

## MODELING OF THE NATURAL FERTILIZERS COMPOSTING PROCESS IN THE HEAT GENERATING ASPECT

### Summary

Composting process depends on microbiological decomposition of organic matter in oxygenic conditions proceeded by the thermophile microorganisms (bacteria) and moulds. During composting process, which thermophile phase can last from 4 to 7 weeks, there is a lot of heat energy emission. Especially high level of it is received in initial phase – because the temperature inside the composted pile can reach 60-75°C and stays on the level over 50°C for a dozen or even few dozen days. In order to carry out the laboratory experiments, which will fulfill the field conditions in 2002, at the Institute of Agricultural Engineering a bioreactor for the study of the organic material decomposition was constructed. Because of thermal isolation from outside conditions and complex sensor system, bioreactor is perfect experimental set-up, which allows to accumulate a large database. This fact makes possible to create composting model with placing emphasis on heat emission. As a modeling tool, the artificial neural network was used.

## MODELOWANIE PROCESU KOMPOSTOWANIA NAWOZÓW NATURALNYCH W ASPEKCIE GENEROWANIA CIEPŁA

### Streszczenie

Kompostowanie polega na mikrobiologicznym rozkładzie substancji organicznych w warunkach tlenowych pod wpływem mikroorganizmów termofilnych (bakterii) i pleśni. Podczas kompostowania, którego faza termofilna może trwać z reguły od 4 do 7 tygodni wydzielają się duże ilości energii cieplnej. Szczególnie wysoki poziom utrzymuje się w początkowej fazie – gdyż temperatura wewnątrz pryzmy może wówczas osiągnąć 60-75°C i utrzymać się na tym poziomie przez okres kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu dni. W celu przeprowadzenia badań laboratoryjnych, które będą oddawały warunki polowe w 2002 w Instytucie Inżynierii Rolniczej AR w Poznaniu zbudowano bioreaktor do badania przebiegu rozkładu odpadów organicznych. Dzięki odizolowaniu od warunków zewnętrznych i rozbudowanemu systemowi czujników bioreaktor jest doskonałym sprzętem badawczym, pozwalającym na zgromadzenie obszernej bazy danych umożliwiającej zbudowanie modelu kompostowania z uwzględnieniem wydzielającego się w jego trakcie ciepła. Jako narzędzie modelowania posłużyły sztuczne sieci neuronowe.

### Wstęp

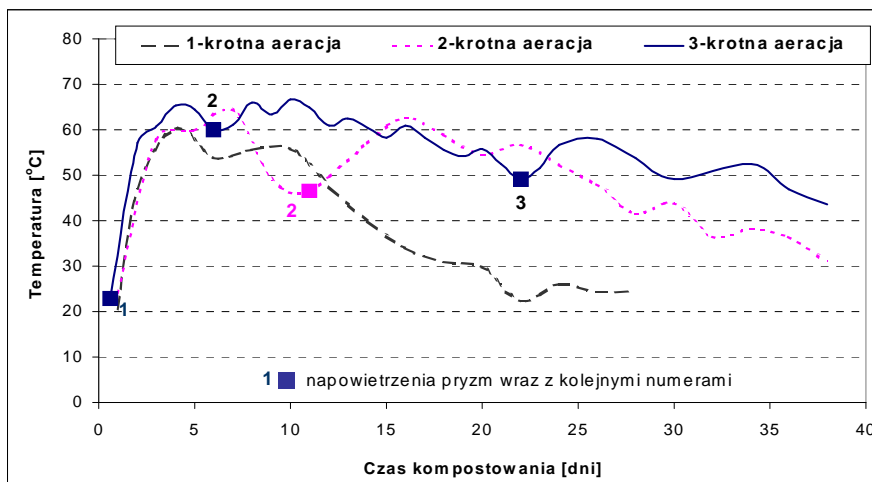
Kompostowanie jest naturalnym procesem przebiegającym w środowisku tworzącym zamknięty pierścień obiegu substancji organicznych. W trakcie kompostowania istotną rolę odgrywają procesy mineralizacji (utlenienie substancji organicznych do CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, azotanów, siarczanów, fosforanów i innych składników w najwyższym stopniu utlenienia) oraz proces humifikacji (syntezy składników rozkładu w wielocząsteczkowe substancje próchnicze). Kompostowaniu można poddać np. obornik, gnojowicę, odpady rolno-przemysłowe i inne (miejskie odpady komunalne, osady ściekowe, liście, gałęzie) [1]. Kompostowanie może odbywać się w pryzmach lub boksach na wolnym powietrzu, w zamkniętych komorach lub bębnach z kontrolowanym doprowadzaniem tlenu [2, 4, 8]. Bardzo ważnym warunkiem dla prawidłowego przeprowadzenia tego procesu jest odpowiedni stopień napowietrzenia oraz wilgotności przez cały okres jego trwania [6]. Napowietrzanie można przeprowadzić za pomocą ciągnikowego aeratora pryzm, rozrzutnika obornika [1] czy rusztów z rur stalowych, za pomocą których włącza się powietrze do pryzm.

Stopień natlenienia pryzmy jest bezpośrednio związany z temperaturą w jej wnętrzu [7]. Wysoka temperatura ma istotny wpływ na jakość otrzymanego kompostu (parametry fizyczne i chemiczne) oraz likwidację mikroorganizmów chorobotwórczych, nasion chwastów oraz larw owadów

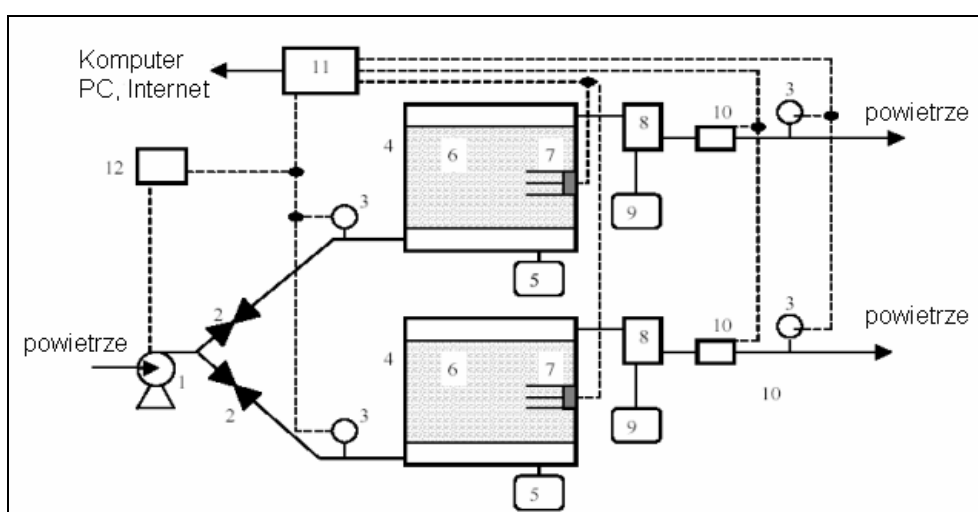
[2]. Odpowiedni stopień napowietrzenia powoduje rozpoczęcie fazy termofilnej, charakteryzującej się szybkim wzrostem temperatury (średnio do ok. 60-70°C), odparowaniem zawartej w materiale wilgoci, wzrostem pH do poziomu 7,5-9,0 jak również zmianą właściwości odpadów organicznych, które przyjmują wygląd brunatnej, rozdrobnionej masy o zapachu ściółki leśnej [2]. Faza termofilna może trwać na ogół od 4 do 7 tygodni. Czas jej trwania można wydłużyć poprzez zwiększenie liczby aeracji. Wyniki badań przeprowadzonych przez Dacha i Zbytka [3] ukazują, że kompostowana pryzma poddana trzykrotnemu procesowi napowietrzania uzyskała najwyższą średnią temperaturę wnętrza (ponad 65°C), w porównaniu do pryzm napowietrzanych jedno- i dwukrotnie. Temperatura ta utrzymała się również najdłużej w przedziale 50-60°C (rys. 1). Tak więc podczas kompostowania wytwarza się duża ilość ciepła, które może być wykorzystane do różnych celów.

### Cel i zakres pracy

Celem pracy jest modelowanie procesu kompostowania stałych nawozów naturalnych z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych, ze szczególnym uwzględnieniem analizy cieplnej tego procesu. Pierwszym etapem było przeprowadzenie modelowania pola temperatur wewnątrz komory bioreaktora za pomocą technik neuronowych.

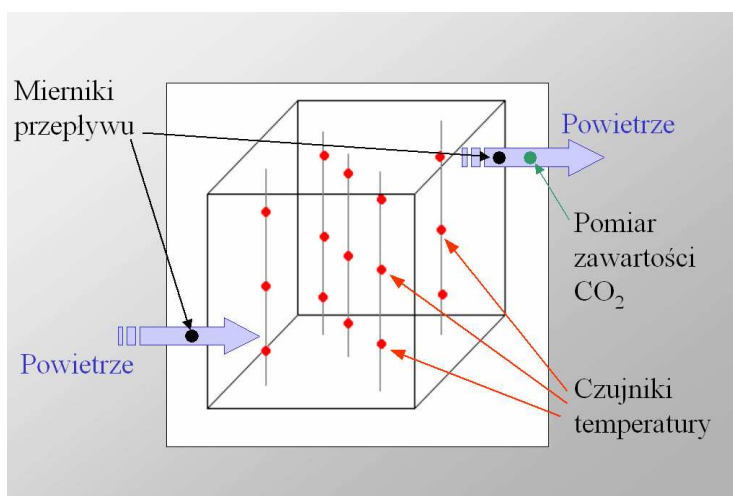


Rys. 1. Zmiany temperatury w kompostowanych przyzmach ze względu na liczbę aeracji  
 Fig. 1. Changes of the temperature in composting piles in the function of aerations number



Rys. 2. Schemat bioreaktora: 1. pompa, 2. regulator przepływu, 3. miernik przepływu, 4. izolowana komora, 5. zbiornik na odcieki, 6. kompostowana biomasa, 7. zespół czujników, 8. system schładzania powietrza, 9. zbiornik na skropliny, 10. system analizy gazów ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{O}_2/\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ), 11. 32 – kanałowy mikroprocesorowy rejestrator sygnałów pomiarowych, 12. system sterowania pompą powietrza

Fig. 2. Schematic diagram of the bioreactor: 1. pump, 2. flow regulator, 3. flow meter, 4. isolated chamber, 5. drained liquids container, 6. composted mass, 7. sensor array, 8. air cooling system, 9. condensate container, 10. multiple gas sensor array ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{O}_2/\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ), 11. 32 – channel recorder, 12. air pump control system



Rys. 3. Schemat rozmieszczenia czujników wewnątrz komory bioreaktora  
 Fig. 3. Schematic diagram of the sensors location in the bioreactor's chamber

## Stanowisko badawcze

Jako stanowisko badawcze był wykorzystywany adiabatyczny, dwukomorowy bioreaktor do badań procesów rozkładu tlenowego i beztlenowego z automatycznym rejestratorem danych pomiarowych (rys. 2). Został on zaprojektowany i zbudowany w Instytucie Inżynierii Rolniczej w 2002 roku w celu przeprowadzania badań laboratoryjnych, które będą maksymalnie zbliżone do rzeczywistych warunków polowych. Bioreaktor został zbudowany w ramach grantu KBN pt.: „Emisje gazowe w różnych technologiach zagospodarowania obornika” (kierownik dr inż. J. Dach) [4].

Zaprojektowany bioreaktor składa się z dwóch komór o pojemności 125 dm<sup>3</sup>, które są izolowane cieplnie za pomocą warstwy styropianu. Bioreaktor wyposażony jest w zestaw czujników umożliwiających pomiary temperatury biomasy, temperatury i wilgotności powietrza oraz zawartości tlenu, metanu i amoniaku. Mierzona jest również ilość przepływającego przez biomasę powietrza (łoczono go za pomocą pompy powietrznej).

Każdy z czujników podłączony jest do centrali sterująco-pomiarowej, którą jest 32 kanałowy mikroprocesorowy rejestrator sygnałów pomiarowych. Został on zaprojektowany i zbudowany według koncepcji opracowanej w Instytucie Inżynierii Rolniczej Akademii Rolniczej w Poznaniu. Może on współpracować z 32 czujnikami pomiarowymi, posiada 1 godzinny cykl zapisu do własnej pamięci przez 168 h (1 tydzień). W razie braku napięcia zasilającego samoczynnie przechodzi na zasilanie bateryjne, co uniemożliwia utratę wcześniej zgromadzonych danych. Wyniki pomiarów są wysyłane do komputera do arkusza kalkulacyjnego, np. MS Excel. Pomiary wykonywane są w cyklach co 60 min. ale wartość tą można regulować. Niemniej wcześniejsze badania [3, 4] dowiodły, że dla zmierzenia intensywności zmian zachodzących w kompostowanym materiale pomiar co godzinę jest optymalny z punktu widzenia wartości danych oraz ograniczenia ich nadmiernej liczby.

## Metoda badawcza

W bardzo dużym uproszczeniu można stwierdzić, że materia organiczna poddana procesowi kompostowania zamienia się na kompost, przy intensywnym wydzielaniu dwutlenku węgla, wody oraz energii cieplnej, której generowanie oraz dalsza dystrybucja będzie poddane szczegółowym badaniom w trakcie dalszej realizacji pracy. W celu dokonania pomiaru pola temperatur każda z komór została wyposażona w siatkę czujników umożliwiających przestrzenny pomiar temperatury oraz przepływu powietrza. Badania Fernandes i in. [7] wskazały bowiem na ścisłą zależność temperatury kompostowanej masy od ilości przepływającego powietrza. Mierzona jest również ilość wydzielanego CO<sub>2</sub> (rys. 3) a także wody gromadzonej w postaci skroplin.

## Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych

Zasada działania sztucznych sieci neuronowych wzorowana jest na wybranych własnościach pracy ludzkiego mózgu. Ich charakterystyczne cechy, jak możliwość generalizacji i uogólniania, predykcji czy klasyfikacji, powodują, że są one bardzo pomocne przy opisie wielu złożonych systemów empirycznych, trudnych do określenia za pomocą tradycyjnych, deterministycznych metod. Techniki neuronowe umożliwiają również łatwe tworzenie modeli nieliniowych, opisujących zagadnienia cechujące się skomplikowanymi zależnościami. Dziedzina inżynierii rolniczej bogata jest w

wiele zjawisk tego typu, uzasadnione jest więc wykorzystanie rozproszonych technik analizy problemów jakimi są sztuczne sieci neuronowe [5].

Otrzymane dane empiryczne pozwalają na budowę modelu procesu generowania energii cieplnej w trakcie kompostowania. Dane te zostały poddane obróbce w programie Statistica i posłużyły do wytworzenia i nauczania sieci neuronowej. Jako zmienne wejściowe wykorzystano: czas pomiaru, położenie czujnika w komorze (współrzędne X, Y, Z), objętościowe natężenie przepływu powietrza i zawartość CO<sub>2</sub>. Zmienną wyjściową jest temperatura w punkcie pomiarowym. Do wstępnego wytworzenia SSN posłużono się automatycznym projektantem programu Statistica. Otrzymano kilka typów sieci o różnych strukturach (perceptron wielowarstwowy, sieci o radialnych funkcjach bazowych) i różnym stopniu efektywności.

## Podsumowanie

1. Sztuczne sieci neuronowe znajdują zastosowanie tam, gdzie użytkownik jest w stanie sprecyzować cel i podać przykład jego osiągnięcia, ale nie jest pewien metod i sposobów osiągnięcia tego celu. Sztuczne sieci neuronowe powinny okazać się odpowiednim instrumentem do analizy procesu kompostowania.
2. Pozyskane dane empiryczne dają możliwość efektywnego wykorzystania technik neuronowych w procesie modelowania.
3. Przeprowadzone badania stanowią eksperyment pilotujący dla dalszych, kompleksowych badań dotyczących analizy termicznej procesu kompostowania.

## Literatura

- [1] Dach J., Kowalik I., Przybył J. 2003 „Zasady kompostowania organicznych odpadów rolniczych i rolno-przemysłowych” *Journal of Reserch and Applications in Agricultural Engineering*, vol. 48 nr 1
- [2] Dach J., Sęk T. 1996 „Perspektywy i możliwości wdrożenia w gospodarstwach technologii produkcji kompostu z obornika” *Postępy Nauk Rolniczych*, 5: 91-102
- [3] Dach J., Zbytek Z., 2001 Wpływ intensywności mechanicznego napowietrzania na szybkość kompostowania materiałów organicznych, *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, vol. 46 nr 2, 2001, str. 39-42
- [4] Dach J., Jędrus A., Adamski M., Kowalik I., Zbytek Z., 2003 „Bioreaktor do badań procesów rozkładu materiałów organicznych” *Journal of Reserch and Applications in Agricultural Engineering*, vol. 48 nr 4
- [5] Boniecki P., Sieci neuronowe typu MLP oraz RGB jako komplementarne modele aproksymacyjne w procesie predykcji plonu pszenżyta. *Journal of Reserch and Applications in Agricultural Engineering*, vol. 49 nr 1, 2004, str. 28-33
- [6] Shi W., Norton J. M., Miller B. E., Pace M. G. 1999 Effects of aeration and moisture during windrow composting on the nitrogen fertilizer values of dairy waste composts. *Applied Soil Ecology* 11, 17-28
- [7] Fernandes L., Zhan W., Patni N. K., Jui P. Y. 1994 Temperature distribution and variation in passively aerated static compost piles. *Bioresource Technology* 48 (1994) 257-263
- [8] Raghavarao K.S.M.S., Ranganathan T.V., Karanth N.G. 2003 Some engineering aspects of solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal* 13, 127-135.

