

## ZAWARTOŚĆ WYBRANYCH MAKRO I MIKROELEMENTÓW W PRZEKOMPOSTOWANYCH KOMUNALNYCH ODPADACH BIODEGRADOWALNYCH

*Krzysztof Gonddek, Michał Kopec*

Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej, Uniwersytet Rolniczy  
Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków  
e-mail: rrgondek@cyf-kr.edu.pl

**Streszczenie.** Przeprowadzone badania miały na celu określenie wpływu procesu kompostowania, głównie podgrupy odpadów komunalnych oznaczonych w katalogu odpadów kodem 20 02 (odpady z ogrodów i parków), z różnymi dodatkami (skrobia, olej jadalny, mocznik) na zawartość form ogólnych i rozpuszczalnych w wodzie wybranych makro (Mg, Ca, Na, K, P) i mikroelementów (Zn, Cu, Mn, Fe), co może stanowić podstawę oceny wartości nawozowej przekompostowanej biomasy. Z założenia poziom oraz skład dodatków, z punktu widzenia praktyki „czystych chemicznie”, miał pozytywnie modyfikować proces kompostowania. Biomasa do kompostowania przygotowano z następujących organicznych materiałów odpadowych (20 02 01); zębki z drzew liściastych (udział w biomacie 43,87%); trawa (udział w biomacie 23,13%); odpad (02 03 03) z produkcji kawy zbożowej (udział w biomacie 21,94%) oraz odpad (02 03 82) roślinny z przemysłu tytoniowego (udział w biomacie 10,96%). Eksperyment obejmował następujące warianty prowadzone w dwóch powtórzeniach: K1 – kompost „grzejny” bez dodatków (obiekt kontrolny); K2 – kompost „grzejny” + skrobia (produkt spożywczy); K3 – kompost „grzejny” + olej jadalny; K4 – kompost „grzejny” + mocznik (czysty chemicznie). Dodatek skrobi, oleju jadalnego lub mocznika stanowił 5% w stosunku do świeżej masy kompostu „grzejnego” o. W warunkach przeprowadzonych badań proces kompostowania odpadów biodegradowalnych prowadził do zwiększenia zawartości ogólnych form badanych makro i mikroelementów. W kompoście kontrolnym, z dodatkiem skrobi oraz oleju jadalnego oznaczone zawartości form rozpuszczalnych w wodzie magnezu, wapnia i fosforu zmniejszyły się a potasu i sodu zwiększyły się w porównaniu do zawartości oznaczonej w kompoście „grzejnym”. Wpływ zastosowanych dodatków do kompostowania na zawartość form rozpuszczalnych w wodzie badanych mikroelementów był zróżnicowany, uwarunkowany poziomem ubytku substancji organicznej oraz właściwościami chemicznymi pierwiastka. Wprowadzenie 5% dodatku mocznika do kompostowanej biomasy spowodowało zwiększenie zawartości form rozpuszczalnych w wodzie wszystkich badanych pierwiastków, oprócz zawartości magnezu.

**Słowa kluczowe:** kompost, odpady biodegradowalne, makroelementy, mikroelementy

## WSTĘP

Kompostowanie odpadów komunalnych polega na biochemicznych przemianach zawartej w nich materii organicznej, przy udziale mikroorganizmów tlenowych w różnych zakresach temperatury. W procesie tym można wyróżnić trzy główne fazy: mezofilową, termofilową oraz fazę stabilizacji kompostu (Neklyudov i in. 2008). W czasie kompostowania materiałów organicznych zachodzą zmiany zawartości ogólnych pierwiastków, a także zmiany w relacjach pomiędzy ich zawartością ogólną a zawartością form najbardziej mobilnych (Greenway i Song 2002, Baran i Drozd 2004). Zmiany te uwarunkowane są wieloma czynnikami, między innymi: rodzajem kompostowanych odpadów, poziomem uwilgotnienia, a także stopniem dojrzałości kompostu. Kierunek i tempo tych przemian zależą głównie od intensywności prowadzenia procesu kompostowania.

Postępująca podczas kompostowania degradacja związków organicznych prowadzi na ogół do uwolnienia składników mineralnych. Poziom zawartości pierwiastków zanieczyszczających oraz nawozowych w produkcie końcowym ma istotne znaczenie ze względu na jego dopuszczenie do stosowania oraz przeznaczenie uzyskanego kompostu, a także stanowi podstawę do określenia wielkości dawki (Barral i Paradelo 2011). Zawartość ogólna składników pokarmowych roślin daje pewną informację o potencjalnej wartości nawozowej kompostu, natomiast nie informuje o zawartości form dostępnych dla roślin.

Przeprowadzone badania miały na celu określenie wpływu procesu kompostowania, głównie podgrupy odpadów komunalnych oznaczonych w katalogu odpadów kodem 20 02 (odpady z ogrodów i parków), z różnymi dodatkami (skrobia, olej jadalny, mocznik) na zawartość form ogólnych i wodnorozpuszczalnych wybranych makro (Mg, Ca, Na, K, P) oraz mikroelementów (Zn, Cu, Mn, Fe), co może stanowić podstawę oceny wartości nawozowej przekompostowanej biomasy. Z założenia poziom oraz skład dodatków, z punktu widzenia praktyki „czystych chemicznie”, miał pozytywnie modyfikować proces kompostowania.

## MATERIAŁ I METODY

Obiekt badań stanowiła biomasa przygotowana na bazie odpadów roślinnych i innych biodegradowalnych powstających na terenie miasta Krakowa. Biomase do kompostowania przygotowano z następujących organicznych materiałów odpadowych (20 02 01); zrębki z drzew liściastych (udział w biomacie 43,87%); trawa (udział w biomacie 23,13%); odpad (02 03 03) z produkcji kawy zbożowej (udział w biomacie 21, 94%) oraz odpad (02 03 82) roślinny z przemysłu tyto-

niowego (udział w biomase 10,96%). Wilgotność rozdrobnionej i wymieszanej biomasy wynosiła 45,30%, a wartość stosunku C:N 1:20. Bioreaktor o wymiarach  $0,5 \times 0,4 \times 0,3$  m (wysokość  $\times$  długość  $\times$  szerokość) był wyposażony w system do napowietrzania oraz odprowadzania wody poprocesowej. Podczas prowadzenia eksperymentu kontrolowano temperaturę biomasy i wilgotność dla utrzymania optymalnych warunków prowadzenia procesu. Biomase w bioreaktorach napowietrzano w systemie  $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  4 razy na dobę. Dla lepszego napowietżenia i homogenizacji kompostowaną biomase raz w tygodniu wyjmowano z bioreaktorów i mieszano ręcznie. W procesie kompostowania wyróżniono dwa etapy: I – trwający 14 dni, którego celem było uzyskanie kompostu „grzejnego” – K0. Etap ten prowadzono w skali produkcyjnej, w bioreaktorach pracujących w systemie Mut Kyberferm. W skali laboratoryjnej prowadzono II etap – trwający 210 dni, w którym do kompostowanej biomasy wprowadzono dodatek (5% w stosunku do świeżej masy kompostu „grzejnego”) różnych substancji. Wybrane właściwości kompostu „grzejnego” przedstawiono w tabeli 1.

Eksperyment obejmował następujące warianty prowadzone w dwóch powtórzeniach (czyli w dwóch bioreaktorach): K1 – kompost „grzejny” bez dodatków (obiekt kontrolny); K2 – kompost „grzejny” + skrobia (produkt spożywczy); K3 – kompost „grzejny” + olej jadalny; K4 – kompost „grzejny” + mocznik (czysty chemicznie). Po zakończonym procesie kompostowania materiały dokładnie wymieszano, a następnie przesiano przez sito o średnicy oczek 1 cm i pobrano próbki (3 kg) do analiz chemicznych.

W materiale wyjściowym (kompoście „grzejnym”) wykonano następujące oznaczenia: zawartość suchej masy oznaczonej po 12 godzinach suszenia w temperaturze  $105^\circ\text{C}$ ; w zawiesinie kompostu i wody przy zachowaniu stosunku suchej masy materiału do wody 1:10 – pH potencjometrycznie, i przewodność elektrolityczną – konduktometrycznie oraz zawartość materii organicznej metodą termiczną. W kompoście „grzejnym” oraz kompostach po zakończonym procesie oznaczono zawartość ogólną wybranych makro (Mg, Ca, Na, K, P) i mikroelementów (Zn, Cu, Mn, Fe) po mineralizacji próbki w piecu komorowym przez 5 godz. w temperaturze  $450^\circ\text{C}$  i roztworzeniu pozostałości w rozcieńczonym (1:2) kwasie azotowym. Oznaczenia wykonano według metodyki zaproponowanej przez Barana i Turskiego (1996). Formy wodnorozpuszczalne badanych pierwiastków oznaczono po 18 godzinach ekstrakcji próbki kompostu wodą redestylowaną, przy zachowaniu stosunku kompost woda 1:100. Zawartość badanych pierwiastków w uzyskanych roztworach i ekstraktach oznaczono metodą ICP-AES na aparacie JY 238 Ultrace firmy Jobin Yvon.

Dla podanych w tabelach wartości średnich ( $n = 4$ ) obliczono błąd standardowy średniej.

## WYNIKI i DYSKUSJA

W kompostach, podobnie jak w innych materiałach organicznych, np. oborniku zachodzi szereg procesów biochemicznych związanych głównie z rozkładem i powtórą resyntezą związków organicznych. Przemiany te wywierają istotny wpływ, nie tylko na zawartość form ogólnych pierwiastków, ale kształtują relacje pomiędzy formami ogólnymi a bezpośrednio dostępnymi dla roślin. O ile ogólna zawartość pierwiastka jest istotna z punktu widzenia oceny wartości nawozowej materiału organicznego lub decyduje o ewentualnym dopuszczeniu do przyrodniczego wykorzystania, o tyle zawartość form rozpuszczalnych w wodzie może informować o tempie uruchamiania tych składników do roztworu glebowego i dostępności składnika dla roślin.

**Tabela 1.** Wybrane właściwości kompostu „grzejnego” (K0) po wyjęciu z bioreaktora  
**Table 1.** Selected properties of “heating” compost (K0) after discharge from the bioreactor

Oznaczenie – Determination	Wartość średnia – Mean value
Sucha masa – Dry matter ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	$549,8 \pm 2,20$
pH H <sub>2</sub> O	$6,52 \pm < 0,01$
Materia organiczna – Organic matter ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	$647,0 \pm 5,0$
Przewodność elektrolityczna – Electrolytic conductivity ( $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	$5,58 \pm 0,07$

± błąd standardowy średniej – standard error of the mean.

Zawartość ogólnych form magnezu kształtowała się na zbliżonym poziomie we wszystkich badanych kompostach, średnio wynosząc niewiele ponad 1300  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 2). W porównaniu do zawartości tej formy magnezu oznaczonej w kompoście „grzejnym” (K0), pobranym po opuszczeniu bioreaktora odnotowano blisko 10% zwiększenie zawartości tego pierwiastka. Drozd i in. (1996) stwierdzili znacznie większą zawartość ogólnych form magnezu w kompoście z odpadów miejskich, niezależnie od stopnia jego dojrzałości. Również późniejsze wyniki badań Drozda i Licznara (2004) wskazują na większą zawartość ogólnej magnezu w kompostowanych odpadach komunalnych z tendencją do zwiększania się zawartości tego składnika w miarę postępującego procesu kompostowania. W porównaniu do opublikowanych przez Klasę i in. (2006) wyników badań, oznaczone zawartości ogólne magnezu mieściły się w przedziale zawartości dla kompostów produkowanych z różnych odpadów.

Zawartość form magnezu rozpuszczalnych w wodzie była największa w kompoście z dodatkiem mocznika (K4) (tab. 2). Średnio, w porównaniu do zawartości Mg wyekstrahowanego wodą z pozostałych kompostów zawartość ta była większa

o blisko 10%. W porównaniu do zawartości form magnezu rozpuszczalnych w wodzie oznaczonych w kompoście „grzejnym” zawartości tych form Mg w materiałach po zakończonym procesie kompostowania, niezależnie od dodatku były mniejsze. Mniejszy również w analizowanych kompostach okazał się udział form magnezu rozpuszczalnych w wodzie w zawartości ogólnej w porównaniu do udziału wyliczonego dla kompostu „grzejnego” (K0). Baran i in. (2009) wykazali zmniejszenie zawartości magnezu wymiennego w kompoście z odpadów komunalnych po 2 miesięcznym okresie kompostowania w porównaniu do zawartości takiej formy tego pierwiastka oznaczonego w biomacie przed rozpoczęciem kompostowania. Również Drozd i Licznar (2004) wskazują na zmniejszenie się zawartości form magnezu wyekstrahowanych wodą w miarę postępowania procesu kompostowania, jednocześnie podkreślając, że największą zawartością rozpuszczalnych w wodzie form tego pierwiastka oznaczono w kompoście surowym „grzejnym”.

Zawartości ogólnych form wapnia w badanych kompostach były mniejsze od zawartości podawanych dla kompostów z odpadów komunalnych (Drozd i in. 1996, Drozd i Licznar 2004), natomiast mieściły się w przedziale zawartości zamieszczonych w publikacji Klasy i in. (2006) dla kompostów produkowanych z odpadów roślinnych (tab. 2). W badaniach przeprowadzonych przez Barana i in. (2009) zawartość ogólnych form wapnia w kompostowanych odpadach komunalnych mieściła się w przedziale od 3860 mg do 4350 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. Według cytowanych autorów na ogólną zawartość wapnia w kompostach nie miał wpływu ani czas, ani sposób kompostowania. We własnych badaniach najwięcej form ogólnych wapnia oznaczono w kompoście kontrolnym (K1) oraz w kompoście z dodatkiem skrobi (K2). Zawartości te były większe od oznaczonych w kompoście „grzejnym” (K0) (tab. 2). Komposty z dodatkiem oleju jadalnego (K3) oraz mocznika (K4) charakteryzowały się zawartością ogólnych form wapnia zbliżoną do oznaczonej w kompoście „grzejnym” (K0).

Zawartość form wapnia rozpuszczalnych w wodzie w kompoście kontrolnym (K1), z dodatkiem skrobi (K2) oraz z dodatkiem oleju jadalnego (K3) kształtowała się na zbliżonym poziomie średnio wynosząc 1702 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. (tab. 2). O ponad 100% więcej form wapnia rozpuszczalnych w wodzie oznaczono w kompoście z dodatkiem mocznika (K4), a jego udział w zawartości ogólnej wynosił ponad 25%. Według Drozda i in. (1996) zawartość rozpuszczalnych w wodzie form wapnia uwarunkowana jest czasem kompostowania i jak twierdzą cytowani autorzy ich udział w całkowitej zawartości zmniejsza się w miarę postępującego procesu kompostowania. Takiej zależności nie stwierdzono w przypadku kompostu z dodatkiem mocznika (K4), gdzie udział form wapnia rozpuszczalnych w wodzie w zawartości ogólnej był znacznie większy niż w kompoście „grzejnym” (K0).

Jak wynika z danych zestawionych w tabeli 2 ogólna zawartość sodu była największa w kompoście kontrolnym (K1) oraz w kompoście z dodatkiem skrobi

(K2). Były to zawartości znacznie większe od oznaczonych w kompoście „grzejnym” (K0) (tab. 2). Mniejszą ogólną zawartością sodu charakteryzował się kompost z dodatkiem oleju jadalnego (K3), a najmniej Na ogólnego oznaczono w kompoście z dodatkiem mocznika (K4).

**Tabela 2.** Zawartość makroelementów w kompoście „grzejnym” (K0) oraz materiałach organicznych po procesie kompostowania

**Table 2.** Content of macroelements in “heating” compost (K0) and organic materials after composting process

Makroelement Macroelement	K0	K1	K2	K3	K4
	(mg·kg <sup>-1</sup> s.m. – d.m.)				
Mg <sub>o</sub>	1190 ± 10	1330 ± 10	1310 ± 10	1300 ± 10	1290 ± 10
Mg <sub>w</sub>	749 ± 1,64	571 ± 1,64	565 ± 1,14	547 ± 2,29	617 ± 1,29
Mg <sub>w</sub> / Mg <sub>o</sub> × 100	62,9	42,9	43,1	42,0	47,8
Ca <sub>o</sub>	12950 ± 11	13480 ± 170	13190 ± 60	12700 ± 10	12960 ± 280
Ca <sub>w</sub>	2030 ± 90	1776 ± 10	1696 ± 40	1636 ± 10	3588 ± 30
Ca <sub>w</sub> / Ca <sub>o</sub> × 100	15,8	13,1	12,8	12,8	27,6
Na <sub>o</sub>	1400 ± 10	1900 ± 10	1930 ± 20	1820 ± 10	1710 ± 10
Na <sub>w</sub>	811 ± 64	1115 ± 38	1084 ± 38	972 ± 22	1026 ± 39
Na <sub>w</sub> / Na <sub>o</sub> × 100	57,9	58,6	56,1	53,4	60,0
K <sub>o</sub>	6280 ± 40	7870 ± 90	7800 ± 10	7530 ± 30	7230 ± 50
K <sub>w</sub>	868 ± 82	1120 ± 69	1071 ± 22	988 ± 11	1112 ± 33
K <sub>w</sub> / K <sub>o</sub> × 100	13,8	14,2	13,7	13,1	15,3
P <sub>o</sub>	4270 ± 80	6280 ± 10	6250 ± 20	6100 ± 30	6160 ± 10
P <sub>w</sub>	662 ± 54	499 ± 28	463 ± 25	489 ± 25	1795 ± 10
P <sub>w</sub> / P <sub>o</sub> × 100	15,5	7,9	7,4	8,0	29,1

o – forma ogólna – total form; w – forma rozpuszczalna w wodzie – water-soluble form.

± błąd standardowy średniej – standard error of the mean.

Zawartość form sodu rozpuszczalnych w wodzie była najmniejsza w kompoście z dodatkiem oleju jadalnego (K3). Udział tej formy Na w zawartości ogólnej, niezależnie od dodatku do kompostowanej biomasy mieścił się w przedziale od 53% do 60% i był porównywalny do stwierdzonego w kompoście K0 – „grzejnym”. Znaczny udział form sodu rozpuszczalnych w wodzie w zawartości ogólnej

może wskazywać na inne pochodzenie tego składnika niż z mineralizacji kompostowanej materii organicznej. Na przykład w badaniach przeprowadzonych przez Barana i in. (2009) stwierdzono znaczną zawartość sodu wymiennego w kompostach wskazując, jako przyczynę stosowanie soli do likwidacji śliskości jezdni, a przez to większą zawartość w komponentach do kompostowania.

Największą ogólną zawartością potasu charakteryzował się kompost kontrolny (K1) – 7870 mg K·kg<sup>-1</sup> s.m. Kompost z dodatkiem mocznika (K4) zawierał potasu ogólnego najmniej, a w porównaniu do zawartości tego pierwiastka w kompoście kontrolnym (K1) zawartość ta była o blisko 10% mniejsza. W porównaniu do zawartości potasu ogólnego, oznaczonego w kompoście „grzejnym” (K0) zawartości tego pierwiastka w kompostach po zakończonym procesie biologicznej transformacji były większe. Drozd i in. (1996) oznaczyli mniejsze zawartości potasu ogólnego w badanych kompostach, co mogło wynikać z odprowadzenie tego pierwiastka z odciekami.

Udział form potasu rozpuszczalnych w wodzie w zawartości ogólnej, niezależnie od dodatku nie przekraczała 16% i był porównywalny do udziału wyliczonego dla kompostu „grzejnego” (tab. 2). Znacznie większe zawartości form potasu rozpuszczalnych w wodzie w analizowanych kompostach uzyskali Drozd i in. (1996). Materiał surowy – kompost „grzejny” (K0) charakteryzował się znacznie większym udziałem (około 80%) form potasu rozpuszczalnych w wodzie w zawartości ogólnej.

W wyniku procesu kompostowania, niezależnie od dodatku zawartość ogólnych form fosforu również zwiększyła się w porównaniu do zawartości oznaczonej w kompoście „grzejnym” o 45%. W badaniach przeprowadzonych przez Drozda i in. (1996) przyrost zawartości fosforu ogólnego po 180 dniach kompostowania wynosił 30%.

Zawartość form fosforu rozpuszczalnych w wodzie zmniejszyła się w kompostach: kontrolnym (K1), z dodatkiem skrobi (K2) oraz z dodatkiem oleju jadalnego (K3), natomiast w kompoście z dodatkiem mocznika (K4) zanotowano przyrost zawartości tej formy fosforu. Również udział form fosforu rozpuszczalnych w wodzie w zawartości ogólnej zmniejszył się we wszystkich kompostach poza kompostem z dodatkiem mocznika (K4). Według Koimigamy i in. (2010) ilości labilnych form fosforu w przekompostowanym oborniku uwarunkowana była zawartością Mg i Ca. W badanych kompostach zawartości form magnezu i wapnia wyekstrahowanych wodą były znaczące, co mogło istotnie ograniczyć zawartość form fosforu rozpuszczalnych w wodzie.

Ogólna zawartość cynku była największa w kompoście bez dodatków (K1) (tab. 3). Na podstawie proponowanych przez Komisję Europejską limitów metali ciężkich badane komposty można zaliczyć do klasy drugiej pod względem zawartości cynku ogólnego (Wasiak i Madej 2009). Niezależnie od dodatku zawartość ogólnych form cyn-

ku zwiększyła się w stosunku do zawartości oznaczonej w kompoście „grzejnym” (K0) (tab. 3). Z drugiej strony na zmniejszenie zawartości ogólnych form cynku w kompostowanych osadach ściekowych wskazują badania Miaomiao i in. (2009), również wyniki badań Drozda i in. (1996) wskazują, że do 14 dnia procesu zawartość ogólna cynku zmniejszała się, natomiast w 30 dniu była prawie dwukrotnie większa od zawartości oznaczonej po pierwszym dniu procesu.

**Tabela 3.** Zawartość mikroelementów w kompoście „grzejnym” (K0) oraz materiałach organicznych po procesie kompostowania

**Table 3.** Content of microelements in “heating” compost (K0) and organic materials after composting process

Mikroelement Microelement	K0	K1	K2	K3	K4
	(mg·kg <sup>-1</sup> s.m. – d.m.)				
Zn <sub>o</sub>	178 ± 3,3	273 ± 1,2	252 ± 1,7	255 ± 1,0	245 ± 1,0
Zn <sub>w</sub>	9,86 ± 0,1	11,7 ± 0,1	9,5 ± 0,2	9,2 ± 0,2	64,2 ± 0,8
Zn <sub>w</sub> / Zn <sub>o</sub> × 100	5,5	4,2	3,7	3,6	26,2
Mn <sub>o</sub>	201 ± 0,5	244 ± 4,0	276 ± 4,0	252 ± 6,0	249 ± 6,0
Mn <sub>w</sub>	7,92 ± 0,1	12,0 ± 0,2	10,0 ± 0,2	6,19 ± 0,1	23,4 ± 0,1
Mn <sub>w</sub> / Mn <sub>o</sub> × 100	3,9	4,9	3,6	2,4	9,3
Cu <sub>o</sub>	27,2 ± 0,5	37,9 ± 0,5	36,7 ± 0,4	38,2 ± 0,4	44,5 ± 1,5
Cu <sub>w</sub>	8,81 ± 0,6	6,64 ± 0,2	5,74 ± 0,2	5,83 ± 0,7	26,43 ± 0,7
Cu <sub>w</sub> / Cu <sub>o</sub> × 100	32,4	17,5	15,6	15,2	59,4
Fe <sub>o</sub>	4296 ± 82	5138 ± 69	5436 ± 765	5367 ± 125	5420 ± 415
Fe <sub>w</sub>	117 ± 0,1	161 ± 1,0	132 ± 2,2	106 ± 1,6	1173 ± 5,6
Fe <sub>w</sub> / Fe <sub>o</sub> × 100	2,7	3,1	2,4	1,9	21,6

o – forma ogólna – total form; w – forma rozpuszczalna w wodzie – water-soluble form,  
± błąd standardowy średniej – standard error of the mean.

Zawartość form cynku rozpuszczalnych w wodzie była największa w kompoście z dodatkiem mocznika (K4) i stanowiła ponad 26% zawartości ogólnej. W kompostach z dodatkiem skrobi (K2), oleju jadalnego (K3) oraz w kompoście bez dodatku (K1) udział form cynku rozpuszczalnych w wodzie w zawartości ogólnej nie przekraczał 5%. Zawartość różnych form cynku podczas kompostowania odpadów ulega dużej dynamice. Drozd i Licznar (2004) wykazali zmniejszenie się zawartości rozpuszczalnych form cynku w pierwszych tygodniach procesu kompostowania odpadów. Istotnie na zawartość form mobilnych tego pierwiastka mogła wpływać wilgotność kompostowanych odpadów. Według cytowanych autorów większa wilgotność kompostowanych odpadów wpływa na zmniejszenie zawarto-



ści form rozpuszczalnych w wodzie tego pierwiastka. W przeprowadzonych badaniach własnych dodatek do kompostowanych odpadów mocznika spowodował zwiększenie zawartości form cynku rozpuszczalnych w wodzie, co znajduje potwierdzenie w literaturze przedmiotu (Drozd i Licznar 2004). Na zwiększenia zawartości form cynku wymiennych i związanych z węglanami wskazują również wyniki badań Miaomio i in. (2009).

Ogólna zawartość manganu w badanych kompostach była porównywalna i mieściła się w zakresie od 244 mg do 276 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. (tab. 3). Podobnie jak w przypadku cynku, najwięcej form manganu rozpuszczalnych w wodzie oznaczono w kompoście z dodatkiem mocznika (K4). Również w tym materiale stwierdzono największy udział tej formy manganu w zawartości ogólnej, który wynosił blisko 10%. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono zwiększenie zawartości form ogólnych manganu w porównaniu do zawartości oznaczonej w kompoście „grzejnym” (K0). Również Drozd i Licznar (2004) wskazują na wyraźne zwiększenie zawartości m.in. ogólnych form manganu w wyniku kompostowania odpadów komunalnych.

W prezentowanych badaniach wykazano stosunkowo niewielkie zawartości form manganu rozpuszczalnych w wodzie. Potwierdzają to Drozd i in. (1996) wskazując na zmniejszenie się, w miarę upływu czasu, zawartości manganu w wyciągach wodnych kompostów. Według Gondka i Filipek-Mazur (2004) proces kompostowania osadów garbarskich zmniejszył zawartość form manganu rozpuszczalnych w wodzie, natomiast zwiększenie zawartości tych form Mn odnotowano w wyniku wermikompostowania.

Ogólna zawartość miedzi w kompostach z dodatkiem skrobi (K2), oleju jadalnego (K3) oraz w kompoście kontrolnym (K1) kształtowała się na zbliżonym poziomie (średnio 37,6 mg·kg<sup>-1</sup> s.m.) większym od oznaczonego w kompoście „grzejnym” (tab. 3). O blisko 7 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. więcej ogólnych form miedzi oznaczono w kompoście z dodatkiem mocznika (K4). Zwiększenia zawartości ogólnych form miedzi nie potwierdzają wyniki badań Miaomio i in. (2009). Oznaczone ogólne zawartości Cu w badanych materiałach są znacznie mniejsze od proponowanych przez Komisję Europejską limitów zawartości miedzi w kompostach (Wasiak i Madej 2009). Podobnie jak w przypadku manganu, w badanych kompostach wykazano zwiększenie zawartości ogólnych form miedzi, w porównaniu do kompostu - K0. Zwiększenie zawartości miedzi w materiałach przekompostowanych potwierdzają wyniki badań innych autorów (Drozd i Licznar 2004, Miaomio i in. 2009).

Zawartość form Cu rozpuszczalnych w wodzie była największa w kompoście z dodatkiem mocznika (K4) – tabela 3. W porównaniu do zawartości tej formy miedzi oznaczonej w pozostałych kompostach była to zawartość znacznie większa. Udział form miedzi rozpuszczalnych w wodzie w zawartości ogólnej w kom-

poście z dodatkiem mocznika (K4) stanowił ponad 50%, natomiast w pozostałych kompostach mieścił się w przedziale od 15,2% do 17,5%.

Ogólna zawartość żelaza kształtowała się na zbliżonym poziomie niezależnie od badanego kompostu (tab. 3). Zawartość form żelaza rozpuszczalnych w wodzie była największa w kompoście z dodatkiem mocznika. Zawartość ta znacznie odbiegała od oznaczonych w ekstraktach z pozostałych kompostów (ponad 8 razy więcej). Jak stwierdził Drozd i in. (1996) może to być podyktowane procesem wytrącania tego pierwiastka w warunkach oksydacyjnych i bardziej alkalicznych.

#### WNIOSKI

1. Komposty otrzymane z odpadów biodegradowalnych z komponentami modyfikującymi proces spełniają kryteria dla nawozu organicznego.
2. W warunkach przeprowadzonych badań proces kompostowania odpadów biodegradowalnych prowadził do zwiększenia zawartości ogólnych form badanych makro i mikroelementów.
3. W kompoście kontrolnym, z dodatkiem skrobi oraz oleju jadalnego oznaczone zawartości form magnezu, wapnia i fosforu rozpuszczalnych w wodzie zmniejszyły się a potasu i sodu zwiększyły się w porównaniu do zawartości oznaczonej w kompoście "grzejnym".
4. Wpływ zastosowanych dodatków do kompostowania na zawartość form rozpuszczalnych w wodzie badanych mikroelementów był zróżnicowany, uwarunkowany ubytkiem substancji organicznej oraz właściwościami chemicznymi pierwiastka.
5. Wprowadzenie 5% dodatku mocznika do kompostowanej biomasy spowodowało znaczące zwiększenie zawartości form rozpuszczalnych w wodzie wszystkich badanych pierwiastków, oprócz zawartości magnezu.

#### PIŚMIENNICTWO

- Baran S., Drozd J., 2004. Odpady komunalne oraz kierunki ich utylizacji. [W] Komposty z odpadów komunalnych produkcja, wykorzystanie i wpływ na środowisko. Drozd J. (red.), Wyd. Polskie Towarzystwo Substancji Humusowych, 2004, ss. Komposty z odpadów komunalnych, produkcja, wykorzystanie i wpływ na środowisko. Praca zbiorowa J. Drozd (red.), Wyd. PTSH Wrocław, 7-27.
- Baran S., Turski R., 1996. Ćwiczenia specjalistyczne z utylizacji odpadów i ścieków. Wyd. AR w Lublinie.
- Baran S., Wójcikowska-Kapusta A., Żukowska G., Strzałka A., 2009. Wpływ kompostowania odpadów komunalnych na zawartość makroskładników. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 537, 33-39.
- Barral M.T., Paradelo R., 2011. Trace elements in compost regulation: The case of Spain. Waste Management, 31 (3), 407-410.
- Drozd J., Licznar M., 2004. Zmiany makro- i mikroskładników w czasie kompostowania odpadów komunalnych w różnych warunkach uwilgotnienia i przy różnym dodatku mocznika. [W] Komposty z odpadów komunalnych produkcja, wykorzystanie i wpływ na środowisko. Drozd J.

- (red.), Wyd. Polskie Towarzystwo Substancji Humusowych, 2004, 151-170.
- Drozd M., Licznar J., Patorczyk-Pytlik B., Rabikowska B., 1996. Zmiany w składzie chemicznym kompostów z odpadków miejskich w czasie ich kompostowania. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 437, 131-138.
- Gondek K., Filipek-Mazur B., 2004. Zmiany zawartości rozpuszczalnych form żelaza i manganu oraz związków próchnicznych w osadzie ściekowym kompostowanym i wermikompostowanym. Acta Agrophysica, 4(3), 677-686
- Greenway G.M., Song Q.J., 2002. Heavy metal speciation in the composting process. Journal of Environmental Monitoring, 4, 300-305.
- Klasa A., Czaplą J., Nogalska A., 2006. Komposty z odpadów organicznych jako źródło składników pokarmowych dla roślin warzywnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 512, 323-337.
- Koimigama T., Ito T., Saigusa M., 2010. Water solubility of phosphorus In Animals manure kompost. 19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Soil Solution for a Changing World, 1-6 August 2010, Brisbane, Australia, 325-328.
- Miaomiao H., Wenhong L., Xingiang L., Donglei W., Guangming T., 2009. Effect of composting process on phytotoxicity and speciation of copper, zinc and lead in sewage sludge and swine manure. Waste Management, 29 (2), 590-597.
- Neklyudov A.D., Fedotov G.N., Ivankin A.N., 2008. Intensification of composting processes by microorganisms. Applied Biochemistry and Microbiology, 44(1), 6-18.
- Wasiak G., Madej M., 2009. Jakość kompostów Polskich w świetle kryteriów Unii Europejskiej i innych krajów. Eko Problemy, <http://odpady.org.pl/plugins/content/content.php?content.2833>

## CONTENT OF SELECTED MACRO AND MICROELEMENTS IN COMPOSTED BIODEGRADABLE MUNICIPAL WASTES

*Krzysztof Gonddek, Michał Kopeć*

Department of Agricultural and Environmental Chemistry, University of Agriculture  
Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków  
e-mail: rrgondek@cyf-kr.edu.pl

**Abstract.** The research was conducted to determine the effect of composting process of mainly municipal waste sub-group, which in the waste catalogue is marked with code 20 02 (wastes from gardens and parks), with various supplements (starch, edible oil and urea), on the content of total and water soluble forms of selected macro (Mg, Ca, Na, K and P) and microelements (Zn, Cu, Mn and Fe), which may provide a basis for an assessment of the fertiliser value of the composted biomass. By assumption, the level and composition of the supplements, in view of "chemically pure" practices, was supposed to positively modify the composting process. The biomass for composting was prepared from the following organic waste materials (20 02 01); fresh cuts of deciduous trees (10.18% share in the biomass); sown cuts of deciduous trees (33.69% share in the biomass); grass (23.12% share in the biomass), waste (02 03 03) from ersatz coffee production (21.94% share in the biomass) and plant waste (02 03 82) from tobacco industry (10.96% share in the biomass). The experiment comprised the following variants in two replications: K1 – "heating" composts without any supplements (control); K2 – "heating compost + starch (food product); K3 "heating compost" + edible oil; K4 – "heating compost" + urea (chemically pure). The supplement of starch, edible oil or urea constituted 5% in relation to fresh mass of the heating compost. Under conditions of discussed experiment, the composting process of biodegradable materials led to an increase in total forms of analysed macro and microelements. The assessed content of water soluble forms of magnesium, calcium and phosphorus forms decreased, whereas the content of potassium and so-

dium increased in the control compost with a supplement of starch and edible oil in comparison with the concentrations determined in “heating” compost. The influence of supplements applied for composting on the concentrations of water soluble forms of the analysed microelements was diversified and conditioned by the level of organic substance loss and by the chemical properties of the element. Introduction of a 5% urea admixture to the composted biomass caused an increase in water soluble forms of all investigated elements, except magnesium content.

**Keywords:** compost, biodegradable waste, macroelements, microelements