

Wpływ czasu przetrzymania wsadu w bioreaktorze na stabilizację kompostu¹

Robert Sidelko
Politechnika Koszalińska

1. Wstęp

Gospodarka osadami ściekowymi to, przede wszystkim, kwestia unieszkodliwiania osadów przez poddanie ich procesom przekształceń chemicznych, fizycznych bądź biologicznych (ustawa o odpadach z 27 kwietnia 2001r. – Dz.U. Nr 62, poz.628). W przypadku stosowania metod biologicznych, efektem jest uzyskanie tzw. stabilizatów, czyli materiału o niskiej aktywności biologicznej [1]. Jednocześnie stabilizacja osadów jest warunkiem *sine quanon* ich rolniczego wykorzystania. Zarówno fermentacja jak i kompostowanie osadów stanowią uznane metody biologicznego przetwarzania. Zgodnie z trzecim dokumentem roboczym w sprawie wykorzystania osadów ściekowych, opublikowanym w Brukseli (ENV.E./LM, 27 kwietnia 2000r.), oba procesy są klasyfikowane jako tzw. tradycyjne sposoby przetwarzania osadów.

Kompostowanie osadów może dotyczyć zarówno osadów surowych, jak również osadów po fermentacji [5]. Stosowanie technologii z wykorzystaniem obu procesów w różnej konfiguracji, jest uwarunkowane wieloma czynnikami [2]. W przypadku, gdy zagospodarowanie osadów polegać będzie na rolniczym wykorzystaniu, to kompostowanie powoduje zmianę kwalifikacji produktu. Uzyskany w ten sposób kompost, jako nawóz organiczny, podlega ustawie o nawozach i nawożeniu, co znacznie zwiększa możliwości jego wykorzystania.

Stosowane obecnie technologie kompostowania są rozwinięciem dwóch podstawowych metod, polegających na prowadzeniu całego procesu jednoeta-

¹ Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2008 jako projekt badawczy rozwojowy

powo z wykorzystaniem pryzm kompostowych, bądź w układzie dwuetapowym, z zastosowaniu reaktorów w trakcie trwania intensywnego rozkładu (I-etap) i dojrzewaniem kompostu w warunkach polowych (II-etap) [4]. Podstawową zaletą układów wykorzystujących reaktory jest możliwość monitorowania zmian parametrów technologicznych, głównie: wilgotności, intensywności napowietrzania i temperatury, co zapewnia szybki przebieg pierwszej tzw. gorącej fazy kompostowania. Wymiernym efektem stosowania reaktorów w układach dwuetapowych powinno być skrócenie fazy intensywnego rozkładu materii organicznej, a w rezultacie całego cyklu produkcyjnego. Dotychczas nie opracowano formuły określającej związek między czasami trwania obu etapów, co w praktyce ułatwiłoby zarówno eksploatację, jak i projektowanie kompostowni odpadów organicznych, w tym również osadów ściekowych.

2. Cel, zakres i metodyka badań

Celem przeprowadzonych badań było ustalenie szybkości rozkładu materii organicznej w trakcie dojrzewania kompostu w warunkach polowych, w zależności od czasu przetrzymania wsadu w bioreaktorze.

Przedstawione w artykule wyniki dotyczą wybranego etapu badań (jednego z czterech), prowadzonych przez Katedrę Gospodarki Odpadami Politechniki Koszalińskiej na terenie kompostowni komunalnych osadów ściekowych w Kościerzynie. Metoda badań terenowych, prowadzonych w skali technicznej, zakładała monitorowanie pięciu niezależnych cykli, różniących się czasem przetrzymania masy organicznej – wsadu, w bioreaktorze. Wsad stanowiły odwodnione mechanicznie osady i słoma rzepakowa w stosunku masowym obu komponentów wynoszącym średnio 4,93 (osady/słoma), a objętościowym 0.79. Każdy cykl obejmował dwie fazy produkcji kompostu. Pierwsza faza tzw. gorąca, przebiegała w warunkach bioreaktora obrotowego o pojemności 125 m³ wyposażonego w układ napowietrzania mechanicznego i w zależności od cyklu trwała odpowiednio: 7, 10, 14, 18 i 21 dni. W drugiej fazie tzw. dojrzewania, kompost świeży kierowany był na pryzmy, gdzie w warunkach polowych był przetrzymywany przez cztery miesiące.

Badania laboratoryjne próbek kompostów obejmowały badania fizykochemiczne i mikrobiologiczne. W prezentowanym materiale zaprezentowano jedynie wyniki oznaczeń substancji organicznej i pomiaru temperatury kompostu w trakcie trwania całego procesu.

Próbki do badań były pobierane i przygotowywane do analiz zgodnie z normami:

- PN-Z-15011-1 pt. Kompost z odpadów komunalnych. Pobieranie próbek,
- PN-R-04006 pt. Nawozy organiczne. Pobieranie i przygotowanie próbek obornika i kompostu.

- PN-Z-15011-3 pt. Kompost z odpadów komunalnych. Oznaczenie: pH, zawartości substancji organicznej, węgla organicznego, azotu, fosforu i potasu.

2. Wyniki badań

Zmiany temperatury w kolejnych fazach kompostowania dla poszczególnych cykli, przedstawiono na rysunku 1. Konstrukcja wykresów nawiązuje do sposobu prowadzenia badań, polegającego na okresowym, zgodnym z długością przyjętych cykli, ujmowaniu z reaktora objętości ok. 2 m³ kompostu świeżego, przygotowania pryzm i kontynuowania badań w warunkach polowych. Stwierdzono, że w dniu wyładunku i formowania pryzmy, niezależnie od rodzaju cyklu, następowało obniżenie temperatury kompostu. Przykładowo, w cyklu 7-dniowym, z 60°C do 36°C. Jednak w kolejnych dobach obserwowano gwałtowny wzrost temperatury, która osiągała różne wartości i utrzymywała się przez określony czas, charakterystyczny dla poszczególnych cykli.

Zauważalny wzrost temperatury na przedstawionych wykresach, jest skutkiem okresowego przerzucania pryzm. Amplituda tych wzrostów sukcesywnie maleje w miarę upływu czasu, co dodatkowo świadczy o postępującym procesie mineralizacji. Wartość uzyskanej temperatury w trakcie tzw. próby samozagrzewania, jest podstawą stosowanego w różnych krajach indeksu stabilności RI (Rottegrad Index) [8].

Zawartość substancji organicznej (*so*), niezależnie od długości cyklu, ulegała stopniowemu obniżaniu. Przykładowo, w cyklu 7- dniowym (rys. 2), podczas fazy dojrzewania ilość sub. org. z 79,3% s.m. spadła do 68,7% s.m., co daje ubytek *so* rzędu 13%. W pozostałych cyklach, obniżenie zawartości substancji organicznej w trakcie trwania badań nie przekroczyło 15%.

3. Analiza wyników badań

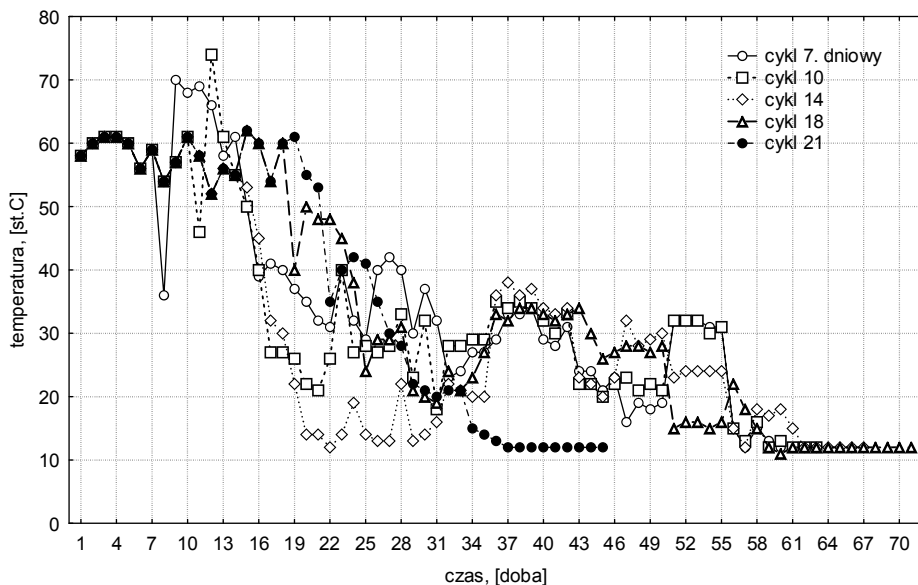
Obserwowany w trakcie prowadzenia badań, gwałtowny wzrost temperatury w pierwszej fazie kompostowania, jest wynikiem przemian biochemicznych, które mają charakter reakcji egzotermicznych [9]. Stosunkowo niewielkie zmiany średniej temperatury wsadu w trakcie trwania badań, wynoszącej ok. 56°C, są efektem regulacji ilości doprowadzanego do bioreaktora powietrza. Intensywność napowietrzania jest w tym wypadku czynnikiem decydującym o równowadze termodynamicznej układu [10]. W cyklach 7 i 10-dniowych stwierdzono wzrost temperatury w pierwszych dniach po uformowaniu pryzm, czego nie obserwowano w cyklach pozostałych. Charakterystyczne jest to, że w cyklu 7- dniowym temperatura ok. 70°C utrzymywała się przez 3 dni, a w cyklu 10- dniowym przez 1 dzień. Można zatem przypuszczać, że dłuższe przetrzymanie wsadu w bioreaktorze skuteczniej wyczerpuje zasoby tzw. łatwo

biodegradowalnych związków organicznych. W pryzmach, gdzie straty energii w wyniku konwekcji są zasadniczym elementem bilansu cieplnego, strumień ciepła generowany przez procesy utleniania substancji organicznej warunkuje wartość temperatury kompostu. Wyrównanie temperatur wewnątrz pryzmy, z temperaturą otoczenia w kolejnych cyklach, tj.: 7, 10, 14, 18 i 21-dniowych, nastąpiło odpowiednio po: 60, 57, 56, 50 i 34 dniach. Zmiany zawartości *so*, niezależnie od cyklu, przebiegały w podobny sposób (tabela 1.).

Tabela 1. Zmiany zawartości *so* w trakcie kompostowania

Table 1. Changes *om* (organic matter) concentration during composting

czas [doba]	substancja organiczna, [% s.m.]				
	cykl 7d.	cykl 10d.	cykl 14d.	cykl 18d.	cykl 21d.
0	<u>77,5</u>	<u>77,5</u>	<u>77,5</u>	<u>77,5</u>	<u>77,5</u>
1	<u>73,8</u>	<u>73,8</u>	<u>73,8</u>	<u>73,8</u>	<u>73,8</u>
7	<u>79,3</u>	<u>79,3</u>	<u>79,3</u>	<u>79,3</u>	<u>79,3</u>
10	75,4	<u>84,2</u>	<u>84,2</u>	<u>84,2</u>	<u>84,2</u>
14	76,9	83	<u>74</u>	<u>76</u>	<u>76</u>
18	75	81,5	73	<u>83,5</u>	<u>83,5</u>
21	80,3	81,3	82	71,6	<u>74,4</u>
28	80	78,7	81,5	83	76
35	72,9	77,3	77,8	82,5	81,2
43	70	78	77,6	80,3	79,3
49	69,3	76,9	78,2	75,5	78
61	71,3	78,2	70,6	80	79,5
77	72,1	75	78,9	78,8	79,5
91	68,7	76	77	78,4	78,1
105	-	74	77,4	78,5	77
119	-	-	71	75,8	77,3
132	-	-	-	70	73
163	-	-	-	-	67

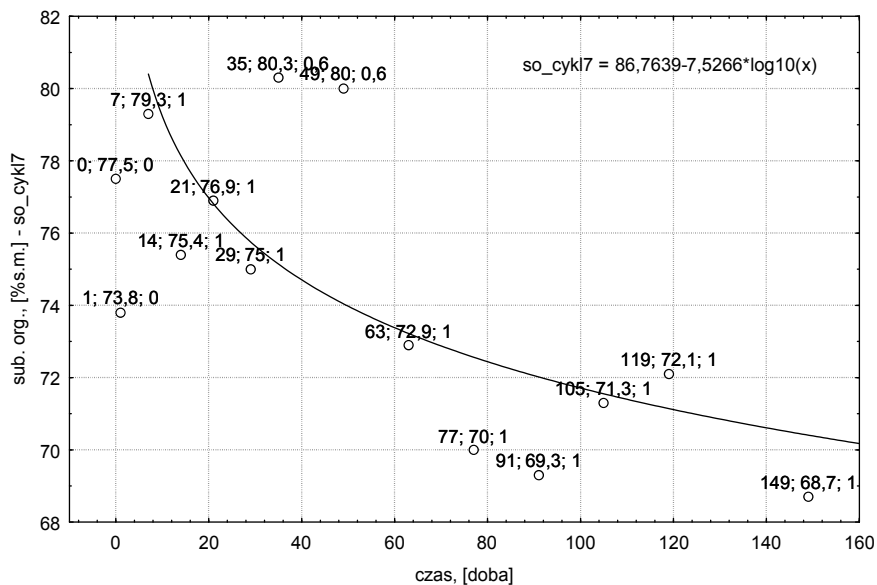


Rys. 1. Zmiany temperatury kompostu w trakcie badań
Fig. 1. Changes of temperature during composting research

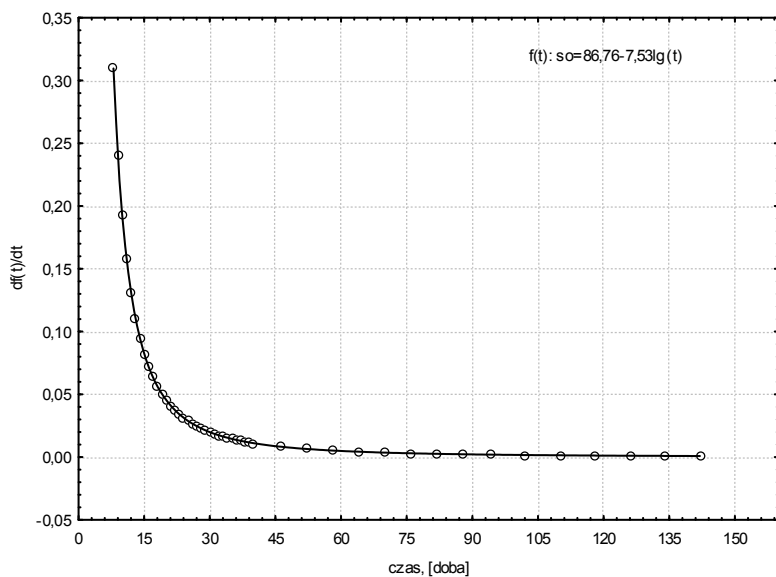
Podczas trwania fazy gorącej, zaznaczonej podkreśleniem odpowiednich liczb w tabeli 1, obserwowano wzrost wartości so wynikający z postępującą w tym czasie homogenizacją masy kompostowej. Sposób załadunku reaktora, polegający na jednoczesnym podawaniu podajnikiem ślimakowym osadów i materiału strukturalnego, wykluczał uzyskanie jednorodnego materiału w momencie rozpoczęcia kompostowania. Ustalona w tych warunkach wartość so jest średnią ważoną, gdzie wagi stanowią udziały poszczególnych składników (odwodnione osady ściekowe i słoma rzepakowa) w masie analizowanej próbki. Dojrzewanie kompostu w pryzmach wiąże się ze stopniowym spadkiem zawartości związków organicznych. Funkcję opisującą te zmiany uzyskano wykonując aproksymację wyników, z pominięciem danych dla pierwszej fazy, przez ustalenie wartości zerowych współczynników wagowych (rys. 2). Otrzymane w ten sposób funkcje stanowiły podstawę obliczeń szybkości procesu stabilizacji, mierzonego spadkiem wartości so w czasie, zdefiniowanej jako:

$$df(t_0)/dt, \text{ gdzie: } f(t)=so \quad (1)$$

Wartości pochodnych (1), dla cyklu 7-dniowego przedstawiono na rysunku 3.

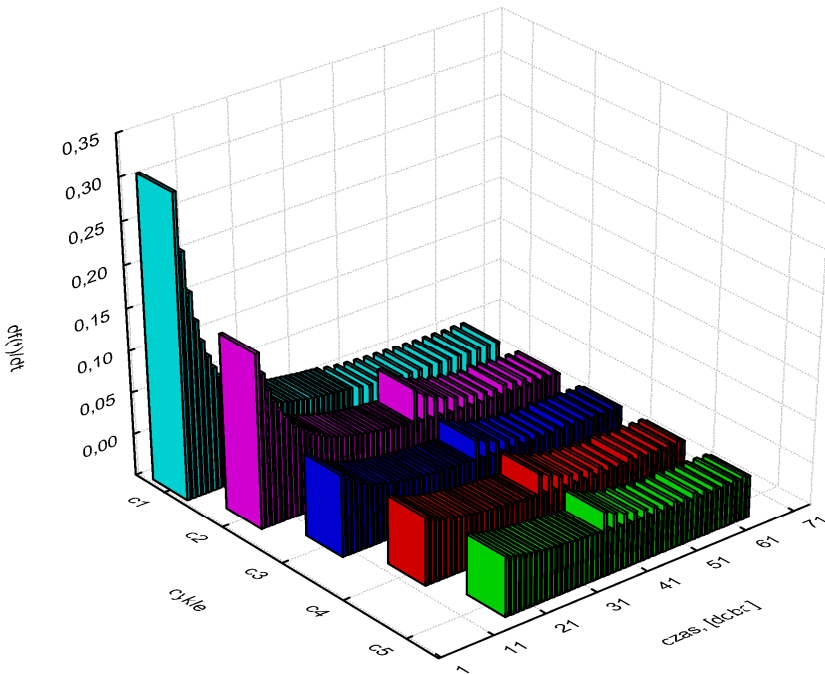


Rys. 2. Zmiana zawartości *so* w drugiej fazie kompostowania – cykl 7-dniowy
Fig. 2. Changes *om* concentration during 2nd stage of composting – 7 days cycle

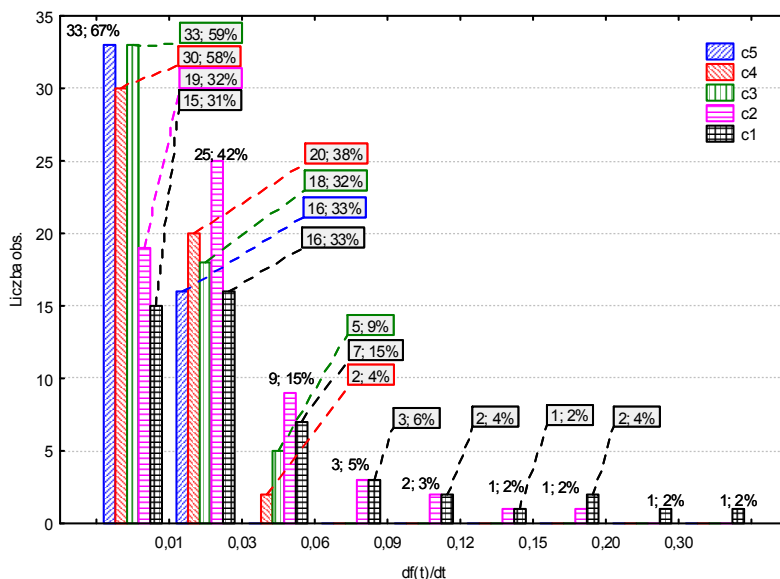


Rys. 3. Wykres szybkości rozkładu substancji organicznej- cykl 7-dniowy
Fig. 3. Graph of organic matter degradation rate – 7 days cycle

Rozkład uzyskanych wyników wyraźnie wskazuje na gwałtowny spadek szybkości procesu w pierwszych 20 dniach dojrzewania kompostu w warunkach połowych oraz stopniowe spowolnienie w kolejnych dniach. Porównanie zmian prędkości procesu rozkładu so dla pięciu badanych cykli, różniących się czasem przetrzymania kompostu w reaktorze, przeprowadzono w oparciu o histogram 3D przedstawiony na rysunku 4. Charakter zmian kolejnych wykresów wskazuje, że dłuższe przetrzymanie wsadu w bioreaktorze skutkuje mniej intensywnymi przemianami biochemicznymi w okresie dojrzewania kompostu w pryzmach. Świadczyć o tym mogą również histogramy 2D przedstawione na rysunku 5, obrazujące częstotliwość występowania różnych wartości $df(t_0)/dt$ w kolejnych cyklach. Przykładowo w cyklu 7-dniowym, w trakcie drugiej fazy kompostowania (pryzmy), dwukrotnie stwierdzono wartości zmiennej zależnej powyżej 0,2. W przedziale wartości $df(t_0)/dt$ w zakresie 0,06÷0,2 występują już przypadki związane z cyklem 10-dniowym. W przedziale najniższych wartości $df(t_0)/dt$, największym udziałem wynoszącym 67% wszystkich analizowanych danych, wyróżniał się cykl 21-dniowy. W tym samym przedziale, ilość danych, związanych z cyklami: 18, 14, 10 i 7-dniowymi stanowiła odpowiednio: 58, 59, 32 i 31% wszystkich danych.



Rys. 4. Wykres przestrzenny zmian $df(t_0)/dt$ dla różnych cykli
Fig. 4. The 3D-graph of $df(t_0)/dt$ changes for different cycles



Rys. 5. Histogram $df(t_0)/dt$ dla różnych cykli
Fig. 5. Histogram of $df(t_0)/dt$ for different cycles

4. Podsumowanie

Przedstawione w artykule wyniki stanowią fragment badań, których celem jest ustalenie związku pomiędzy czasem trwania dwóch faz kompostowania w układach dwuetapowych. Zmiany, zarówno temperatury jak i zawartości substancji organicznej w czasie trwania procesu, są jednym z wielu wskaźników opisujących proces stabilizacji kompostu [3, 6, 7]. Przeprowadzona analiza uzyskanych wyników uzasadnia stwierdzenie, że dłuższy czas przetrzymania wsadu w reaktorze skutkuje krótszym okresem stabilizacji. Podstawą takiego wniosku jest charakter zmian oznaczanych wielkości fizycznych oraz interpretacja obliczonych gradientów substancji organicznej. Zmiany obu wskaźników interpretowano w kontekście stabilności kompostu, co nie jest jednoznaczne z osiągnięciem jego dojrzałości. Trudno bowiem wnioskować, że 37 dni kompostowania, przy założeniu 21 dni przetrzymania wsadu w reaktorze (rys. 1 – cykl 21 d.), zapewnia uzyskanie kompostu dojrzałego. W tym względzie badania obejmowały oznaczanie pozostałych wskaźników fizyko-chemicznych, w tym również tzw. indeksów humifikacji. Powyższe wyniki będą stanowiły treść kolejnych publikacji w Roczniku Ochrony Środowiska.

Literatura

1. **Jędrzak A.:** *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007r.
2. **Epstein E.:** *The science of composting*. Technomic Publishing Company. 1997.
3. **Garcia C., Hernandez T., Costa.:** *Changes in carbon fraction during composting and maturation of organic waste*. Environmental Management. Vol. 3. 1991.
4. **Bilitewski B., Hardtle G., Marek K.:** *Podręcznik Gospodarki Odpadami*. Seidel Przywecki Sp. z o.o., Warszawa 2003.
5. **Bień J.B.:** *Osady Ściekowe. Teoria i praktyka*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej. Częstochowa 2002.
6. **Bernal M.P., Paredes C., Sanchez-Monedero M.A., Cegarra J.:** *Maturity and stability parameters of compost prepared with a wide range of organic waste*. Bioresource Technology. Vol 63, 91-99. 1998.
7. **Zmora-Nahum S., Markovitch O., Tarchitzky J., Chen Y.:** *Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity*. Solid Biology and Biochemistry. Vol.37, 2109-2116. 2005.
8. **Hue N.V., Liu J.:** *Predicting compost stability*. Compost Science and Utilization. Vol. 6, 6-13. 1995.
9. **Goyal S., Dhull S.K., Kapoor K.K.:** *Chemical and biological changes during composting of different organic waste and assessment of composting maturity*. Bioresources Technology. Vol. 96, 1584-1591. 2005.
10. **Weppen P.:** *Process calorimetry on composting of municipal organic waste*. Biomass and Bioenergy, Vol. 21, 289-299, 2001.

Relationship Between Time of Feedstock Retention in Reactor and Compost Stabilization Process

Abstract

This study presented investigation results of temperature and organic matter changes during two stages composting process. The feedstock components were dewatered not digested sewage sludge and rape straw as a structural material. The aim of investigation concerned determination of relationship between time of composting duration in rotating reactor (125 m³ volume) and time of stabilization of compost in periodically browsed windrows. Five cycles with different time of feedstock retention were monitored: 7, 10, 14, 18 and 21 days. The second stage of composting in all cycles lasted five months. The results show that longer compost retention in reactor effectively reduce time needed for compost stabilization.

Results presented in this paper are a part of investigations which have on aim determination of relationship between duration time of two phases of composting in two stage systems. Changes of both, temperature and content of organic substances during the

process, are one of many parameters which describe process of compost stabilisation [3, 6, 7]. Conducted analysis of achieved results allows to state that longer retention time of feedstock in the reactor causes shorter period of stabilisation. The basis of such conclusion is character of changes of determined physical parameters and interpretation of calculated gradients of organic substances. Changes of both parameters were interpreted in the context of compost stability, which is not synonymous with achieving its maturity. It is hard to conclude, that 37 days of composting, with assumption of 21 days of retention of feedstock in the reactor (fig. 1 – 21 days cycle), assures gaining mature compost. In this regard examinations also included determinations of other physico-chemical parameters, including so-called humification index. Those results will be the content of next papers in the Annual Set of Environment Protection.