

## DYNAMIKA ZAWARTOŚCI WAPNIA W OSADACH ŚCIEKOWYCH PODCZAS ICH KOMPOSTOWANIA Z RÓŻNYMI DODATKAMI

*Zdzisław Ciećko, Marcin Harnisz, Mirosław Wyszkowski, Tomasz Najmowicz*

Katedra Chemii Środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

### Wstęp

Przemiany industrializacyjne w Polsce w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku zmierzające do bardziej efektywnej ochrony środowiska spowodowały znaczne zwiększenie liczby oczyszczalni ścieków. Doprowadziło to z kolei do wzrostu ilości osadów ściekowych i w niektórych regionach kraju do kłopotów z ich zagospodarowaniem. W Polsce osady ściekowe są najczęściej składowane lub też zagospodarowywane przyrodniczo [KOSTECKA 1999]. Przyrodniczo mogą być zagospodarowywane wyłącznie osady zawierające niewielkie ilości metali ciężkich, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i innych kontaminantów. W celu zwiększenia przyswajalności makro- i mikroelementów wskazane jest poddanie osadów ściekowych kompostowaniu. Jednakże kompostowanie samych osadów najczęściej nie daje pożądaných efektów, najlepiej jest dodatkowo zaaplikować substancje organiczne, co znacznie zwiększa szybkość i efektywność mineralizacji złożonych związków wchodzących w skład budowy osadów surowych. Bardzo dobre wyniki uzyskuje się kompostując osady ściekowe z udziałem dżdżownicy kalifornijskiej – *Eisenia fetida* (SAV.) [BARAN i in. 1996; KASPRZAK 1996; KOSTECKA 1999].

Celem podjętych badań było prześledzenie dynamiki zmian zawartości wapnia ogólnego i rozpuszczalnego w czasie kompostowania osadów ściekowych bez dodatków lub z aplikacją trocici, słomy, obornika i wapnia.

### Materiał i metody

W badaniach wykorzystano mieszane, przefermentowane i odwodnione osady ściekowe pobrane ze składowiska usytuowanego na terenie Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Olsztynie. Zawartość suchej masy w osadach wynosiła 37,8%, a pH w wodzie – 6,4. Osady w przeliczeniu na 1 kg suchej masy zawierały: węgla – 311 g, azotu – 8,7 g, fosforu ogólnego – 18,2 g, potasu ogólnego – 3,7 g, wapnia ogólnego – 13,7 g, magnezu ogólnego – 2,6 g. Zawartość rozpuszczalnych form podstawowych makropierwiastków była następująca: N-NH<sub>4</sub> – 4,2 g, N-NO<sub>3</sub> – 1,5 g, fosfor – 7,3 g, wapń – 2,3 g, potas – 0,3 g, magnez – 0,3 g·kg<sup>-1</sup> s.m. Stosunek C : N w badanym osadzie wynosił 35,7. Doświadczenie obejmowało następujące warianty: 1) osad ściekowy bez dodatków (obiekt kontrolny), 2) osad ście-

kowy z dodatkiem wapna w ilości równoważnej 1 kwasowości hydrolytycznej, 3) osad ściekowy z dodatkiem 20% trocin drzew iglastych, 4) osad ściekowy z dodatkiem 40% trocin drzew iglastych, 5) osad ściekowy z dodatkiem 20% słomy żytniej, 6) osad ściekowy z dodatkiem 40% słomy żytniej, 7) osad ściekowy z dodatkiem 20% obornika bydlęcego i 8) z dodatkiem 40% obornika bydlęcego. Wykorzystane do produkcji kompostów komponenty charakteryzowały się zróżnicowaną zawartością suchej masy: trociny drzew iglastych – 77,3%, słoma żytnia – 85,7%, a obornik bydlęcy – 33,0%. Zawartość ogólna makropierwiastków w 1 kg suchej masy była następująca: trociny – 642 g węgla, 3,0 g azotu, 0,1 g fosforu, 0,4 g potasu, 0,5 g wapnia i 0,5 g magnezu; słoma żytnia odpowiednio 745 g, 5,0 g, 1,0 g, 11,9 g, 2,0 g i 0,3 g; a obornik analogicznie – 434 g, 8,5 g, 1,2 g, 5,0 g, 1,0 g i 0,9 g. Obornik wyróżniał się najwyższym stosunkiem C : N – 51, w słomie i trocinach wynosił on aż 149 i 214. W testowanych osadach ściekowych oznaczono także zawartość metali ciężkich (cyнку, miedzi, kadmu, niklu, ołowiu, chromu i arsenu) oraz wielopierścieniowych węglodorodów aromatycznych (fluorantenu, benzo(a)pirenu, benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, indenopirenu i benzo(ghi)perylenu). Ich zawartość była na poziomie niższym niż wartości dopuszczające do wykorzystania przyrodniczego [ROZPORZĄDZENIE MŚ 2002: EUROPEAN UNION DRAFT ... 2000]. Osady ściekowe same i z dodatkiem trocin, słomy, obornika i wapna kompostowano przez 24 tygodnie w skrzyniach drewnianych o pojemności 288 dm<sup>3</sup>, utrzymując wilgotność na poziomie 60%. Co 4 tygodnie kompost dokładnie mieszano, pobierając jednocześnie próby do analiz.

Pobrane próby kompostów poddawano kompleksowej analizie laboratoryjno-chemicznej, a w tym określono zawartość wapnia ogółem – metodą emisyjnej spektrometrii atomowej (ESA) oraz jego form rozpuszczalnych – metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (ASA) po ekstrakcji 0,5 mol HCl·dm<sup>-3</sup>.

## Wyniki i dyskusja

Zawartość składników popielnych w kompostach rośnie w czasie kompostowania, co wiąże się z rozkładem złożonych związków organicznych [DROZD i in. 1996b; CZEKAŁA 1999; PATORCZYK-PYTLIK i in. 1999]. Jednym z nich jest wapń, który jednakże może być częściowo wymywany z przynny kompostowej w czasie uzupełniania jej wilgotności.

W badaniach własnych zawartość wapnia w materiale wyjściowym i w czasie kompostowania była uzależniona od ilości i rodzaju zastosowanych dodatków do osadów ściekowych (tab. 1, rys. 1). Zawartość wapnia w organicznych dodatkach stosowanych do produkcji kompostów była niewielka w porównaniu do koncentracji tego pierwiastka w osadach ściekowych. Dlatego też komposty bez dodatków organicznych charakteryzowały się największą ilością tego pierwiastka. We wszystkich testowanych obiektach odnotowano podczas kompostowania znaczny wzrost zawartości wapnia. Największy wzrost ogólnej koncentracji wapnia zanotowano w kompostach z dużymi ilościami dodatków organicznych, gdzie tempo mineralizacji substancji organicznej było wysokie. Wynosił on odpowiednio 110 i 107% w kompostach sporządzonych z dodatkiem do osadów 40% trocin i 40% słomy. Najmniej intensywne zwiększenie ogólnej zawartości tego pierwiastka zanotowano w przypadku kombinacji kontrolnej z samym osadem ściekowym, wyniósł on zaledwie 15%. Na uwagę zasługuje fakt, że wariant z dodatkiem wapna charakteryzował się wzrostem koncentracji Ca wynoszącym 31%, a więc większym

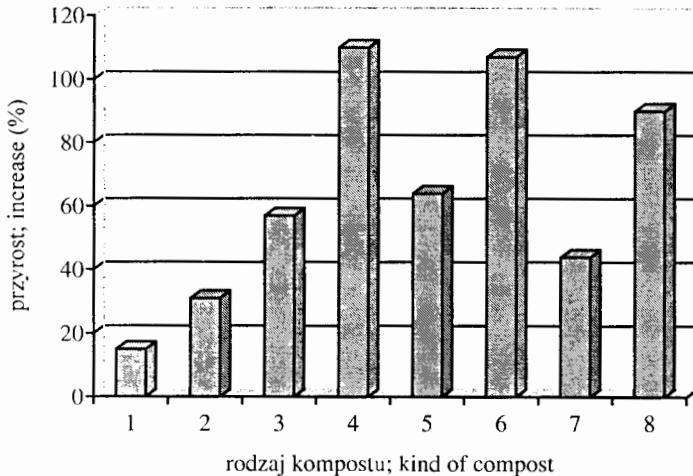
niż w obiekcie kontrolnym. Całkowita zawartość wapnia w gotowych kompostach wahała się od 15,8 g w obiekcie kontrolnym do 18,7 g·kg<sup>-1</sup> s.m. w kompoście z 20% dodatkiem słomy. Wyjątek stanowił tu obiekt z osadem zobojętnionym wapnem, gdzie zawartość tego pierwiastka, z oczywistych względów, była nieco wyższa i wynosiła 19,2 g·kg<sup>-1</sup> s.m.

Tabela 1; Table 1

Zawartość wapnia ogółem w osadach ściekowych  
w trakcie ich kompostowania (g·kg<sup>-1</sup> s.m.)

Content of total calcium in composted sewage sludge (g·kg<sup>-1</sup> DM)

Rodzaj kompostu Kind of compost	Materiał surowy Raw material	Tygodnie kompostowania Composting weeks					
		4	8	12	16	20	24
Osad; Sludge	13,7	13,9	14,2	14,8	15,3	15,9	15,8
Osad + wapno; Sludge + lime	14,7	16,3	16,9	18,7	18,7	18,9	19,2
Osad + 20 % trocin; Sludge + 20% sawdust	11,1	13,5	13,5	15,4	16,0	17,8	17,4
Osad + 40 % trocin; Sludge + 40% sawdust	8,4	13,3	13,7	15,1	15,3	15,8	17,6
Osad + 20 % słomy; Sludge + 20% straw	11,4	15,8	16,2	16,1	15,8	18,0	18,7
Osad + 40 % słomy; Sludge + 40% straw	9,0	12,0	13,5	14,0	16,1	19,5	18,6
Osad + 20 % obornika; Sludge + 20% FYM	11,8	13,8	14,6	15,6	16,0	16,7	17,0
Osad + 40 % obornika; Sludge + 40% FYM	9,8	14,5	15,5	15,5	18,6	19,0	18,6
NIR <sub>0,01</sub> ; LSD <sub>0,01</sub>							
- czasu kompostowania; composting time				3,6			
- rodzaju kompostu; kind of compost				3,6			



1 – osad bez dodatków; sludge

3 – osad + 20% trocin; sludge + 20% sawdust

5 – osad + 20% słomy; sludge + 20% straw;

7 – osad + 20% obornika; sludge + 20% FYM

2 – osad + wapno; sludge + lime

4 – osad + 40% trocin; sludge + 40% sawdust

6 – osad + 40% słomy; sludge + 40% straw

8 – osad + 40% obornika; sludge + 40% FYM

Rys. 1. Przyrost zawartości wapnia ogółem w czasie 24 tygodni kompostowania

Fig. 1. The increase of total calcium content in 24 week composted sludge

Doświadczenia innych autorów wskazują, podobnie jak badania własne, na zwiększanie się zawartości wapnia ogólnego podczas kompostowania [STUCZYŃSKI 1992; DROZD i in. 1996b; 1999, LICZNAR i in. 1999]. W badaniach LICZNARA i in. [1999] w trakcie 90-dniowego dojrzewania kompostów z odpadów komunalnych wykazano zwiększenie zawartości wapnia o 35%. W doświadczeniach DROZDA i in. [1999] w wyniku kompostowania poniołu kurzego uzyskano jeszcze większy, 41%, wzrost zawartości wapnia ogólnego po 90 dniach kompostowania, w odniesieniu do kompostu surowego. W kolejnych badaniach DROZD i in. [1996b] podczas 180 dniowego kompostowania odpadów miejskich stwierdzono podobne, jak w poprzednim doświadczeniu zwiększenie koncentracji wapnia. STUCZYŃSKI [1992] kompostując inny materiał biologiczny (trawy, nielasy i trociny) w zróżnicowanych proporcjach także wykazał kilkudziesięcioprocentowy wzrost zawartości wapnia. Wyniki uzyskane w przytoczonych pracach są zbieżne z uzyskanymi w badaniach własnych, jakkolwiek w przypadku tych ostatnich wzrost zawartości wapnia podczas kompostowania osadów ściekowych z dodatkiem 40% obornika, 40% trocin i 40% słomy był znacznie większy i wahał się od 90 do 110%. W porównaniu do innych pierwiastków zmiany koncentracji wapnia w trakcie kompostowania były znacznie większe [CIEĆKO i in. 2003].

W czasie kompostowania występowały podobne zmiany w nagromadzeniu form rozpuszczalnych wapnia, jak w przypadku ogólnej zawartości tego pierwiastka (tab. 2, rys. 2).

Tabela 2; Table 2

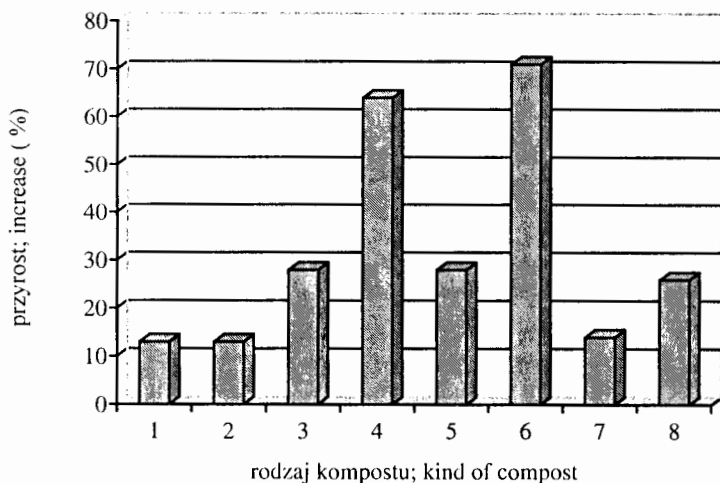
Zawartość wapnia rozpuszczalnego w 0,5 mol HCl-dm<sup>-3</sup> w osadach ściekowych w trakcie ich kompostowania (g·kg<sup>-1</sup> s.m.)

Content of soluble calcium in 0.5 mol HCl-dm<sup>-3</sup> in composted sewage sludge (g·kg<sup>-1</sup> DM)

Rodzaj kompostu Kind of compost	Materiał surowy Raw material	Tygodnie kompostowania Composting weeks					
		4	8	12	16	20	24
Osad; Sludge	2,3	2,5	2,2	2,5	2,5	2,4	2,6
Osad + wapno; Sludge + lime	2,3	2,9	2,4	2,5	2,6	2,2	2,6
Osad + 20 % trocin; Sludge + 20% sawdust	1,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1	2,3
Osad + 40 % trocin; Sludge + 40% sawdust	1,4	2,1	2,2	2,0	2,1	2,1	2,3
Osad + 20 % słomy; Sludge + 20% straw	1,8	2,3	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3
Osad + 40 % słomy; Sludge + 40% straw	1,4	1,9	2,1	2,1	2,5	2,2	2,4
Osad + 20 % obornika; Sludge + 20% FYM	2,1	2,5	2,4	2,4	2,3	2,5	2,4
Osad + 40 % obornika; Sludge + 20% FYM	1,9	2,4	2,2	2,2	2,4	2,3	2,4
NIR <sub>0,01</sub> ; LSD <sub>0,01</sub>							
- czasu kompostowania; composting time			0,4				
- rodzaju kompostu; kind of compost			0,4				

Komposty bez dodatków organicznych charakteryzowały się większą ilością tych frakcji wapnia niż komposty z ich aplikacją. Zawartość wapnia rozpuszczalnego w tych kompostach była podobna w materiale wyjściowym i w dojrzałych kompostach. W związku z tym także przyrost zawartości tej frakcji Ca był identyczny i wynosił 13%. Nagromadzenie wapnia rozpuszczalnego w badanych kompostach oraz jego przemiany miały podobny przebieg jak w przypadku wapnia ogólnem. Większy wzrost zawartości rozpuszczalnych form wapnia, w stosunku do kompostów bez dodatków organicznych, zanotowano w kompostach z trocinami, słomą,

a także, ale w mniejszym stopniu z obornikiem. Wzrost ten wahał się od 14% w kombinacji z dodatkiem 20% obornika aż do 64% w wariancie z 40%-owym dodatkiem trocin i do 71% w obiekcie z dodatkiem 40% słomy. Zawartość wapnia rozpuszczalnego we wszystkich dojrzałych kompostach była bardzo podobna i mieściła się w zakresie od 2,3 do 2,6 g·kg<sup>-1</sup> s.m.



1 – osad bez dodatków; sludge

3 – osad + 20% trocin; sludge + 20% sawdust

5 – osad + 20% słomy; sludge + 20% straw;

7 – osad + 20% obornika; sludge + 20% FYM

2 – osad + wapno; sludge + lime

4 – osad + 40% trocin; sludge + 40% sawdust

6 – osad + 40% słomy; sludge + 40% straw

8 – osad + 40% obornika; sludge + 40% FYM

Rys. 2. Przyrost zawartości rozpuszczalnego wapnia w czasie 24 tygodni kompostowania

Fig. 2. The increase of soluble calcium content in 24 week composted sludge

Zbliżone rezultaty uzyskali KRZYWY i in. [1999] w czasie kompostowania osadów ściekowych z różnymi dodatkami. Na przykład w kompostach z osadów ściekowych, do których dodawano liście i słomę zwiększenie zawartości wapnia rozpuszczalnego wahało się od około 20% do 90%. Natomiast w doświadczeniach DROZDA i in. [1996a, 1999] oraz LICZNARA i in. [1999] stwierdzono odmienne zależności, ale analizy wapnia rozpuszczalnego w kompostach z odpadów miejskich wykonywano w wyciągach wodnych, co prawdopodobnie zadecydowało o uzyskaniu rozbieżnych wyników, w stosunku do badań własnych. Zarówno DROZD i in. [1996a, 1999], jak i LICZNAR i in. [1999], wykazali kilkukrotne zmniejszenie zawartości rozpuszczalnej frakcji wapnia w czasie kompostowania odpadów miejskich i pomiotu kurzego.

### Wnioski

1. Zawartości ogólne i formy rozpuszczalne wapnia w osadach ściekowych w czasie kompostowania były uzależnione od ilości i rodzaju zastosowanych dodatków.
2. We wszystkich kompostach wykazano znaczne i wysoce istotne zwiększenie

zawartości wapnia ogólnego podczas ich kompostowania. Największy wzrost ogólnej koncentracji wapnia zanotowano w kompostach z dodatkiem 40% trocin i 40% słomy.

3. Nagromadzenie wapnia rozpuszczalnego w badanych kompostach oraz jego przemiany miały podobny przebieg jak w przypadku wapnia ogólnego. Większy wzrost zawartości rozpuszczalnych form wapnia, w stosunku do kompostów bez dodatków organicznych, wystąpił w kompostach z trocinami i słomą oraz, ale w mniejszym zakresie, w kompostach z obornikiem.

## Literatura

- BARAN S., ŻUKOWSKA G., PIETRASIK W., ZALEWSKI P., SZCZEPANOWSKA L. 1996. *Przydatność wermikompostu z osadów ściekowych do rekultywacji i użyźniania gleb*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Sesja Nauk. 47: 33–44.
- CIEĆKO Z., HARNISZ M., WYSZKOWSKI M., NAJMOWICZ T. 2003. *Dynamika zawartości magnezu w osadach ściekowych podczas ich kompostowania z dodatkiem różnych substancji*. Inż. Ekolog. 9: 95–101.
- CZEKAŁA J. 1999. *Osady ściekowe źródłem materii organicznej i składników pokarmowych*. Zesz. Nauk. AR Szczecin 77: 33–38.
- DROZD J., JAMROZ E., LICZNAK M., LICZNAK S.E., WEBER J. 1999. *Zmiany wybranych form makro- i mikroelementów w czasie kompostowania pomiotu kurzego i produkowanego z niego nawozu organiczno-mineralnego*. Zesz. Nauk. AR Szczecin 77: 69–74.
- DROZD J., LICZNAK M., PATORCZYK-PYTLIK B., RABIKOWSKA B. 1996a. *Zmiany w składzie chemicznym kompostów z odpadków miejskich w czasie ich kompostowania*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 437: 130–138.
- DROZD J., LICZNAK M., PATORCZYK-PYTLIK B., RABIKOWSKA B., JAMROZ E. 1996b. *Zmiany zawartości węgla i azotu w procesie dojrzewania kompostów z odpadów miejskich*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 437: 123–130.
- EUROPEAN UNION DRAFT *directive on sewage sludge*. Brussels, 27.04.2000.
- KALISZ L., SAŁBUT J., KAŻMIERCZUK M. 2001. *Przetwarzanie osadów stabilizowanych tlenowo na wermikompost*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Sesja Nauk. 75: 31–36.
- KASPRZAK K. 1996. *Zgrupowania dżdżownic (Lumbricidae) środowisk antropogenicznych*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Sesja Nauk. 47: 125–130.
- KOSTECKA J. 1999. *Kompostowanie z udziałem dżdżownic – nowe możliwości*. Mat. I Konf. Nauk.-Tech. „Kompostowanie i użytkowanie kompostu” 16–18 VI Puławy–Warszawa: 125–132.
- KRZYWY E., WOŁOSZYK CZ., IŻEWSKA A. 1999. *Zmiany chemiczne zachodzące w kompostach z osadów ściekowych podczas ich fermentacji. Cz. II. Zmiany zawartości form przyswajalnych fosforu i potasu oraz rozpuszczalnych w 0,5 mol·dm<sup>-3</sup> HCl magnezu i wapnia*. Zesz. Nauk. AR Szczecin 77: 189–194.
- LICZNAK M., DROZD L., JAMROZ E., LICZNAK S.E., WEBER L. 1999. *Przemiany makro- i mikroskładników w procesie dojrzewania kompostów produkowanych z odpadów miejskich w warunkach kontrolowanych*. Zesz. Nauk. AR Szczecin 77: 201–205.

PATORCZYK-PYTLIK B., SPIAK Z., GEDIGA K. 1999. *Ocena możliwości rolniczego wykorzystania osadów ściekowych z zakładu przetwórstwa drobiowego. Cz. I. Wpływ procesu kompostowania na zmiany składu chemicznego osadów przemysłu drobiowego. Zesz. Nauk. AR Szczecin 77: 311–316.*

ROZPORZĄDZENIE MŚ 2002. *Z dnia 1 sierpnia w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Dz. U. Nr 134, poz. 1140.*

STUCZYŃSKI T. 1992. *Wpływ stosowania różnego rodzaju inoculum na przebieg procesu kompostowania i jakość uzyskanego produktu. Pam. Puławski 100: 217–225.*

**Słowa kluczowe:** osady ściekowe, kompostowanie, dynamika, wapń ogółem, wapń rozpuszczalny

### Streszczenie

Celem podjętych badań, było prześledzenie dynamiki zmian zawartości wapnia ogólnego i rozpuszczalnego w czasie kompostowania osadów ściekowych, do których dodawano trociny, słomę, obornik i wapno. Zawartość wapnia ogólnego i jego form rozpuszczalnych w osadach ściekowych w czasie kompostowania była uzależniona od ilości i rodzaju zastosowanych dodatków. We wszystkich kompostach wykazano podczas ich dojrzewania znaczne i wysoce istotne zwiększenie zawartości wapnia ogólnego. Największy wzrost ogólnej koncentracji wapnia zanotowano w kompostach z dodatkiem 40% trocin i 40% słomy. Nagromadzenie wapnia rozpuszczalnego w badanych kompostach oraz jego przemiany miały podobny przebieg, jak w przypadku wapnia ogółem. Większy wzrost zawartości rozpuszczalnych form wapnia, w stosunku do kompostów bez dodatków organicznych, wystąpił w kompostach z trocinami i słomą oraz, ale w mniejszym zakresie, w kompostach z obornikiem.

### DYNAMICS OF CALCIUM CONTENT IN SEWAGE SLUDGE WHILE COMPOSTING WITH VARIOUS ADDITIVES

*Zdzisław Ciećko, Marcin Harnisz, Mirosław Wyszowski, Tomasz Najmowicz*  
Department of Environmental Chemistry,  
University of Warmia and Mazury, Olsztyn

**Key words:** sludge, composting, dynamics, total calcium, soluble calcium

### Summary

The study aimed at examining the dynamics of changes in the total and soluble calcium content while composting sewage sludge with the addition of sawdust, straw, manure and lime. The content of total calcium and its soluble forms in sewage sludge during the composting process depended on the amount and type of used additives. In all composts the total calcium content was shown to have increased significantly. The highest increase in the total calcium concentration was recorded in composts with 40% sawdust and 40% straw. The accu-

mulation of soluble calcium in the composts under study and its transformations were similar to those of total calcium. A higher increase in the soluble calcium forms was observed in composts with sawdust and straw and, to a lesser extent, in composts with manure.

Prof. dr hab. Zdzisław Ciećko  
Katedra Chemii Środowiska  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski  
Plac Łódzki 4  
10-718 OLSZTYN  
e-mail: [zdzislaw.ciecko@uwm.edu.pl](mailto:zdzislaw.ciecko@uwm.edu.pl)