonany z rurki miedzianej o średnicy 3/4 cala. Do pomiaru temperatury użyto czujników typu DALLAS 18B201 z osłoną zabezpieczającą przed zalaniem (kl. dokładności 0,25°C) i adaptera typu DS9097 umożliwiającego podłączenie czujników temperatury do porty szeregowego komputera. Wyniki pomiarów temperatury były rejestrowane automatycznie (program LAMPOMITTARI) co 60 sekund, a następnie wyliczano średnią dla każdej godziny pomiaru. Wartość ta była następnie przekazywana do układu sterowania. Mierzono również temperaturę wody w zbiorniku chłodnicy, w przypadku przekroczenia wartości 20°C, wymieniano wodę w zbiorniku na wodę wodociągową – o temperaturze ok. 10°C. Program sterujący napisano w języku drabinkowym i zaimplementowano następnie w sterowniku PLC.

Jako materiał do kompostowania wykorzystano świeżo ściętą trawę z dodatkiem 30% słomy pszennej. Materiał rozdrobniono i wymieszano w celu ujednolicienia mieszanki. W czasie załadunku materiału do bioreaktora umieszczono wewnątrz czujniki temperatury. Niestety w trakcie procesu kompostowania materiał przemieszczał się, co powodowało zmianę ułożenia czujników temperatury. Z tego powodu, temperatura złoża została wyliczona jako średnia z wszystkich czujników wewnątrz bioreaktora.

Wyniki badań

Wyniki badań przedstawiono na wykresie – rys. 4. Przeprowadzono pięć serii badań.

Seria 1 przy wyłączonym układzie chłodzenia, napowietrzania i sterowania – jako seria kontrolna. Serie 2-5 różniły się wartościami początkowymi regulatora pompy i wentylatora.

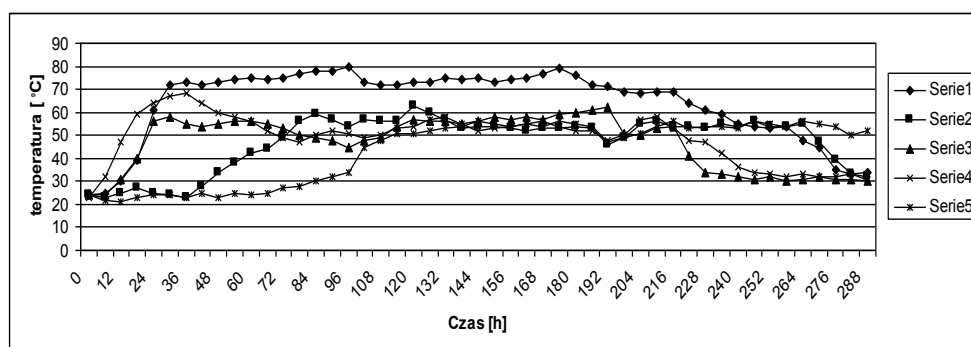
Seria 2 – 9;9 (maksymalne napowietrzanie i odbiór ciepła).

Seria 3 – 0;0 (brak na starcie napowietrzania i odbioru ciepła).

Seria 4 – 9;0 (maksymalne napowietrzanie, brak odbioru ciepła).

Seria 5 – 0;9 (brak napowietrzania, maksymalny odbiór ciepła).

Badania prowadzono do zakończenia fazy termofilnej.



Rys. 4. Wykresy zmian temperatury wewnątrz bioreaktora w czasie fazy termofilnej

Fig. 4. Diagrams showing temperature changes inside bioreactor during thermophilous stage

Podsumowanie i wnioski

Pokazany samouczący się układ regulacji „uczy się” na zasadzie pamiętania „odciętych gałęzi”.

Duży wpływ na przebieg procesu kompostowania mają wartości początkowe układu sterowania. Z uwagi na algorytm działania, na początku każdego 96-godzinowego cyklu widać wahania temperatury – związane z ponownym szukaniem przez program wartości optymalnych.

Po uzyskaniu wartości optymalnej w danym 96-godzinowym cyklu program przestaje reagować na zmiany parametrów procesu (związane jest to z samą ideą algorytmu sterowa-

nia – tj. odcięciem wszystkich możliwych „gałęzi” stanów układu sterowania) – seria 3, w godzinach od 150 do 186 – temperatura wewnątrz bioreaktora była wyższa od zadanej optymalnej.

Seria 2 i 5 – przy których wartość odbioru ciepła na początku była maksymalna – wolniej rozpoczynały start procesu, a konsekwencji proces kończył się później – w przypadku serii 5 faza termofilna kompostowania nie zakończyła się do końca trwania eksperymentu.

Seria 4 wykazała najszybszy wzrost temperatury, ale doprowadziło to do przekroczenia temperatury optymalnej.

Najbardziej korzystny z punktu widzenia temperatury w złożu i czasu trwania fazy termofilnej był przebieg dla serii 3.

Przeprowadzone badania wskazują, że układ regulacji posiada dużą inercję – dość długo osiąga wartość optymalną. W porównaniu z przebiegiem 3, pozostałe serie dłużej dochodziły do osiągnięcia temperatury optymalnej. Układ regulacji wymaga jeszcze dopracowania lub zmiany algorytmu działania (np. na oparte na logice rozmytej).

Zaletą tego systemu sterowania jest adaptowalność do zmiennych warunków procesu w trakcie jego przebiegu a także do kompostowania różnych materiałów.

Bibliografia

- Bari Q.H., Koenig A., Guihe T.** 2000. Kinetic analysis of forced aeration composting. I. Reaction rates and temperature. *Waste Manage. Res.* Volume: 18. pp. 303-312.
- Ekinci K., Keener H.M., Elwell D.L., Michel F.C.** 2004. Effects of aeration strategies on the composting process. Part I. Experimental studies. Volume: 47. pp. 1697-1708.
- Guardia A., Petiot C., Rogeau D.** 2006. Influence of aeration rate and biodegradability fractionation on composting kinetics. *Waste Management*. Vol. 28. s. 73-84.
- Körner I., Braukmeier J., Herrenklage J., Leikam K., Ritzkowski M., Schlegelmilch M., Stegmann R.** 2003. Investigation and optimization of composting processes – Test systems and practical examples. *Waste Manage.* Volume: 23. pp. 17-26.
- Kurpaska S., Latała H., Michalek R., Sporysz M.** 2008. Analiza efektywności elementów systemu wykorzystującego pompę ciepła do ogrzewania tunelu foliowego. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 2 (100). s. 163-170.
- Kurpaska S., Latała H.** 2007. Analiza energetyczno-ekologiczna wykorzystania pompy ciepła do ogrzewania tunelu foliowego. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 6 (94). s. 121-127.
- Nawrocki L.** 2000. Wpływ rodzaju wymiennika ciepła zainstalowanego w głębokiej ściółce na warunki mikroklimatyczne w tuczarni. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 8 (19). s. 227-233.
- Sołowiej P.** 2007. Przykład wykorzystania pryzmy kompostu jako niskotemperaturowego źródła ciepła. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 8 (96). s. 247-253.
- Sołowiej P.** 2008. Koncepcja budowy bioreaktora do kompostowania biomasy – stanowisko badawcze. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 11 (109). s. 227-232.

*„Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2013
jako projekt badawczy N N313 036136”*

USING SELF-LEARNING ALGORITHMS TO CONTROL COMPOSTING PROCESS FOR BIOMASS OF AGRICULTURAL ORIGIN

Abstract. The article describes a station designed for biological material composting, including heat reception. The work presents a concept and execution of an adjustment system using a self-learning algorithm for controlling the process involving aeration and heat reception from composting station. The researchers carried out a research on the adjustment system for different initial points of process start (aeration and heat reception values). Obtained research results showed that the composting process was shortest in case of learning process start from initial values of zero aeration and heat reception, and it did not exceed optimal temperature for the composting process.

Key words: composting, control, self-learning algorithm

Adres do korespondencji:

Maciej Neugebauer e-mail: mak@uwm.edu.pl
Katedra Elektrotechniki i Energetyki
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. Oczapowskiego 11
0-957 Olsztyn