

OCENA AKTYWNOŚCI BIOLOGICZNEJ BIOMASY NA RÓŻNYCH
ETAPACH PROCESU KOMPOSTOWANIA PRZY UŻYCIU SYSTEMU
POMIAROWEGO OXITOP CONTROL

Agnieszka Ozimek, Michał Kopeć

Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej, Uniwersytet Rolniczy
Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków
e-mail: aozimek@o2.pl

Streszczenie. Badania dotyczyły określenia dynamiki zmian aktywności biologicznej przygotowanej biomasy w trakcie procesu kompostowania odpadów. Wyniki badań respirometrycznych obrazują dostępność substratów dla mikroorganizmów, czyli podatność na biodegradację. Pomiarów zapotrzebowania na tlen dokonano przy pomocy systemu pomiarowego OxiTop® Control. Materiał kompostowany stanowiła mieszanina substratów organicznych z dodatkami odpadowych materiałów biodegradowalnych. Dodatkami do materiału kompostowanego były: mączka mięsno-kostna, odpadowy olej jadalny, folia biodegradowalna oraz papier gazetowy. Wyniki badań wskazują na dużą aktywność biologiczną kompostów utrzymującą się do 60. dnia procesu. Wprowadzone do kompostowanej biomasy dodatki odpadów w istotny sposób różnicowały aktywność biologiczną. W przypadku materiału z dodatkiem papieru gazetowego aktywność zmniejszyła się już po 40 dniach kompostowania, odwrotnie niż w przypadku materiału z dodatkiem folii oraz mączki, gdzie nastąpiło zwiększenie aktywności w 40. dniu procesu.

Słowa kluczowe: kompost, aktywność biologiczna, odpady biodegradowalne

WSTĘP

Prawidłowy przebieg procesu kompostowania zależy od właściwości kompostowanych materiałów oraz warunków, w których zachodzi proces. Czynniki, wpływające na proces kompostowania to: temperatura masy kompostowanej i otoczenia, wilgotność, struktura, C/N, zawartość materii organicznej, lotne związki. W ocenie prawidłowości przebiegu kompostowania oprócz oznaczenia właściwości fizycznych i chemicznych określa się również inne parametry jak: aktywność enzymatyczną, zapotrzebowanie na tlen, pomiar wydzielanego CO₂. Dodatkowo przeprowadzane są również testy roślinne, np. test kiełkowania nasion. Żaden

z proponowanych czynników nie został jednak uznany za uniwersalny (Lasaridi i Stentiford 1998, Jimenez i Garcia 1989, Jędrzak 2008) w ocenie stopnia dojrzałości kompostu. Nie można uznać kompostu za stabilny i dojrzały na podstawie określenia jednego parametru. Z uwagi na to, że kompostowanie to tlenowy proces biodegradacji materiałów organicznych, uważa się dostępność tlenu za istotny parametr warunkujący utrzymanie odpowiedniej wilgotności materiału kompostowanego i jego temperatury. Właściwe warunki wilgotnościowe i temperaturowe umożliwiają rozwój mikroorganizmów, częściową degradację substratów masy kompostowanej oraz transformację materii organicznej w związki próchniczne (Kuter i in. 1985). Optymalne warunki zapewnia wiele opracowanych dotychczas technologii kompostowania na skalę przemysłową, a wybór metody zależy, m.in. od kosztów inwestycji, dostępności terenu czy czasu potrzebnego do wprowadzenia na rynek dojrzałego, stabilnego i bezpiecznego produktu handlowego, jakim jest kompost.

Dojrzałość i stabilizacja to kryteria determinujące jakość kompostu, który po przebadaniu i dopuszczeniu do obrotu może być wykorzystany w rolnictwie (Ust. o nawozach i nawożeniu 2007). Dojrzałość, jak podaje wielu autorów (Sadaka i in. 2006, Paradelo i in. 2010, Brewer i Sullivan 2003, Zmora-Nahum i in. 2005), jest terminem określającym przydatność kompostu do końcowego wykorzystania i wskazuje na stopień rozkładu substancji fitotoksycznych takich jak np. krótkołańcuchowe kwasy organiczne. Stabilizacja natomiast dotyczy dekompozycji materii organicznej i związanej z tym aktywności mikrobiologicznej (Zmora-Nahum i in. 2005). Metody respirometryczne wynikające z procesów biologicznych, stosowane są w celu określenia stabilności kompostu (Chica i in. 2003). Zapotrzebowanie na tlen świadczy o aktywności mikrobiologicznej, która wynika z istnienia jeszcze łatwo dostępnej formy substancji organicznej i trwającym procesie kompostowania.

Ilości materii organicznej w większości gleb Polski są niewystarczające. Potencjalnym źródłem poprawy bilansu materii organicznej w glebie są m.in. komposty, a wykorzystanie w procesie kompostowania odpadów organicznych jako dodatków, rozwiązuje wiele problemów związanych z ich utylizacją (Baran i Martyn 1996). Procesy rozkładu odpadowego oleju jadalnego ze względu na mazistą, zlewną postać są zahamowane. Wymieszanie go z materiałem strukturalnym poprawia możliwości przewietrzania i umożliwia rozwój drobnoustrojów rozkładających tłuszcze (Mazur i Malicki 1993).

Problem z zagospodarowaniem pojawia się również w przypadku ubocznych produktów pochodzenia zwierzęcego. Wprowadzenie zakazu stosowania mączek mięsno-kostnych jako dodatku do pasz spowodowało znaczące ograniczenie występowania choroby BSE. Konsekwencją jest jednak problem innego zagospodarowania odpadów poubojowych (Kodeks Dobrej Praktyki 2006).

Należy opracować procesy, które eliminują lub minimalizują zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt, występujące w materiałach odpadowych pochodzenia zwierzęcego. Mączka mięsno-kostna wyprodukowana z materiału zaliczonego do kategorii 3. może być wykorzystywana jako dodatek w procesie kompostowania. Materiał kategorii 3 to odpady pochodzenia zwierzęcego nie przeznaczone do spożycia przez ludzi, które nie wykazują żadnych objawów chorób przenoszonych na ludzi lub zwierzęta (Rozporządzenie Nr 1069/2009 Parlamentu Europejskiego i Rady (WE)). Odpady z przetwórstwa mięsnego, w tym mączka mięsno-kostna, skutecznie uzupełniają braki azotu w materiałach wyjściowych przeznaczonych do kompostowania, pozwalając zachować odpowiedni stosunek C/N.

W ostatnich latach wraz z rozwojem konsumpcji zwiększa się także ilość odpadów opakowaniowych, stwarzając duży problem ekologiczny zarówno w Polsce, jak i na świecie. Według Krajowego Planu Gospodarki Odpadami (KPGO 2014) ilość odpadów opakowaniowych, w tym papieru, szkła, tworzyw polimerowych, drewna itd. zwiększa się z każdym rokiem. Masa papieru odpadowego w 2004 r. wynosiła 822,7 tys. t i wzrosła do 1237 tys. t w roku 2008. W związku z taką sytuacją, zwiększa się zainteresowanie materiałami biodegradowalnymi, czyli takimi które ulegają dekompozycji w proste związki jak CO_2 , H_2O przy udziale mikroorganizmów i ich enzymów (Hermann i in. 2011). Są to przede wszystkim materiały produkowane na bazie celulozy, skrobi i ich pochodnych oraz biopoliestry uzyskiwane w wyniku polimeryzacji fermentacyjnej polisacharydów np. poli(kwas mlekowy) – PLA i wiele innych (Kaczmarek i Bajer 2006).

Zwiększająca się ilość odpadów różnego pochodzenia stwarza problem z ich zagospodarowaniem. Wprowadzenie odpadów do procesu kompostowania jako dodatków wydaje się być właściwym rozwiązaniem tego problemu. Dodatkową zaletą jest możliwość uzyskania kompostu, produktu bogatego w substancję organiczną. Warunkiem bezpiecznego stosowania odpadów w procesie kompostowania jest określenie ich wpływu na jakość kompostu.

Celem pracy było określenie dynamiki przemian materiałów organicznych z dodatkiem odpadów biodegradowalnych w czasie kompostowania oraz stopnia dojrzałości kompostów poprzez pomiary ich zapotrzebowania na tlen, zawartości frakcji węgla ekstrahowalnego oraz stosunku C/N.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono na materiałach kompostowanych w warunkach laboratoryjnych. Materiał wyjściowy do kompostowania stanowiła mieszanina następujących materiałów: słoma pszenna 15,4%, słoma rzepakowa 15,4%, świeża masa części nadziemnych kukurydzy 61,5%, odpad z oczyszczania grochu 7,7%. Materiały dobrano w oparciu o zawartości azotu i węgla, zapewniając stosunek

C/N pozwalający na prawidłowy przebieg procesu kompostowania. Wartość stosunku C/N w biomase wyjściowej wynosiła 36. Doświadczenie obejmowało następujące warianty:

Obiekt I – kontrolny (biomasa wyjściowa bez dodatku odpadów);

Obiekt II – biomasa wyjściowa + folia biodegradowalna;

Obiekt III – biomasa wyjściowa + papier gazetowy;

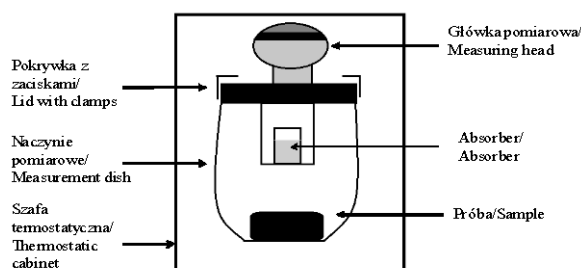
Obiekt IV – biomasa wyjściowa + mączka mięsno-kostna;

Obiekt V – biomasa wyjściowa + odpadowy olej jadalny.

Dodatek materiałów odpadowych stanowił 10% w stosunku do suchej masy biomasy wyjściowej.

Proces kompostowania prowadzono w przewietrzanych pojemnikach, umieszczonych w bioreaktorze, utrzymującym stałą temperaturę. W początkowym etapie kompostowania temperaturę utrzymywano na poziomie 37°C, a w fazie dojrzewania kompostu, obniżono do 30°C. Podczas kompostowania na skalę technologiczną, temperatura obniża się z czasem samoistnie, stąd zmiana w przeprowadzonym doświadczeniu. Komposty w bioreaktorze były regularnie napowietrzane, a straty wody uzupełniano. Próbkę kompostu pobierano co 20 dni i dokonywano pomiaru zapotrzebowania na tlen wykorzystując system pomiarowy OxiTop Control. Pomiar obejmował zmianę ciśnienia w zamkniętym naczyniu, proporcjonalną do zużycia tlenu przez mikroorganizmy w procesie utleniania aktywnych form węgla. Czas pomiaru aktywności wynosił 4 dni w temperaturze 20°C, zgodnie z wykorzystywaną w warunkach tlenowych metodą AT4 (WTW, Aktywność oddechowa AT4, 2006). Powstające równoważne ilości CO₂ absorbowane były przez roztwór NaOH o stężeniu 1 mol·dm⁻³. Świeża masa próbki wynosiła 100 g.

Zastosowany system składał się z naczyń pomiarowych wraz z wyposażeniem o objętości 1 dm³. Schemat budowy naczynia do pomiaru przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Schemat budowy naczynia do pomiaru zapotrzebowania na tlen

Fig. 1. Schematic diagram of vessel for the measurement of oxygen demand

Główki pomiarowe rejestrowały zmiany zapotrzebowania na tlen materiału na podstawie ustalonej różnicy ciśnień od początku czasu pomiaru. Butelki pomiarowe na czas pomiaru umieszczono w szafie termostatycznej, zapewniając stałą temperaturę 20°C ($\pm 0,1^\circ\text{C}$). Dane z pomiaru przesyłane były do kontrolera, a następnie do komputera za pomocą programu Achat OC. Aktywność biologiczną materiałów obliczono stosując następujący wzór:

$$AB = [M_{O_2}/(R \cdot T)] \cdot (V_{fr}/m_{Bt}) \cdot |\Delta p| \quad (\text{WTW, Aktywność oddechowa AT4, 2006}) \quad (1)$$

gdzie:

AB – aktywność biologiczna

M_{O_2} – ciężar molekularny tlenu ($31998 \text{ mg} \cdot \text{mol}^{-1}$)

R – ogólna stała gazowa ($83,14 \text{ L} \cdot \text{hPa} \cdot (\text{K} \cdot \text{mol})^{-1}$)

T – temperatura pomiaru (K)

m_{Bt} – ciężar suchej masy gleby (kg)

$|\Delta p|$ – zmiana ciśnienia (hPa)

V_{fr} – wolna objętość gazu, którą obliczono w następujący sposób:

$$V_{fr} = V_{ges} - V_{AM} - V_{Bf} \quad (2)$$

V_{ges} – całkowita objętość naczynia pomiarowego

V_{AM} – objętość absorbera i wewnętrznego wyposażenia pomocniczego

V_{Bf} – objętość wilgotnego materiału kompostowanego

Po zakończeniu pomiaru próbki suszono (105°C przez 12 godzin), określając zawartość suchej masy oraz zmielono. W uzyskanych kompostach wykonano analizę zawartości azotu i węgla, wydzielając najbardziej aktywne i rozpuszczalne frakcje (Kalembasa 1998):

- węgiel ogólny metodą Tiurina;
- węgiel ekstrahowalny wodą ($C_{ekstr.}$) metodą oksydacyjną-redukcyjną;
- azot ogólny ($N_{og.}$) metodą Kjeldahla;
- pH potencjometrycznie w zawiesinie kompostu i wody zachowując stosunek 1:10.

Przedstawione wyniki analiz węgla ekstrahowalnego stanowią średnią z 2 powtórzeń. Dla średnich wartości obliczono względny błąd standardowy średniej.

WYNIKI I DYSKUSJA

Parametrami chemicznymi potwierdzającymi dojrzałość kompostów są stosunek C/N, wartości pH oraz ilości węgla ekstrahowalnego. We wszystkich obiek-

tach wartość stosunku C/N (tab. 2, 3) zmniejszała się w czasie (C/N w materiale wyjściowym wynosił 36), osiągając największą wartość 17 w przypadku biomasy z dodatkiem papieru gazetowego. Papier charakteryzuje się wysokim stosunkiem C/N (560), co mogło wpłynąć na końcowy efekt kompostowania tego materiału (Jędrzak 2008, Francou i in. 2008). Najmniejszą wartość C/N równą 9 uzyskano w przypadku biomasy z dodatkiem mączki mięsno-kostnej. Wielu autorów uznaje kompost za stabilny, gdy C/N osiągnie wartość poniżej 20, przy czym wartość poniżej 15 jest preferowana (Jędrzak 2008, Goyal i in. 2005, Brewer i Sullivan 2003, Raj i Antil 2010). Zmniejszanie się stosunku C/N w czasie kompostowania występuje w każdym prawidłowo prowadzonym procesie, co wiąże się z ubytkiem węgla, wykorzystywanym przez mikroorganizmy (Goyal i in. 2005, Raj i Antil 2010).

Wartość pH kompostów w początkowym okresie utrzymywała się na poziomie zbliżonym do obojętnego, po 60 dniu procesu zanotowano zmniejszenie wartości pH w każdym z kompostowanych materiałów (tab. 1-3). Najmniejszą wartością tego parametru charakteryzował się kompost z dodatkiem mączki mięsno-kostnej (6,03) (tab. 3), co spowodowane było niskim odczynem samego dodatku (5,29).

Tabela 1. Zmiany właściwości biomasy kontrolnej w czasie kompostowania
Table 1. Changes of the control biomass properties during composting process

Dni kompostowania Days of composting	Właściwość – Property			
	Biomasa kontrolna – Control biomass			
	C ekstr. –C ekstr. (g·kg ⁻¹)	C/N	pH	Sucha masa Dry matter (%)
20	33,06±0,36	15	6,79	26,77
40	38,63±0,90	14	6,62	24,92
60	44,92±0,72	12	6,68	23,45
80	26,05±1,62	12	6,57	37,75
100	20,12±0,72	12	6,42	41,15
130	18,87±0,54	11	6,38	41,88

± SE (błąd standardowy), n = 2 – Standard error.

Kolejnym parametrem warunkującym dojrzałość kompostu jest zawartość węgla rozpuszczalnego, która zależy od składu materiału wyjściowego. Zawartości rozpuszczalnego węgla w badanych materiałach, w początkowym okresie kompostowania były różne, jednak zmiany jego zawartości przebiegały w podobny sposób niezależnie od wprowadzonego dodatku. Zmniejszenie zawartości rozpuszczalnej formy węgla w trakcie procesu kompostowania potwierdzają badania innych autorów (Zmora-Nahum i in. 2005, Goyal i in. 2005). Zdecydowany ubytek węgla rozpuszczalnego nastąpił po 60. dniu procesu w przypadku każdego z kompostowanych materiałów (tab. 1-3). W stosunku do biomasy kontrolnej największy ubytek węgla rozpuszczalnego nastąpił w przypadku biomasy z dodatkiem folii biodegradowalnej (o 42%), a najmniejszy w obiekcie z dodatkiem oleju (o 17%). W końcowym etapie najmniejszy ubytek węgla rozpuszczalnego nastąpił w biomasie z papierem gazetowym (tab. 2). Hue i Liu (1995) sugerują zawartość $10 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ węgla rozpuszczalnego jako wskaźnik dojrzałości kompostu, natomiast Bernal i in. (1998) poziom $17 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Biorąc pod uwagę sugerowane przez tych autorów wartości, możemy uznać za stabilne komposty z dodatkiem papieru gazetowego, mączki mięsno-kostnej oraz oleju odpadowego (tab. 2, 3).

Tabela 2. Zmiany właściwości biomasy z dodatkiem papieru gazetowego i z dodatkiem folii biodegradowalnej w czasie kompostowania

Table 2. Changes of the biomass properties with newspaper paper addition and with biodegradable foil addition during composting process

Dni kompostowania Days of composting	Właściwość – Property							
	Biomasa + gazeta – Biomass + paper				Biomasa + folia – Biomass + foil			
	C ekstr. C extr. ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	C/N	pH	Sucha masa Dry matter %	C ekstr. C extr. ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	C/N	pH	Sucha masa Dry matter (%)
20	24,62±0,18	19	6,83	28,38	40,61±<0,01	15	6,77	23,38
40	27,85±1,26	18	6,72	23,18	44,02±1,62	15	6,82	27,02
60	25,52±0,36	16	6,91	23,87	43,48±<0,01	13	6,84	23,38
80	15,99±0,18	12	6,60	40,06	23,72±0,72	15	6,43	25,44
100	16,17±0,36	12	6,70	32,44	19,41±0,36	15	6,42	38,45
130	13,66±0,72	17	6,51	31,73	19,95±1,98	11	6,36	36,26

± SE (błąd standardowy), n = 2 – Standard error.

Tabela 3. Zmiany właściwości biomasy z dodatkiem mączki mięsno-kostnej i z dodatkiem oleju odpadowego w czasie kompostowania**Table 3.** Changes of the biomass properties with meat-bone meal addition and with waste edible oil addition during composting process

Dni kompostowania Days of composting	Właściwość – Property							
	Biomasa + mączka – Biomass + meal				Biomasa + olej – Biomass + oil			
	C ekstr. C extr. (g·kg ⁻¹)	C/N	pH	Sucha masa Dry matter (%)	C ekstr. C extr. (g·kg ⁻¹)	C/N	pH	Sucha masa Dry matter (%)
20	22,10±1,08	11	6,73	29,38	30,73±0,72	21	6,56	28,85
40	24,44±1,26	10	6,61	25,45	35,40±1,08	15	6,43	30,77
60	16,17±0,54	8	6,36	27,64	33,78±0,90	12	6,35	26,26
80	13,66±0,54	8	6,13	40,18	25,70±0,72	13	6,66	41,02
100	11,86±0,90	8	6,05	34,22	18,15±1,08	12	6,35	38,64
130	10,96±1,08	9	6,03	35,48	17,97±0,54	13	6,30	44,30

± SE (błąd standardowy), n = 2 – Standard error.

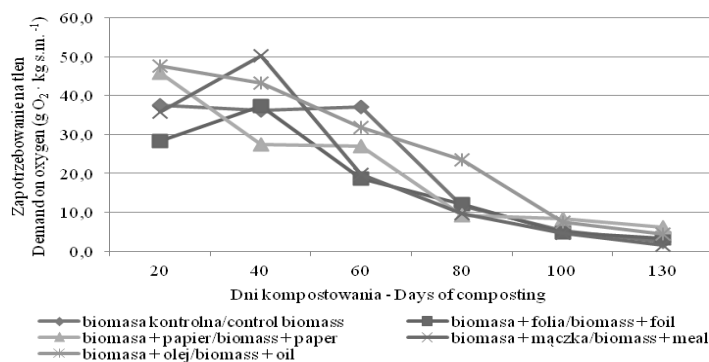
Przedstawione wyniki badań wskazują na zmniejszenie zapotrzebowania na tlen materiałów kompostowanych w czasie, niezależnie od wprowadzonego dodatku odpadu (rys. 2). Wartości zapotrzebowania na tlen po 130 dniach kompostowania kształtowały się w przedziale od 1,65 g O₂·kg s.m.⁻¹ w przypadku materiału z dodatkiem mączki mięsno-kostnej do 6,06 g O₂·kg s.m.⁻¹ w materiale z dodatkiem papieru gazetowego. Zgodnie z wytycznymi Komisji Europejskiej kompost uznaje się za stabilny, jeśli wartość współczynnika AT4 jest mniejsza niż 10 g O₂·kg s.m.⁻¹ (European Commission, 2001). W trakcie procesu kompostowania materiały wykazywały zróżnicowane zapotrzebowanie na tlen w zależności od dodatku odpadu. W początkowym okresie, po 20 dniach procesu, najbardziej aktywna biologicznie była mieszanina z dodatkiem oleju odpadowego. Zapotrzebowanie na tlen osiągnęło wartości większe od mieszaniny kontrolnej o 10,13 g O₂·kg s.m.⁻¹. Mieszanina ta pozostała najbardziej aktywna w całym okresie kompostowania, z wyjątkiem 40. dnia, w którym większą aktywność wykazała mieszanina z dodatkiem mączki-mięsno kostnej oraz dnia 60., w którym mieszanina kontrolna miała większe zapotrzebowanie na tlen (o 5,21 g O₂·kg s.m.⁻¹). Zużyte oleje jadalne należą do grupy odpadów o wysokiej wartości energetycznej i są źródłem łatwo

dostępnego węgla, który jest wykorzystywany przez mikroorganizmy zdolne metabolizować tłuszcze (Mazur i Malicki 1993, Piotrowska-Cyplik i in. 2009). Tłuszcze charakteryzują się również wysoką zawartością materii organicznej (75-93%) i wysokim współczynnikiem rozkładu $k_r = 40\%$. Współczynnik rozkładu k_r określa ilość substancji organicznych ulegających rozkładowi do całkowitej ich zawartości w odpadzie (Jędrzak 2008).

Zbliżone do biomasy z dodatkiem oleju zapotrzebowanie na tlen uzyskano w przypadku mieszaniny z dodatkiem papieru gazetowego. Możemy uznać, że zastosowane dodatki oleju i papieru gazetowego stymulowały proces kompostowania w 20. dniu powodując zwiększenie aktywności materiałów kompostowanych. W 20. dniu procesu aktywność oddechowa wynosiła $45,9 \text{ g O}_2 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$ i była większa w porównaniu z mieszaniną kontrolną o $8,42 \text{ g O}_2 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$, po tym czasie nastąpiło gwałtowne zmniejszenie zapotrzebowania na tlen, utrzymujące się na poziomie $27,52 \text{ g O}_2 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$ w 40. i $27,05 \text{ g O}_2 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$ w 60. dniu kompostowania. Kolejne zmniejszenie aktywności oddechowej nastąpiło między 60. a 80. dniem procesu, natomiast od 80. dnia aktywność nieznacznie malała osiągając w 130. dniu kompostowania wartość $6,06 \text{ g O}_2 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$. Papier gazetowy jest odpadem zbudowanym głównie z celulozy (68,4%), dlatego stanowi bogate źródło, łatwo dostępnego węgla organicznego (Francou i in. 2008, Jędrzak 2008). Jak twierdzi Goyal i in. (2005), hydroliza celulozy, hemicelulozy i białek następuje pod wpływem działalności enzymatycznej m.in. celulazy, której aktywność osiąga maksymalny poziom około 30. dnia kompostowania, a następnie maleje do 60-90. dnia procesu. Taki przebieg dekompozycji, najbardziej intensywny do 60. dnia kompostowania potwierdzają przedstawione wyniki badań (rys. 2). Współczynnik rozkładu k_r celulozy jest bardzo wysoki i wynosi 50-90% (Jędrzak 2008). Celuloza jest rozkładana również przez mikroorganizmy pojawiające się w końcowych etapach kompostowania, czyli grzyby i promieniowce (Diaz i in. 2007). Proces dekompozycji jest wówczas spowolniony, ze względu na dostępność węgla organicznego, którego ilość zmniejsza się wraz z upływem czasu i ubytkiem substancji organicznej (tab. 2) (Francou i in. 2008).

Zastosowanie mączki mięsno-kostnej jako dodatku do materiału kompostowanego spowodowało zwiększenie aktywności oddechowej do 40. dnia kompostowania, a zapotrzebowanie tlenowe materiału wyniosło $50,15 \text{ g O}_2 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$. Według Chica i in. (2003) zwiększenie aktywności oddechowej wiąże się ze zwiększeniem ilości węgla rozpuszczalnego (tab. 3), jak podają autorzy te dwa parametry są ze sobą silnie skorelowane. Począwszy od 40. dnia zapotrzebowanie na tlen zmniejszało się do $19,75 \text{ g O}_2 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$ w 60. dniu procesu. Stopniowe zmniejszanie zapotrzebowania na tlen doprowadziło do stabilizacji kompostu. Aktywność oddechowa zmalała, osiągając wartość $1,65 \text{ g O}_2 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$, najmniejszą spośród badanych materiałów.

Zbliżoną do biomasy z dodatkiem mączki mięsno-kostnej dynamiką przemian podczas procesu charakteryzował się materiał z dodatkiem folii biodegradowalnej. Dodatek ten spowodował zmniejszenie zapotrzebowania na tlen mieszanki w 20. dniu kompostowania w porównaniu z kontrolą o $9,27 \text{ g O}_2 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$. W 40. dniu procesu nastąpiło zwiększenie się aktywności materiału i wyrównanie do poziomu aktywności materiału kontrolnego. Od tego momentu następowało zmniejszanie zapotrzebowania na tlen osiągając w dniu zakończenia procesu wartość $3,22 \text{ g O}_2 \cdot \text{kg s.m.}^{-1}$. W procesie degradacji polimerów najistotniejszą rolę odgrywają: temperatura (optymalna $45\text{-}60^\circ\text{C}$), wilgotność (optymalna $50\text{-}60\%$), pH, stosunek C/N oraz światło słoneczne (Adamus i in. 2006). Biorąc pod uwagę wyniki badań innych autorów (Adamus i in. 2006, Hermann i in. 2011), można stwierdzić, że w przedstawionych badaniach na skalę laboratoryjną nie uzyskano warunków umożliwiających biodegradację wprowadzonej folii i dodatek ten nie modyfikował przebiegu procesu. Aktywność biologiczna materiału była wynikiem przemian materiału wyjściowego, świadczyć mogą o tym również zbliżone do biomasy kontrolnej ilości węgla ekstrahowalnego oraz wartości stosunku C/N (tab. 1 i 2). Kompostowanie materiałów biodegradowalnych staje się więc uzasadnione w środowisku technologii przemysłowych, gdzie możliwe jest uzyskanie odpowiednio wyższych temperatur (Kaczmarek i Bajer 2006, Adamus i in. 2006, Hermann i in. 2011).



Rys. 2. Zmiany zapotrzebowania na tlen materiałów kompostowanych
Fig. 2. Changes of oxygen demand in composted materials

Dodatek folii biodegradowalnej nie powodował zwiększenia zapotrzebowania na tlen materiału, a obserwacje makroskopowe wprowadzonych skrawków folii po zakończeniu procesu wskazują, że kompostowanie polimerów biodegradowalnych w warunkach laboratoryjnych nie pozwala osiągnąć warunków ich biodegradacji.

WNIOSKI

1. Dodatki odpadów biodegradowalnych do biomasy kompostowanej wpłynęły w istotny sposób na dynamikę jej przemian w procesie kompostowania.
2. Pomiary zapotrzebowania na tlen kompostów z dodatkami odpadów biodegradowalnych wskazują, iż można je uznać za stabilne już w 100. dniu kompostowania niezależnie od wprowadzonego dodatku odpadu.
3. Zmniejszanie zawartości ekstrahowalnej formy węgla w biomacie z dodatkiem każdego z odpadów następowało od 60. dnia kompostowania, a jego zawartość po zakończeniu procesu pozwala uznać za dojrzałe materiały z dodatkiem papieru gazetowego, mączki mięsno-kostnej i oleju odpadowego.

PIŚMIENNICTWO

- Adamus G., Dacko P., Musioł M., Sikorska W., Sobota M., Birczak R., Herman B., Rychter P., Krasowska K., Rutkowska M., Kowalczyk M. 2006. Degradacja wybranych syntetycznych poliesterów w warunkach naturalnych. *Polimery*, (51), 7-8, 539-546.
- Baran S., Martyn W. 1996. Transformacja odpadów organicznych w komposty. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.*, 492, 33-36.
- Bernal M.P., Paredes C., Sanchez-Monedero M.A., Cegarra J. 1998a. Maturity and stability parameters of compost prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, 63, 91-99.
- Biological Treatment of Biowaste. 2001. European Commission working document 2nd draft.
- Brewer L.J., Sullivan D.M. 2003. maturity Maturity and stability evaluation of composted yard trimmings. *Compost Science & Utilization*, 11(2), 96-112.
- Chica A., Mohedo J.J., Martin M.A., Martin A. 2003. Determination of the stability of MSW compost using a respirometric technique. *Compost Science & Utilization*, 11(2), 169-175.
- Diaz L.F., De Bertoldi M., Bidlingmaier W., Stentiford E. 2007. *Compost Science and Technology. Waste Management series 8*.
- Francou C., Lineres M., Derenne S., Le Villio-Poitrenaud., Houot S. 2008. Influence of green waste, biowaste and paper-cardboard initial ratios on organic matter transformations during composting. *Bioresource Technology*, 99, 8926-8934.
- Goyal S., Dhull S.K., Kapoor K.K. 2005. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*, 96, 1584-1591.
- Hermann B.G., Debeer L., De Wilde B., Blok K., Patel M.K. 2011. To compost or not to compost: Carbon and energy footprints of biodegradable materials waste treatments. *Polymer Degradation and Stability*, 96, 1159-1171.
- Hue N.V., Liu J. 1995. Predicting compost stability. *Compost Science & Utilization* 3, 8-15.
- Jędrzak A. 2008. *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. PWN.
- Jimenez E.I., Garcia V. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity. *Biological Wastes*, 27, 115-142.
- Kaczmarek H., Bajer K. 2006. Metody badania biodegradacji materiałów polimerowych. *Polimery*, 51(10), 716-721.
- Kalembasa D. 1998. Zawartość węgla i azotu w kwaśnych i alkalicznych wyciągach z wermikompostów. *Archiwum Ochrony Środowiska* 24(1), 111-119.

- Kodeks Dobrej Praktyki stosowania polepszaczy gleby w gospodarstwie. 2006. Główny Inspektorat Weterynarii.
- Kuter G.A., Hoitink H.A.J., Rossman L.A. 1985. Effects of aeration and temperature on composting of municipal sludge in a full-scale vessel system. *J. Water Pollution Control Fed.*, 57, 309-315.
- Lasaridi K.E., Stentiford E.I. 1998. A simple respirometric technique for assessing compost stability. *Water Resources*, 32 (12), 3717-3723.
- Mazur T., Malicki M. 1993. Przetwarzanie osadów tłuszczowych na komposty. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.*, 409, 77-81.
- Paradelo R., Moldes A.B., Prieto B., Sandu R.G., Barral M.T. 2010. Can stability and maturity be evaluated in finished compost from different sources? *Compost Science & Utilization*, 18(1), 22-31.
- Piotrowska-Cyplik A., Cyplik P., Czarnecki Z. 2009. Biodegradacja odpadów z przemysłu tłuszczowego metoda kompostowania. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 6, 171-178.
- Raj D., Antil R.S. 2010. Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from agro-industrial waste. *Bioresource Technology*, 102, 2868-2873.
- Rozporządzenie (WE) Nr 1069/2009 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 21 października 2009 ustanawiające przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi, i uchylające rozporządzenie (WE) nr 1774/2002 (rozporządzenie o produktach ubocznych pochodzenia zwierzęcego).
- Sadaka S.S., Richard T.L., Loecke T.D., Liebman M. 2006. Determination of compost respiration rates using pressure sensors. *Compost Science & Utilization*, 14(2), 124-131.
- Ustawa z dnia 10 lipca 2007 o nawozach i nawożeniu. *Dz. Ust.* Nr 147 poz 1033.
- WTW/OxiTop 2006, Opis aplikacji. Aktywność oddechowa AT4.
- Zmora-Nahum S., Markovitch O., Tarchitzky J., Chen Y. 2005. Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity. *Soil Biology & Biochemistry*, 37, 2109-2116.

ASSESSMENT OF BIOLOGICAL ACTIVITY OF BIOMASS AT DIFFERENT STAGES OF COMPOSTING PROCESS WITH USE OF THE OXITOP CONTROL MEASUREMENT SYSTEM

Agnieszka Ozimek, Michał Kopeć

Department of Agricultural and Environmental Chemistry, University of Agriculture
Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków
e-mail: aozimek@o2.pl

Abstract. The investigation was concerned with the qualification of the dynamics of changes in the biological activity of biomass obtained in the course of waste composting process. The results indicate accessibility of substrates for microorganisms, that is susceptibility to biodegradation. The measurements of oxygen demand were executed with the help of the OxiTop ® Control measurement system. The mixture of organic substrates was made up with additions of biodegradable wastes. The additions to the material for composting included meat–bone meal, waste edible oil, biodegradable foil as well as newspaper paper. The results of the investigations indicate high biological activity of the composts, continuing till the 60th day of the process. The wastes introduced to the composted biomass significantly differentiated the biological activity. In the case of material with addition of newspaper paper the activity got smaller after 40 days of composting, as opposed to the case of material with an addition of foil as well as the meal, where on the 40th day of the process an intensification of the biological activity was observed.

Key words: compost, biological activity, biodegradable wastes