



## **Optymalizacja procesu kompostowania w warunkach rzeczywistych**

*Robert Sidelko, Krzysztof Seweryn, Bartosz Walendzik  
Politechnika Koszalińska*

### **1. Wstęp**

Kompostowanie jest uznaną metodą biologicznego przetwarzania odpadów organicznych, której jednym z efektów jest uzyskanie stabilnego produktu [5]. Jeżeli surowiec wykorzystywany w procesie kompostowania jest odpowiedniej jakości, to uzyskany kompost, klasyfikowany zgodnie z obowiązującymi przepisami jako nawóz organiczny, można wykorzystać w rolnictwie [8]. W sytuacji, kiedy substrat organiczny zawiera balast obniżający walory użytkowe kompostu, to wykorzystanie produktu końcowego jest mocno ograniczone. W konsekwencji powstają wątpliwości, co do sensu stosowania tej metody chyba, że celem nadrzędnym jest uzyskanie materiału biologicznie stabilnego o odpowiednio niskiej zawartości substancji organicznej, umożliwiającej jego składowanie. Wówczas, biorąc pod uwagę tzw. opłaty depozytowe, jest to uzasadnione ekonomicznie.

Problem ten dotyczy głównie zagospodarowania odpadów organicznych zawartych w odpadach komunalnych i wynika wprost z ustawy o odpadach. W praktyce wydzielenie części organicznych z odpadów

zmieszanych polega najczęściej na zastosowaniu wyłącznie przesiewania odpadów i wydzieleniu tzw. frakcji organicznej, której skład warunkuje jakość surowca poddanego dalszemu przetwarzaniu biologicznemu [7]. I chociaż ciągle trwa dyskusja, co do definicji pojęcia – *frakcja organiczna*, to wykorzystanie metody tlenowej do stabilizacji takiej frakcji jest rozwiązaniem coraz częściej stosowanym.

Zastosowanie bioreaktorów w procesie kompostowania, ma dwie istotne zalety. Po pierwsze, umożliwia kontrolę procesu w pierwszej tzw. fazie gorącej, kiedy istnieje największe zagrożenie emisji związków lotnych, a w szczególności amoniaku i jego pochodnych. Po drugie, intensyfikacja przemian biochemicznych, na skutek stworzenia optymalnych warunków procesowych, skraca czas trwania fazy dojrzewania kompostu przebiegającej w warunkach polowych.

Badania własne, procesu kompostowania odwodnionych osadów ściekowych, przeprowadzone na czynnym obiekcie wykorzystującym reaktory dynamiczne w pierwszej fazie kompostowania, pozwoliły określić postać równania algebraicznego opisującego związek pomiędzy czasem trwania obu faz [9]. Opracowaną metodę interpretacji wyników wraz ze sposobem aplikacji różnych narzędzi numerycznych do obróbki danych, można wykorzystać w analogicznym celu w przypadku zastosowania innej technologii kompostowania oraz innego surowca.

## 2. Problemy badawcze – zakres badań

W opracowanej metodzie badań można wyróżnić cechy, nadające jej charakter modelowania fizycznego, które w przypadku braku analitycznego opisu procesu kompostowania, jest w pełni uzasadnione. Postawioną tezę, zakładającą istnienie związku pomiędzy czasem trwania fazy gorącej i fazy dojrzewania ( $t_d = f(t_p)$ ), należy weryfikować w oparciu o analizę przemian biochemicznych w trakcie kompostowania. W rzeczywistości nie analizujemy jednak samego mechanizmu owych przemian, lecz ich skutek wyrażony wartościami konkretnych wskaźników chemicznych. Ponieważ mamy do czynienia z procesem nieustalonym, to oznaczone wartości poszczególnych wskaźników tworzą szereg czasowy obrazujący ich zmiany związane w istocie z zachodzącymi podczas kompostowania przemianami. Interpretacja uzyskanych wyników pozwala uzyskać ogólny obraz obserwowanego zjawiska oraz opisać jego kierunek.

Podstawowe problemy badawcze, na etapie planowania badań związane z ustaleniem ich zakresu niezbędnego do osiągnięcia założonego celu, można zdefiniować w następujący sposób:

1. określenie sposobu prowadzenia badań terenowych,
2. ustalenie zakresu monitorowanych wskaźników- zmiennych niezależnych,
3. ustalenie metodyki badań laboratoryjnych próbek kompostu,
4. obliczenia wartości wskaźników oceny dojrzałości kompostu- zmienne zależne,
5. wybór metody numerycznej do analizy regresyjnej,
6. opracowanie wyników- interpretacja statystyczna.

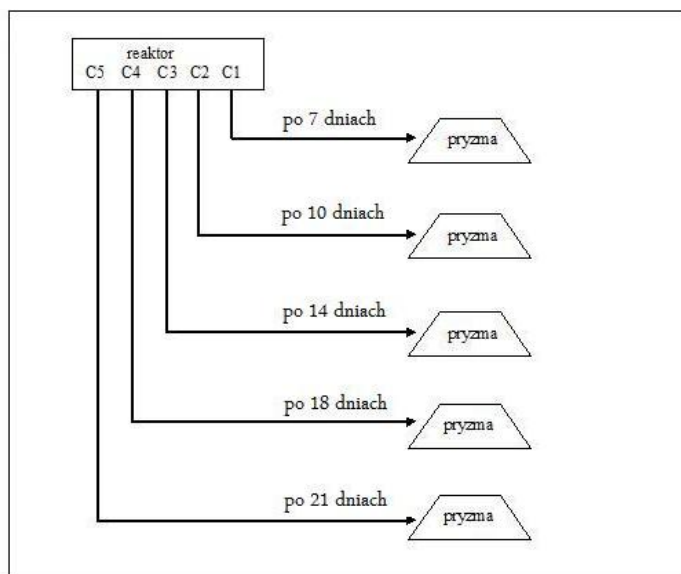
Biorąc pod uwagę charakter wykonywanych czynności, związanych z realizacją powyższych zadań, można wyróżnić trzy, wzajemnie powiązane, etapy badań.

### **2.1. Zakres i metoda badań terenowych – etap I**

Organizacja badań terenowych powinna umożliwić uzyskanie pełnego obrazu zmian poszczególnych wskaźników fizykochemicznych w całym procesie kompostowania. Ponieważ weryfikowana teza dotyczy wpływu czasu przetrzymania wsadu w reaktorze na czas dojrzenia kompostu ułożonego w pryzmach, to należy przewidzieć wykonanie kilku niezależnych prób kompostowych, różniących się czasem trwania fazy gorącej. Poszczególne próby kompostowe, w dalszej części, będą określane mianem cykli. Podczas badań, wsad reaktora nie powinien być uzupełniany, co w przypadku różnego w zależności od dnia, składu frakcji organicznej pozyskanej z odpadów komunalnych, ma istotne znaczenie. Kwestie związane z eksploatacją reaktora, a w szczególności sposób nadawania wsadu, warunkuje metodę poboru reprezentatywnej próbki kompostu. Dotyczy to zarówno poboru próbek do analiz laboratoryjnych, jak również wydzielenia odpowiedniej objętości kompostu świeżego, po określonym czasie przetrzymania w reaktorze, do formowania pryzm w warunkach polowych.

Ogólny schemat obrazujący organizację badań terenowych przedstawiono na rysunku 1.

Czynnik związany z niejednorodnością wsadu, należy uwzględnić poprzez wykonanie kilku powtórzeń.



**Rys. 1.** Metoda realizacji badań terenowych

**Fig. 1.** Diagram of field research

## 2.2. Zakres i metoda badań laboratoryjnych – etap II

Wyznaczając zakres wskaźników fizykochemicznych, oznaczanych w próbkach kompostu, należy wziąć pod uwagę zarówno ich liczbę, jaki i rodzaj.

Po pierwsze, liczba wykonanych oznaczeń będzie czynnikiem determinującym wielkość bazy danych. W przypadku, gdy do analizy numerycznej zostanie wykorzystana sztuczna sieć neuronowa (SSN), to relacja pomiędzy liczbą przypadków wykorzystywanych w procesie uczenia sieci, a liczbą badanych wskaźników (zmiennych) jest niezmiernie istotna. Im więcej danych zostanie wykorzystanych w procesie uczenia, tym lepsza zdolność generalizacji opracowanej sieci, mówiąc inaczej uzyskane prognozy będą dokładniejsze. Trudno przyjąć jednoznaczne kryterium pozwalające ustalić minimalną liczbę przypadków w zależności od liczby zmiennych na wejściu (*zmiennie niezależne*) i wyjściu sieci (*zmiennie zależne*). W tym względzie można posłużyć się regułami heurystycznymi wskazującymi, że na każdą zmienną wejściową powinna przypadać seria, co najmniej 10 przypadków uczących, gdzie jeden przypadek zawiera po jednej wartości dla każdego wejścia sieci. Przykładowo

wo, przyjmując 10 wejść sieci, należy dysponować 100 przypadkami uczącymi [11].

Po drugie, rodzaj oznaczanych wskaźników fizykochemicznych wiąże się pośrednio z oceną dojrzałości kompostu. Taką ocenę przeprowadza się na podstawie wartości odpowiednich wskaźników, ustalonych w wyniku przekształceń dostępnych danych [1, 3, 4, 6]. Jako przykład, można wymienić tzw. indeksy humifikacji np. indeks HP (*humification percentage*), którego wartość jest ilorazem zawartości węgla organicznego kwasów humusowych i ogólnego węgla organicznego. Dokonując wyboru wskaźników dojrzałości należy również określić, ich wartości charakteryzujące komposty dojrzałe, ponieważ zostaną one wykorzystane jako wartości kryterialne w późniejszej analizie statystycznej.

Zakres badanych wskaźników fizykochemicznych wraz z metodyką ich oznaczania, przedstawiono szczegółowo w raporcie z badań prowadzonych w ramach grantu rozwojowego w latach 2006÷2008 [10].

### **2.3. Analiza wyników badań – etap III**

Podstawowym zadaniem na etapie opracowania wyników badań, jest opisanie zmian wartości ustalonych zmiennych objaśnianych (zależnych) w trakcie procesu kompostowania. Jako zagadnienie regresyjne, powyższe zadanie, może być realizowane przy wykorzystaniu modeli liniowych jednej bądź wielu zmiennych (regresja wielokrotna). Jednak niedokładność wnoszona przez tego typu modele, szczególnie w przypadku opisu procesów biologicznych, które z natury nie mają charakteru liniowego, jest zbyt duża.

Z tego względu do analizy zgromadzonych danych wykorzystano sztuczne sieci neuronowe, które mogą prognozować dowolnie zdefiniowane zmienne w tym również indeksy dojrzałości kompostu. Prognozy SSN mogą uwzględniać wpływ wszystkich lub wybranych wskaźników oznaczanych podczas badań, tworząc algorytm obliczeniowy kojarzący się w pewnym sensie z regresją wielokrotną, jednak o charakterze nieliniowym.

Do kompilacji sztucznej sieci neuronowej, wykorzystując program *Statistica*, można zastosować opcję automatycznego poszukiwania sieci, dostępną w zakładce pakietu: *Data Mining/Automatyczne sieci neuronowe*.

Na etapie konfiguracji parametrów sieci neuronowej należy ustalić następujące elementy:

- rodzaj sieci (klasyfikacja wzorcowa lub problem regresyjny),
- typ sieci do modelowania zjawiska (sieci MLP lub RBF),
- minimalną i maksymalną liczbę neuronów w warstwie ukrytej,
- funkcję aktywacji neuronów warstwy ukrytej i wyjściowej,
- podział bazy danych na zbiory: uczący, testujący i walidacyjny.

Zmiennymi stanowiącymi dane wejściowe sieci były wartości następujących wskaźników: so (substancja organiczna), Pog, ChZT, Nog,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  oraz ogólny, rozkładalny i rozpuszczalny węgiel organiczny (OWO, RWO, EXT). Dodatkowo wprowadzono również zmienną określającą czas kompostowania oraz zmienną „kod” opisującą rodzaj cyklu. Biorąc pod uwagę: liczbę cykli (7, 10, 14, 18 i 21 dni – faza gorąca), czas trwania fazy dojrzewania kompostu, intensywność poboru próbek oraz liczbę powtórzeń (3 razy), utworzono bazę danych składającą się z 225 przypadków spośród których, 70% (wybranych losowo) wykorzystano w procesie uczenia sieci, a po 15% (losowo) do testowania i kontroli błędu walidacji. Fragment bazy danych, w formie zrzutu ekranu, obrazujący „prezentację” danych w programie *Statistica*, przedstawiono na rysunku 2.

Opis następujących czynności (kroków) wykonywanych przy opracowaniu wyników badań, omówiono na podstawie wyników uzyskanych w ramach zrealizowanego grantu [10].

W kroku pierwszym, ustalono zależności pomiędzy generowanymi przez SSN wartościami indeksów i czasem trwania drugiej fazy kompostowania. Wynik, w przypadku indeksu HP, przedstawiono na rysunku 3. Poszczególne, numerycznie aproksymowane, krzywe opisują zmiany omawianego indeksu dla wszystkich cykli w trzech powtórzeniach. Zmienna niezależna, opisuje wyłącznie czas trwania fazy drugiej – dojrzewania. Następnie obliczono wartości średnie indeksu HP odpowiadające charakterystycznym współrzędnym na osi odciętych uzyskując obraz zależności:  $\text{HP}^{(7\text{d})} = f(t_d)$ ,  $\text{HP}^{(10\text{d})} = f(t_d)$ ,  $\text{HP}^{(14\text{d})} = f(t_d)$ ,  $\text{HP}^{(18\text{d})} = f(t_d)$  i  $\text{HP}^{(21\text{d})} = f(t_d)$ .

W kroku drugim, przyjęto wartość kryterialną indeksu warunkującą klasyfikację kompostu jako dojrzały, która w przypadku indeksu HP wynosiła 0,025. Założenie  $\text{HP}_{(\text{kr})} = \text{idem}$  pozwoliło ustalić czas, po którym kompost uzyskał oczekiwaną wartość w kolejnych cyklach. Podobną

procedurę zastosowano dla pozostałych indeksów, przyjmując następujące liczby kryterialne: HI (*humification index* – kw. huminowe/kw. fulwowe) = 1,5; RWO/N<sub>og</sub> = 10,0; EXT/N<sub>og</sub> = 0,56; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 22,0 i ChZT/sm = 0,7. Wyniki zestawiono w tabeli 1.

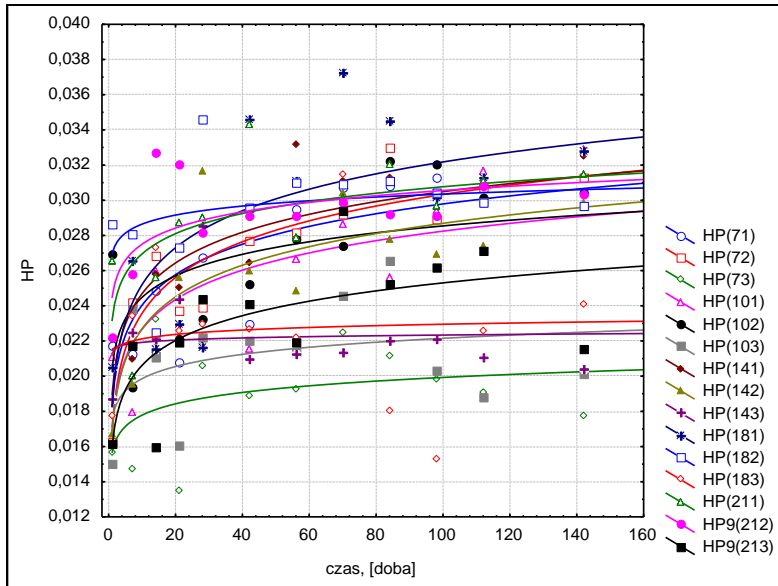
|     | 1 wagi | 2 kod | 3 czas | 4 gest | 5 pH | 6 so | 7 wilg. | 8 Pog. | 9 ChZT | 10 Ncał. | 11 N-NH4 | 12 N-NO3 | 13 RSO | 14 OWO | 15 EXT | 16 HS  | 17 KF  | 18 KH  |
|-----|--------|-------|--------|--------|------|------|---------|--------|--------|----------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 199 | 1      | 212   | 35     | 284    | 7.26 | 81.8 | 60.1    | 40600  | 26100  | 33330    | 8955     | 373      | 330400 | 362100 | 26300  | 214.5  | 54.55  | 159.95 |
| 200 | 1      | 212   | 42     | 480    | 7.57 | 79.5 | 73      | 37082  | 26000  | 43910    | 11376    | 413      | 380000 | 404000 | 35660  | 173    | 15.45  | 157.55 |
| 201 | 1      | 212   | 49     | 412    | 7.8  | 77.2 | 78.3    | 47264  | 17600  | 39980    | 6834     | 218      | 401600 | 421400 | 11120  | 149.85 | 63.05  | 86.8   |
| 202 | 1      | 212   | 63     | 400    | 7.6  | 76   | 76.5    | 52200  | 21200  | 39120    | 6400     | 215      | 371800 | 391500 | 11550  | 168    | 60     | 108    |
| 203 | 1      | 212   | 77     | 355    | 7.09 | 75.5 | 75.6    | 56959  | 23300  | 38200    | 6112     | 221      | 342600 | 373500 | 13530  | 189.6  | 47.5   | 142.1  |
| 204 | 1      | 212   | 91     | 395    | 6.71 | 76.3 | 74.9    | 56929  | 23500  | 36890    | 5981     | 204      | 357500 | 378500 | 14650  | 173.75 | 45.65  | 128.1  |
| 205 | 1      | 212   | 105    | 408    | 7.34 | 76.3 | 74.5    | 51613  | 22000  | 39990    | 7344     | 247      | 347300 | 378800 | 16420  | 164.7  | 41.1   | 123.6  |
| 206 | 1      | 212   | 119    | 335    | 7.04 | 74   | 74.7    | 54750  | 20500  | 42990    | 8427     | 287      | 356700 | 361300 | 23170  | 182.8  | 93     | 89.8   |
| 207 | 1      | 212   | 133    | 334    | 7.3  | 77.9 | 72.5    | 52300  | 22000  | 41520    | 8302     | 278      | 333800 | 361000 | 14880  | 196.5  | 101.4  | 95.1   |
| 208 | 1      | 212   | 163    | 518    | 6.68 | 75.2 | 79.9    | 46150  | 10000  | 36450    | 1217     | 187      | 340800 | 363200 | 11200  | 203.65 | 85.3   | 118.35 |
| 209 | 1      | 213   | 1      | 350    | 7.5  | 86.2 | 62      | 27550  | 26500  | 34800    | 6654     | 155      | 378500 | 389900 | 25440  | 203    | 140    | 63     |
| 210 | 1      | 213   | 7      | 230    | 8.39 | 85.4 | 60.4    | 25164  | 25000  | 33970    | 7747     | 194      | 364800 | 407200 | 23340  | 168.6  | 113.6  | 55     |
| 211 | 1      | 213   | 10     | 248    | 8.3  | 86.2 | 54.8    | 28197  | 23600  | 27970    | 7566     | 221      | 403700 | 413900 | 25280  | 119.35 | 69.73  | 49.62  |
| 212 | 1      | 213   | 14     | 147    | 8.29 | 83.2 | 48.8    | 23200  | 26600  | 26820    | 6614     | 191      | 379000 | 394700 | 26940  | 123.55 | 10.9   | 112.65 |
| 213 | 1      | 213   | 18     | 172    | 7.89 | 79.5 | 58.4    | 27590  | 26600  | 30530    | 14668    | 139      | 407400 | 458700 | 26880  | 127.5  | 37.4   | 90.1   |
| 214 | 1      | 213   | 21     | 158    | 8.14 | 85.8 | 42.9    | 19902  | 15300  | 35320    | 8325     | 202      | 376100 | 405700 | 28290  | 169.05 | 123.81 | 45.24  |
| 215 | 1      | 213   | 28     | 158    | 7.84 | 84   | 50.1    | 27500  | 26500  | 36940    | 9356     | 243      | 365900 | 398100 | 26400  | 106.5  | 17.85  | 88.65  |
| 216 | 1      | 213   | 35     | 125    | 6.94 | 80.4 | 62.1    | 46101  | 47000  | 39940    | 8360     | 274      | 380700 | 387700 | 50680  | 182.75 | 125.15 | 57.6   |
| 217 | 1      | 213   | 42     | 112    | 7.32 | 79.4 | 47.9    | 42579  | 24500  | 49240    | 7320     | 270      | 388300 | 392000 | 22910  | 144.05 | 92.6   | 51.45  |
| 218 | 1      | 213   | 49     | 118    | 7.16 | 83.1 | 27.6    | 32752  | 45000  | 33240    | 4332     | 256      | 372000 | 394000 | 26890  | 132.25 | 64.4   | 67.85  |
| 219 | 1      | 213   | 63     | 148    | 7.58 | 82.9 | 38      | 40110  | 89000  | 32990    | 4893     | 245      | 361300 | 402200 | 27860  | 153.9  | 46.3   | 107.6  |
| 220 | 1      | 213   | 77     | 86     | 7.24 | 82.3 | 17.2    | 28333  | 29000  | 33740    | 3593     | 254      | 357800 | 383300 | 24100  | 166.6  | 96.1   | 70.5   |
| 221 | 1      | 213   | 91     | 116    | 7.32 | 84.1 | 18.1    | 51367  | 33500  | 33820    | 3490     | 242      | 374200 | 370000 | 35400  | 171.4  | 63     | 108.4  |
| 222 | 1      | 213   | 105    | 138    | 7.56 | 81.5 | 31.1    | 40450  | 25000  | 34930    | 4356     | 240      | 392600 | 353900 | 38580  | 171.9  | 103.4  | 58.5   |
| 223 | 1      | 213   | 119    | 137    | 7.67 | 79.4 | 37.9    | 35450  | 29500  | 31760    | 4322     | 233      | 356300 | 387900 | 40170  | 168.05 | 96     | 72.05  |
| 224 | 1      | 213   | 133    | 111    | 7.6  | 82.9 | 33.1    | 39200  | 32000  | 31620    | 4442     | 248      | 350900 | 385800 | 40020  | 165.4  | 86     | 79.4   |
| 225 | 1      | 213   | 163    | 126    | 7.3  | 74   | 48.11   | 25120  | 25500  | 29290    | 3432     | 219      | 340000 | 380000 | 23460  | 175.5  | 90.5   | 85.1   |

Rys. 2. Fragment bazy do symulacji sieci neuronowej  
 Fig. 2. A part of basis for neural network simulation

Tabela 1. Czas po którym indeksy uzyskały wartości charakteryzujące kompost dojrzały

Table 1. Time after which the observed index values were reaching the values specific for the ripe compost

| cykl/t <sub>p</sub><br>[doba] | czas dojrzewania, t <sub>d</sub> [doba] |    |                     |                     |  |         |
|-------------------------------|---|----|---------------------|---------------------|--|---------|
|                               | HI                                      | HP | RWO/N <sub>og</sub> | EXT/N <sub>og</sub> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | ChZT/sm |
| C1/7                          | 56                                      | 70 | 70                  | 70                  | 112  | 112     |
| C2/10                         | 42                                      | 56 | 42                  | 56                  | 98   | 112     |
| C3/14                         | 14                                      | 28 | 42                  | 142                 | 98   | 98      |
| C4/18                         | 7                                       | 28 | 28                  | 142                 | 98   | 70      |
| C5/21                         | 7                                       | 14 | 14                  | 56                  | 98   | 56      |



**Rys. 3.** Aproksymacja prognozy SSN indeksu HP dla wszystkich cykli i powtórzeń

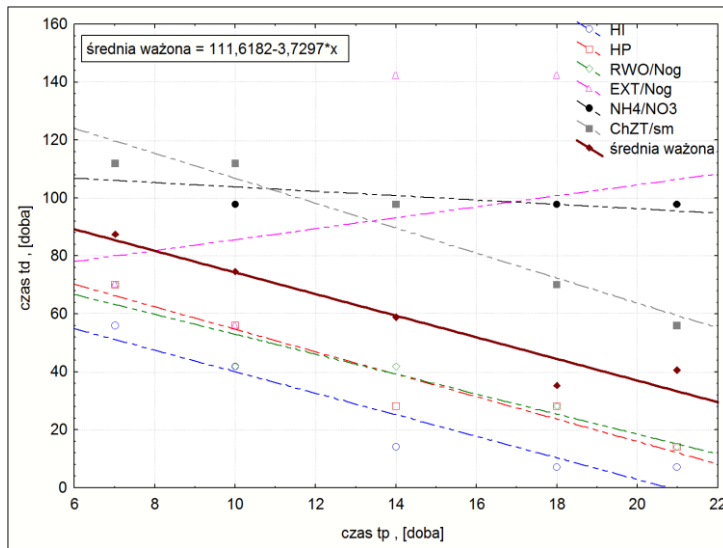
**Fig. 3.** Approximation of NN prognosis for HP index for all tested cycles

W kroku trzecim, przeprowadzono analizę współzależności pomiędzy opisanymi w tabeli 1 danymi, wyrażającymi wymagany do uzyskania dojrzałości czas trwania fazy drugiej ( $t_d$ ), a czasem trwania fazy gorącej przebiegającej w reaktorze ( $t_p$ ). Jako funkcję aproksymującą szukaną zależność, odrębnie dla poszczególnych indeksów, wykorzystano funkcję liniową. Wykresy linii regresji wizualizujące owe współzależności przedstawiono na rysunku 4. Dla większości przypadków, stwierdzono silną ujemną korelację wyrażoną następującymi wartościami współczynnika Pearsona:  $0,97(\text{ChZT}/\text{sm}) > 0,96(\text{HP}) > 0,95(\text{RWO}/\text{N}_{\text{og}}) > 0,94(\text{HI}) > 0,69(\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-) > 0,26(\text{EXT}/\text{N}_{\text{og}})$ .

W kroku czwartym, dokonano kompilacji wyników uzyskanych w kroku trzecim. Wpływ poszczególnych indeksów na ostateczną wartość zmiennej zależnej, w równaniu opisującym relację  $t_d = f(t_p)$  uwzględniono, poprzez obliczenie średniej ważonej czasu dojrzewania



kompostu przypisanego danemu cyklowi. Wagami były podane wcześniej współczynniki korelacji. W obliczeniach nie uwzględniono indeksu  $EXT/N_{og}$ . Ostateczny wynik obrazuje prosta przedstawiona na rysunku 4, jako „średnia ważona”.



**Rys. 4.** Linie regresji opisujące  $t_d = f(t_p)$  dla przyjętych indeksów i średniej ważonej

**Fig. 4.** Regression lines  $t_d = f(t_p)$  for particular indices and the average mean

### 3. Podsumowanie

Końcowym efektem badań było opracowanie równania w postaci:  $t_d = 111.62 - 3.73t_p$ , opisującego związek pomiędzy czasem trwania obu faz kompostowania. Zmiennym na osi odciętych (rys. 4), przypisanym kolejnym cyklom tj.: 7, 10, 14, 18 i 21. dniowym, odpowiadają następujące wartości czasu dojrzewania kompostu na przyzmach: 86, 74, 60, 46 i 36 dni. Opracowana formuła potwierdza stosowane w praktyce skracanie okresu przetrzymania kompostu na placu przyznowym w sytuacji, gdy zastosowano reaktor we wstępnej fazie produkcji kompostu. Przyjmując, że wymagany czas do otrzymania kompostu dojrzałego wytwarzanego wyłącznie w przyzmach wynosi 20÷25 tygodni [2], to zastosowanie reaktora i przetrzymanie kompostu przez siedem dni skraca ten okres

do 12 tygodni. Rozrzut punktów, opisanych na rysunku 4, obrazujący wartości *średniej ważonej* może sugerować, że dłuższy niż 18 dni czas trwania fazy gorącej nie wpływa już tak wyraźnie na skrócenie fazy dojrzewania.

Prezentowany w artykule sposób, pozwalający stworzyć formuły określające związek pomiędzy czasem trwania dwóch, realizowanych w odrębnych warunkach technicznych faz kompostowania, ma istotny aspekt praktyczny. Wiąże się to z możliwością sterowania procesem kompostowania, co bezpośrednio wpływa na koszty eksploatacyjne. Opracowany model można wykorzystać zarówno w przypadku obiektów już funkcjonujących, jak i obiektów projektowanych.

*Praca naukowa, finansowana ze środków na naukę w latach 2007÷2008  
jako projekt badawczo-rozwojowy nr R14 001 02*

## Literatura

1. **Baffi C. at all:** *Determination of biological stability in compost: a comparison of methodologies.* Soil Biological Biochemistry 39 (1284÷1293) 2007.
2. **Bilitewski B., Hardtle G., Marek K.:** *Podręcznik Gospodarki Odpadami,* Seidel Przywecki Sp. z o.o. Warszawa 2003.
3. **Bernal M.P. at all:** *Maturity and stability parameters of compost prepared with a wide range of organic waste.* Bioresource Technology 63 (91÷99). 1998.
4. **Domeizel M., Khalil A., Prudent P.:** *UV spectroscopy: a tool for monitoring humification and for proposing an index of the maturity of compost.* Bioresource Technology 94, 177÷184. 2004.
5. **Epstein E.:** *The science of composting.* Technomic Publishing Company, USA 1997.
6. **Iglesias-Jimenez E., Perez-Garcia V.:** *Determination of maturity indices for city refuse composts.* Agr. Ecosyst. Environ. 38, 331÷343. 1992.
7. **Jędrzszak A.:** *Biological treatment of waste.* Science Publishing Company PWN, Poland 2007.
8. **Sidelko R., Szymański K.:** *Application of dynamic bioreactor in composting process of sewage sludge.* Inżynieria i Ochrona Środowiska Vol. 11, 331÷343, Częstochowa 2008.
9. **Sidelko R. at all:** *Two composting phases running in different process conditions timing relationship.* BIORESOURCES TECHNOLOGY 101. 6692÷6698. 2010.

10. **Sidelko R.:** Kierownik grantu pt.: *Przeróbka osadów ściekowych – badania wpływu parametrów technologicznych oraz czasu przetrzymania masy kompostowej w bioreaktorze na stabilność i higienizację produktu końcowego*. Raport końcowy projektu rozwojowego nr R14 001 02, Koszalin 2008.
11. **StatSoft:** *Sieci neuronowe*. Electronic textbook. <http://www.statsoft.pl>

## **Optimization of Composting Process in Real Conditions**

### **Abstract**

Organization of field studies should allow to obtain full picture of changes of various physical and chemical indicators in the entire process of composting. Because verified thesis concerns the impact of time of compost stay in the reactor on time of compost ripening in heaps, therefore it should be anticipated execution of several independent compost tests, differing with the duration of the hot phase. Individual compost tests, will be referred to as cycles. During the tests, the load of the reactor should not be supplemented, what in case of different depending on the day, composition of the organic fraction from municipal waste, is important. Issues related to the operation of the reactor, in particular, ways of feeding, determines the method of collecting a representative sample of compost. This applies both to sampling for laboratory analysis, as well as separating the appropriate volume of fresh compost, after a period of retention in the reactor, for forming heaps in the field conditions.

The studies performed resulted in description of relationship between both composting phases timing. The devised formula confirms practically applied shortening of the period of compost keeping in the windrow yard in such situation when the reactor is used at the preliminary production phase.

Practical application of obtained results depends, first and foremost, on the quality of the batch put into the reactor, which determines the course of mineralisation and humification processes. As a result, demand for windrow yard area will strongly depend on degree of compost maturity after first phases. The analysis of investigation results may suggest that the hot phase timing exceeding 18 days has no clear impact on shortening of the ripening phase.

