

KONCEPCJA WYKORZYSTANIA LOGIKI ROZMYTEJ DO STEROWANIA PROCESEM KOMPOSTOWANIA BIOMASY POCHODZENIA ROLNICZEGO Z JEDNOCZESNYM ODBIOREM CIEPŁA

Maciej Neugebauer, Piotr Sołowiej

Katedra Elektrotechniki i Energetyki, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. Kompostowanie jest uznaną metodą utylizacji odpadów biologicznych z przemysłu rolniczego i spożywczego. Problem emisji metanu wydzielającego się w procesie kompostowania jest w ostatnich latach przedmiotem wielu badań. Sterowanie procesem kompostowania mające na celu ograniczenie emitowanego metanu w dotychczasowych rozwiązaniach sprowadzało się do regulacji strumienia napowietrzającego. Proponowane w artykule rozwiązanie problemu polega na regulacji intensywności napowietrzania z jednoczesnym odbiorem nadmiaru energii cieplnej z wykorzystaniem logiki rozmytej do sterowania całością procesu.

Słowa kluczowe: logika rozmyta, kompost, sterowanie, emisja metanu

Wstęp

Kompostowanie jest znanym procesem utylizacji stałych odpadów pochodzenia organicznego. Ponadto w wyniku tego procesu powstaje doskonały nawóz organiczny stosowany szeroko w rolnictwie i ogrodnictwie. Naturalny przebieg procesu kompostowania składa się z trzech głównych faz: mezofilnej, termofilnej oraz wychładzania i dojrzewania. W fazie mezofilnej oraz wychładzania i dojrzewania poza niewielką ilością energii cieplnej wysoką aktywność wykazują mikroorganizmy produkujące między innymi znaczne ilości szkodliwego dla środowiska metanu. Faza termofilna procesu charakteryzuje się głównie dość wysoką temperaturą (45-80°C) i emisją dwutlenku węgla. Przegrzanie pryzmy kompostowanego materiału biologicznego powoduje drastyczne zmniejszenie populacji mikroorganizmów termofilnych i spowolnienie procesu. Sterowanie procesem stosowane obecnie opiera się w większości przypadków na regulowaniu ilości powietrza dostarczanego do pryzmy oparte na kontroli temperatury panującej w złożu lub zawartości tlenu w powietrzu opuszczającym pryzmę.

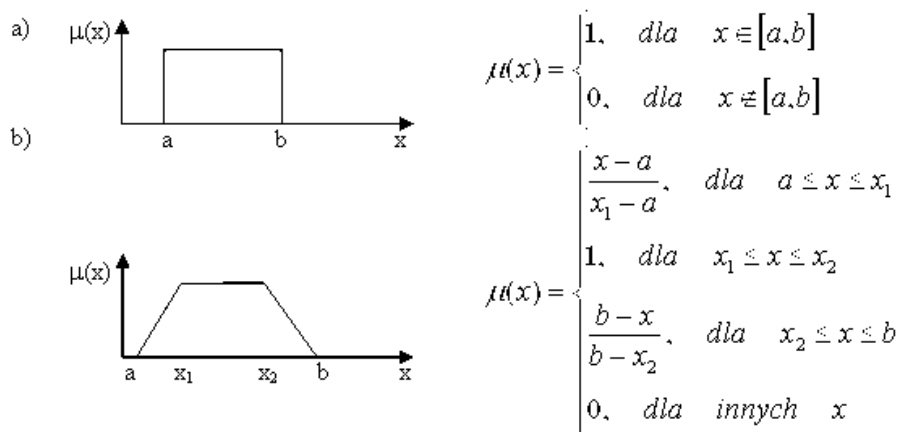
W ramach prowadzonych badań nad procesem kompostowania biomasy pochodzenia rolniczego z jednoczesnym odbiorem ciepła pojawił się problem efektywnego sterowania, które umożliwiłoby optymalizację procesu kompostowania pod kątem odbioru ciepła jako ści produktu końcowego. Właściwa ilość odebranego ciepła – nie spowoduje zatrzymania lub spowolnienia procesu – a przeciwnie, z uwagi na bardziej korzystny przebieg fazy ter-

mofilnej (właściwa temperatura procesu i odpowiednie napowietrzanie złoża), skróci proces kompostowania. Ciepło może być odbierane w inny sposób, 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].

W świetle badań literaturowych, dla złożonych procesów nieliniowych, wydajnym systemem sterowania są systemy oparte na logice rozmytej [Cao, Rees 2001; Sarimveis, Bafas 2003, Lian, Huang 2001]. Przykłady wykorzystania sterowania różnymi procesami opartego na logice rozmytej można znaleźć w tak różnych dziedzinach jak np. przy sterowaniu siłownikami wiatrowymi [Dadone, Dambrosio 2003; Jerbi i inni 2009; Krichen i inni 2008], sterowaniu układów hydraulicznych maszyn kuźniczych [Lee, Kopp 2001]. Również w sterowaniu procesami związanymi z ochroną środowiska [np. Chan, Huang 2003] czy kompostowaniem [np. Zhang i inni 2008] metody sztucznej inteligencji i logiki rozmytej są stosowane.

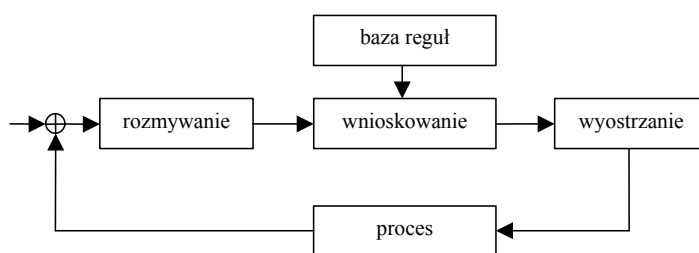
Sterowanie rozmyte

Matematyczne podstawy sterowania rozmytego można znaleźć w literaturze [np. Rutkowski 2005, Kacprzyk 2001, Zadeh 2008]. Definicja zbioru rozmytego jest rozszerzeniem definicji zbioru ostrego (klasycznego) i dopuszcza, aby funkcja przynależności zbioru przyjmowała obok wartości ostrych (krajcowych) 0 i 1 również wartości pośrednie. Na rysunku 1 pokazano przykłady zbioru klasycznego i rozmytego.



Rys. 1. Przykłady a) zbioru ostrego i b) rozmytego (z funkcją przynależności)
 Fig. 1. Examples of: a) acute set, and b) fuzzy set (with affiliation function)

W pojęciu funkcji rozmytej (zbioru rozmytego) występuje również pojęcie zmiennej lingwistycznej. Oznaczeniami jej są słowa np. temperatura, wiek. Zmienna lingwistyczna przyjmuje wartości z wcześniej określonych zbiorów, przykładowo dla zmiennej temperatura zbiór wartości przyjmuje {za niska, właściwa, za wysoka}. Proces sterowania rozmytego można przedstawić wg schematu z rys. 2. Przykład zbioru rozmytego dla zmiennej lingwistycznej temperatura, w koncepcji sterowania rozmytego procesem kompostowania, pokazano na rysunku 3. Na rysunku pokazano również „rozmycie” wartości wejściowej „temperatura = 51°C”. Widać, że wartość ta przynależy ze stopniem 0,75 do zbioru „za niska” i ze stopniem 0,25 do zbioru „właściwa”.



Rys. 2. Schemat rozmytego systemu sterowania procesem
 Fig. 2. Diagram showing fuzzy process control system

Wykorzystywanie zbiorów rozmytych do sterowania procesami technicznymi, nie wymaga znajomości modeli tych procesów – trzeba jednak sformułować zbiór reguł działania pod postacią zdań - jeżeli.... to.... , gdzie poprzednik reguły zawiera zbiór warunków a następnik wniosek. Reguły działania mogą być również przedstawione w postaci macierzy relacji. Relacje te znajdują się w bazie reguł. W bloku wyostrzania następuje obliczenie wartości odpowiedzi sterowania rozmytego na sygnał wejściowy. W koncepcji sterowania rozmytego procesem kompostowania wykorzystano metodę *środką ciężkości* (ang. *center of gravity method* lub *center of area method*):

$$y = \frac{\sum_{k=1}^n \mu_B(y_k) y_k}{\sum_{k=1}^n \mu_B(y_k)} \quad (1)$$

Sterowanie rozmyte procesem kompostowania

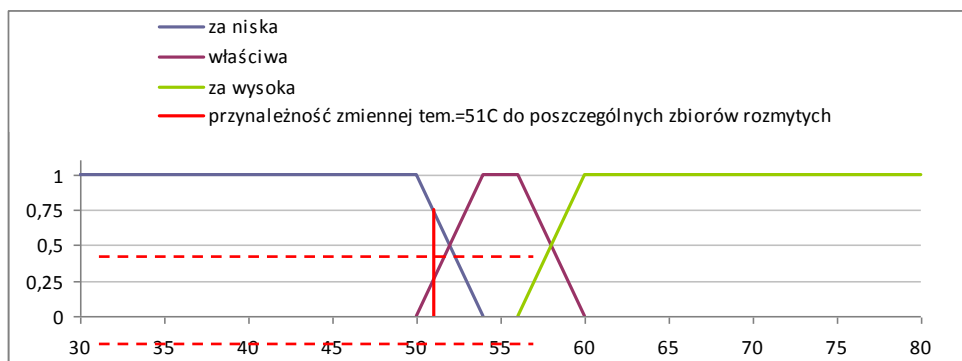
Podstawowe założenia pracy układu sterowania są następujące – jako zmienne wejściowe wybrano:

- temperaturę wewnątrz bioreaktora (t);
- prędkość napowietrzania (v_N);
- prędkość odbioru ciepła (v_Q).

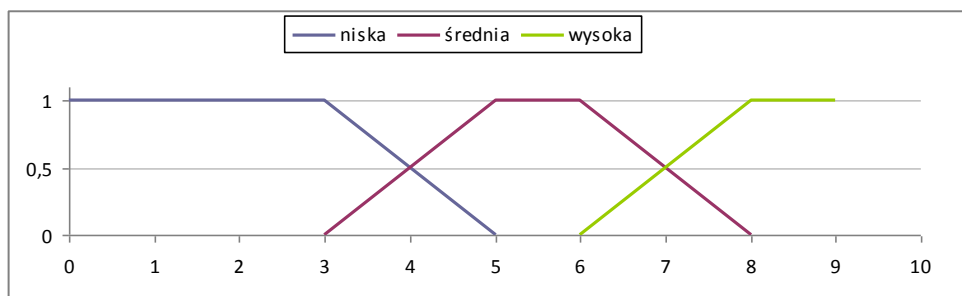
Zmiennymi wyjściowymi będą:

- prędkość napowietrzania;
- prędkość odbioru ciepła.

W posiadanym stanowisku układ regulacji pompy i wentylatora przyjmuje wartości zero do maksymalnej (na regulatorze od 0 do 9) a pomiar temperatury jest prowadzony w sześciu warstwach (równomiernie rozłożonych na wysokości bioreaktora) po cztery czujniki. Jako zmienną do układu sterowania będzie przyjęta wartość średnia ze wszystkich czujników temperatury. Dla opracowywanej koncepcji sterowania na rysunku 3 pokazano zbiór rozmyty dla zmiennej wejściowej temperatura a na rysunku 4 dla zmiennych wejściowych regulacji nawiewu i odbioru ciepła (przyjęto taki sam rozkład). Zmienne lingwistyczne dla temperatury procesu to {za niska, właściwa, za wysoka}, a dla regulacji (nawiewu i odbioru ciepła) {niska, średnia, wysoka}.



Rys. 3. Zbiór rozmyty dla zmiennej lingwistycznej temperatura
 Fig. 3. Fuzzy set for linguistic variable of temperature



Rys. 4. Zbiór rozmyty dla zmiennych prędkość nawiewu powietrza i prędkość odbioru ciepła
 Fig. 4. Fuzzy set for variables: air supply velocity and heat reception rate

Zbiór reguł zawierać będzie w omawianej koncepcji 54 relacji (trzy zmienne wejściowe, z których każda może należeć do trzech zbiorów rozmytych, co daje $\binom{3}{1} \cdot \binom{3}{1} \cdot \binom{3}{1} = 27$ dla pojedynczego sygnału wyjściowego – czyli w tym przypadku $27 \times 2 = 54$).

Przykłady reguł:

\mathfrak{R}_1 : **JEŻELI** t =za niska **I** v_N =niska **I** v_Q =niska **TO** v_N =wysoka

\mathfrak{R}_2 : **JEŻELI** t =za niska **I** v_N =niska **I** v_Q =niska **TO** v_Q =niska

Po utworzeniu bazy reguł dla kilku przypadków danych wejściowych obliczono wielkość danych wyjściowych z wykorzystaniem metody środka ciężkości, (wzór 1) przykładowe wyniki zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Przykładowe wyniki obliczeń układu sterowania rozmytego
Table 1. Example results of fuzzy control system computations

| Lp. | Wejście | | | Wyjście | |
|-----|---------|-------|-----|---------|-------|
| | v_N | v_Q | t | v_N | v_Q |
| 1 | 0 | 0 | 30 | 9,0 | 0,0 |
| 2 | 0 | 0 | 60 | 5,1 | 7,3 |
| 3 | 8 | 7 | 45 | 8,7 | 0,7 |
| 4 | 5 | 5 | 56 | 5,0 | 5,6 |
| 5 | 6 | 5 | 71 | 3,6 | 9,0 |

Źródło: obliczenia własne.

Wnioski

Analizując wyniki zawarte w tabeli 1 można zauważyć, że układ sterowania obliczeniowo działa prawidłowo. Przy niskich temperaturach (lp. 1 i 3) zwiększa nadmuch powietrza (co wg. badań zwiększa temperaturę) i zmniejsza stopień odbioru ciepła. Przy wyższych temperaturach (Lp. 2 i 5) zwiększa stopień odbioru ciepła zmniejszając jednocześnie stopień nadmuchu powietrza. Przy temperaturze wewnątrz złoża bliskiej optymalnej (55°C) nie zmieniają się w sposób istotny wielkości v_N i v_Q (Lp. 4).

Zastosowanie układu wykorzystującego logikę rozmytą wydaje się być skutecznym systemem sterowania procesem kompostowania biomasy pochodzenia rolniczego z jednoczesnym odbiorem ciepła.

Zmieniając rozkład term zmiennych wejściowych i wyjściowej będzie można regulować pracą układu sterowania. Kolejną metodą regulacji będzie zmiana reguł.

W celu realizacji tego zadania układ sterowania wyposażony będzie w sterownik programowalny, w którym zostanie zaimplementowany opisany wcześniej układ sterowania rozmytego.

Bibliografia

- Cao S.G., Rees N.W., Feng G.** 2001. Mamdani-type fuzzy controllers are universal fuzzy controllers. *Fuzzy Sets and Systems* 123(2001). pp. 359-367.
- Chana C.W., Huang G.H.** 2003. Artificial intelligence for management and control of pollution minimization and mitigation processes. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 16(2003). pp. 75-90.
- Dadone A., Dambrosio L.** 2003. Estimator based adaptive fuzzy logic control technique for a wind turbine-generator system. *Energy Conversion and Management* 44 (2003). p. 135-153.
- Jerbi L., Krichen L., Ouali A.** 2009. A fuzzy logic supervisor for active and reactive power control of a variable speed wind energy conversion system associated to a flywheel storage system. *Electric Power System Research* 79 (2009). pp. 919-925.
- Kacprzyk J.** 2001. *Wieloetapowe sterowanie rozmyte*. WNT W-wa. ISBN: 8320426502.
- Krichen L., Francois B., Ouali A.** 2008. A fuzzy logic supervisor for active and reactive power control of a fixed speed wind energy conversion system. *Electric Power System Research* 78 (2008). pp. 418-424.
- 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.
- Lee Y.H., Kopp R.** 2001. Application of fuzzy control for a hydraulic forging machine. *Fuzzy Sets and Systems* 118(2001). pp. 99-108.
- Lian R.J., Huang S.J.** 2001. A mixed fuzzy controller for MIMO systems. *Fuzzy Sets and Systems* 120(2001). pp. 73-93.
- Nawrocki L.** 2000. Wpływ rodzaju wymiennika ciepła zainstalowanego w głębokiej ściółce na warunki mikroklimatyczne w tuczarni. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 8 (19). s. 227-233.
- Rutkowski L.** 2005. *Metody i techniki sztucznej inteligencji*. Inteligencja obliczeniowa. PWN W-wa. ISBN83-01-14529-3.
- Sarimveis H., Bafas G.** 2003. Fuzzy model predictive control of non-linear processes using genetic algorithms. *Fuzzy Sets and Systems* 139(2003). pp. 59-80.
- Sołowiej P.** 2007. Przykład wykorzystania pryzmy kompostu jako niskotemperaturowego źródła ciepła. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 8 (96) s. 247-253.
- Zadeh L.A.** 2008. Is there a need for fuzzy logic? *Information Sciences* 178 (2008). pp. 2751-2779.
- Zhanga Y.M., Huang G.H., Hea L., Li Y.P.** 2008. Quality evaluation for composting products through fuzzy latent component analysis. *Resources, Conservation and Recycling* 52. pp. 1132-1140.

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

THE CONCEPT OF USING FUZZY LOGIC TO CONTROL COMPOSTING PROCESS FOR BIOMASS OF AGRICULTURAL ORIGIN WITH SIMULTANEOUS HEAT RECEPTION

Abstract. Composting is a recognised method for utilisation of biological waste coming from agricultural and food industries. In recent years the issue of methane emission released during composting process has been the subject of many studies. In solutions used so far, composting process control intended to reduce emitted methane was coming down to aerating stream adjustment. Problem solution proposed in this article involves aeration intensity adjustment with simultaneous reception of excessive thermal energy using fuzzy logic to control the whole process.

Key words: fuzzy logic, compost, control, methane emission

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