



ZRÓŻNICOWANIE ZAWARTOŚCI Cd, Pb, Zn I Cu W KOMPOSTACH WYTWARZANYCH W RÓŻNYCH TECHNOLOGIACH I MIEJSCACH

Artur Szwalec, Paweł Mundala, Renata Kędzior, Marek Telk
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kollątaja w Krakowie

DIVERSITY OF Cd, Pb, Zn AND Cu CONTENTS IN COMPOSTS BEING PRODUCED IN DIFFERENT TECHNOLOGIES AND AREAS

Streszczenie

Kompostowanie to sięgająca starożytności praktyka rolnicza mająca za zadanie wyprodukowanie cennych nawozów. W drugiej połowie XX wieku zaczęto wykorzystywać tę praktykę do utylizacji frakcji organicznej odpadów komunalnych i osadów z oczyszczalni ścieków i takie zastosowanie tego procesu dziś dominuje. Nie oznacza to jednak, że zaprzestano produkcji kompostów z „tradycyjnych” materiałów, że nie wykorzystuje się ich jako nawozów w ogrodnictwie. Celem pracy była ocena zróżnicowania zawartości Cd, Pb, Zn i Cu w kompostach wytwarzanych w różnych technologiach i miejscach z podobnego materiału wsadowego. Materiał badawczy pozyskano z krakowskiej kompostowni w Baryczy należącej do MPO w Krakowie, kompostowni w Płaszowie (dzielnica Krakowa) należącej do firmy Ekokonsorcjum-Efekt z przydomowych pryzm i kompostowników zlokalizowanych w podkrakowskich sołectwach Bobin, Czarnochowice i Rzozów oraz z ogrodów działkowych położonych przy ul. Praskiej w Krakowie. Materiałem wsadowym do ocenianych kompostów były: odpady z pielęgnacji zieleni miejskiej, odpady z placów targowych, na których sprzedawano warzywa i owoce, chwast z plewienia, pozostałości uprawianych roślin (ich części niekonsumpcyjne), resztki z jędzenia. Zawartości analizowanych pierwiastków

oznaczono metodą płomieniową na spektrofotometrze absorpcji atomowej (FAAS) aparacie Solaar M6 firmy Unicam. Miejsce wytwarzania kompostu a więc materiał wsadowy i sposób kompostowania miały wpływ na zawartość badanych metali. Komposty różniły się istotnie statystycznie pod względem zawartości kadmu, ołowiu, cynku, miedzi i substancji organicznej. Pod względem zawartości analizowanych metali komposty spełniały wymagania stawiane im przez właściwe Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi. W odniesieniu do minimalnej zawartości materii organicznej w stałych nawozach organicznych zamieszczonej w wym. rozporządzeniu wymogi spełniał jedynie kompost z Płaszowa. Zgodnie z metodą IUNG stężenia ołowiu w badanych kompostach należy uznać za naturalne (0^0) a kadmu za podwyższone (1^0) jedynie w kompostach z Baryczy i Rzozowa. Stwierdzono również średnie zanieczyszczenie (III^0), cynkiem kompostu z Rzozowa i miedzią kompostu z Baryczy.

Słowa kluczowe: komposty, kadm, ołów, cynk, miedź

Abstract

Composting is reaching Antiquities agricultural practice mandated to produce valuable fertilizers. In the second half of the twentieth century was begun use this practice for the utilization of the organic fraction of municipal waste and sludge from sewage treatment plants and such application of this process dominates today. It does not mean, however, that ceased production of compost from „traditional” materials, they are not used as fertilizers in horticulture. The aim of the study was to estimate diversify of Cd, Pb, Zn and Cu contents in composts produced in different technologies and places but made of a similar feed material. The research material was obtained from the Krakow City (MPO Krakow) Composting Plant in Barycz, a Composting Plant at Płaszow (Krakow district) belonging to a private company Ekokonsorcjum-Effect and the three domestic composting piles located in the villages near Krakow: Bobin, Czarnochowice and Rzozow and from an allotments located at Krakow (Praska Street). Charge material for compost were taken: waste from the care of green areas of Krakow City, waste from Krakow marketplaces, which sold fruit and vegetables, weeds from weeding, the remains of cultivated plants (non-consumption parts), home waste food. The contents of the analysed elements were determined by flame atomic absorption spectrophotometer, the Unicam Solaar M6 apparatus. Place composting and therefore the feed material and method of composting affect the contents of the investigated metals. Composts differed significantly in terms of the content of cadmium, lead, zinc, copper and organic matter. In terms of the content of the analysed metals composts meet the requirements for them by the

relevant Regulation of the Minister of Agriculture and Rural Development. As regards the minimum content of organic matter in the solid organic fertilizers reproduced in the Regulation requirements met only compost from Plaszow. According to the method IUNG the concentration of lead in the studied composts should be considered natural (0^0) and cadmium for elevated (1^0) only composts Baryczy and Rzozów. It was also the average contamination (III^0), zinc compost from Rzozów and copper compost Baryczy.

Key words: *composts, cadmium, lead, zinc, copper*

WSTĘP

Kompostowanie biomasy roślinnej jest od bardzo dawna znanym i stosowanym w rolnictwie sposobem na wyprodukowanie dobrej jakości nawozu organicznego wykorzystywanego na własne potrzeby. W XX wieku nastąpił intensywny rozwój technologii pozwalających wykorzystać proces kompostowania do zagospodarowania odpadów komunalnych. Odpady z gospodarstw domowych poddawane są biologicznemu przetwarzaniu w postaci: odpadów zmieszanych, bioodpadów oraz tzw. odpadów pozostałych. Zmieszane odpady z miast zawierają ponad 50 % nierozkładalnych biologicznie składników tj. szkło, tworzywa sztuczne, frakcja mineralna, metale. Zawierają również składniki zaliczane do odpadów niebezpiecznych tj.: baterie, opakowania po farbach i chemikaliach (Jędrzak A. i Haziak K., 2005). Obecnie zmieszane odpady domowe (lub komunalne) poddaje się mechaniczno-biologicznym technologiom unieszkodliwiania, w celu przygotowania ich do składowania lub termicznej obróbki oraz wykorzystania energetycznego (Jędrzak A. i Haziak K., 2001). Wyselekcjonowane bioodpady stanowią z reguły bardzo dobry surowiec do produkcji wysokiej jakości kompostu. Niekiedy jednak odpady kierowane do kompostowania mogą zawierać substancje toksyczne min.: metale ciężkie, dioksyny i furany (PCDD/F) (Obidoska G. i in., 2008, Ciesielczuk T. i Rosik-Dulewska Cz., 2012). Proces kompostowania nie powoduje redukcji zawartości metali, a w przypadku PCDD/F i PCB może nawet przyczyniać się do wzrostu ich ilości w produkcie końcowym w stosunku do wyjściowego (Amlinger F. i in, 2004).

Celem badań była ocena zróźnicowania zawartości kadmu, ołowiu, miedzi i cynku w kompostach wytwarzanych w różnych technologiach i miejscach z podobnego materiału wsadowego.

METODYKA BADAŃ

Materiał badawczy pozyskano z krakowskiej kompostowni w Baryczy należącej do Miejskiego Przedsiębiorstwa Oczyszczania (MPO) w Krakowie,

kompostowni w Płaszowie (dzielnica Krakowa) należącej do firmy Ekokonsorcjum-Efekt oraz z przydomowych pryzm i kompostowników zlokalizowanych w podkrakowskich sołectwach Bobin, Czarnochowice i Rzozów oraz z ogrodów działkowych położonych przy ul. Praskiej w Krakowie. Wszystkie te kompostowniki obsługują wielorodzinne gospodarstwa domowe oraz kilkudziesięcioarowe ogrody warzywno-owocowe utrzymane w bardzo wysokiej kulturze rolniczej. Z każdego kompostu pobierano po cztery próby reprezentatywne, każda o wadze ok. 2 kg świeżej masy, które zostały uzyskane po zhomogenizowaniu pięciu prób pierwotnych. Próby pierwotne pobierano w sposób losowy z wytworzonego kompostu przy użyciu świda glebowego. W zebranych materiale po wysuszeniu do powietrznie suchej masy i przesianiu przez sito polietylenowe o średnicy oczek 1mm przeprowadzono mineralizację na mokro w mieszaninie stężonych kwasów (azotowego V i chlorowego VII), do ekstrakcji kationów Cd, Pb, Zn i Cu użyto roztworu kwasu solnego, oznaczono również zawartość próchnicy przez wyżarzenie oraz pH (Ostrowska A. i in. 1991). Zawartości kadmu, ołowiu, cynku i miedzi oznaczono metodą FAAS na aparacie Solaar M6 firmy Unicam. Oznaczenia wartości pH badanych prób w roztworze KCL wykonano metodą potencjometryczną na pH-metrze laboratoryjnym typ N-517. Rozkład średnich zawartości badanych metali ciężkich w kompostach analizowano w oparciu o analizę wariancji, z poziomem istotności równym 0,05. Wszystkie analizy statystyczne wykonano w programie Statistica 10.0.

MATERIAŁ BADAŃ

Kompostowania Barycz to dwumodułowa kontenerowa kompostownia odpadów zielonych systemu KNEER o wydajności $6.000 \text{ Mg} \cdot \text{rok}^{-1}$ materiału wsadowego, której dostawcą jest spółka HORSTMANN. Materiał wsadowy do kompostowni stanowią odpady pochodzące z pielęgnacji terenów zielonych, odpady ogrodnicze, odpady z placów i targowisk oraz domowe odpady kuchenne pochodzenia roślinnego. Kompostownia Płaszów zaprojektowana została wg technologii KYBERFERM spółki MUT wybudowana została przez spółkę Ekokonsorcjum-Efekt. Instalacja przeznaczona jest do kompostowania odpadów z pielęgnacji zieleni miejskiej Krakowa (trawa, liście, gałęzie, krzewy) oraz organicznych – z placów targowych, stołówek i zakładów przetwórstwa rolno-spożywczego. W sołectwach Bobin i Czarnochowice materiał przeznaczony do kompostowania stanowiły odpady zielone z produkcji roślinnej, odpady kuchenne, trawa z pielęgnacji przydomowych trawników, wyplewione w ogrodzie chwasty, ścięte gałęzie z pielęgnacji drzew i krzewów owocowych, zebrane w okresie jesiennym liście. Zebrany materiał organiczny układany był w pryzmę kompostową ograniczoną z dwóch stron ażurową konstrukcją drewnianą, o następujących wymiarach szerokość w podstawie ok. 1,7m, wysokość ok. 1,5

m długość ok. 3m. Pryzma była dwukrotnie ręcznie przetrucana w ciągu roku. Uzyskany w ten sposób kompost był wykorzystywany do nawożenia i uprawy warzyw. W ogrodzie z ul. Praskiej (Kraków) materiał przeznaczony do kompostowania stanowiły odpady zielone z produkcji roślinnej – głównie wyplewione chwasty oraz okresowo odpadowy materiał kuchenny. Zebrany materiał organiczny układany był w pryzmę kompostową o następujących wymiarach szerokość w podstawie ok. 1,5 m, wysokość ok. 1,0 m długość ok. 3m. Pryzma była przetrucana trzy razy w ciągu roku. Podobnie jak dla Bobina i Czarnochowic uzyskany kompost był wykorzystywany do nawożenia inspektów i uprawy warzyw i owoców. W Rzozowie materiał przeznaczony do kompostowania stanowiły odpady zielone z produkcji roślinnej, odpady kuchenne, trawa z pielęgnacji przydomowych trawników, wyplewione chwasty, ścięte gałęzie z pielęgnacji drzew i krzewów owocowych oraz zebrane w okresie jesiennym liście. Zebrany materiał organiczny układany był w pryzmę kompostową o następujących wymiarach szerokość w podstawie ok. 1,8m, wysokość ok. 1,5 m długość ok. 4m. Pryzma była przetrucana trzy razy w ciągu roku. Uzyskany w ten sposób kompost był wykorzystywany do nawożenia inspektów oraz uprawy warzyw i owoców.

WYNIKI I Dyskusja BADAŃ

Komposty w tradycyjnym rolnictwie od wieków wykorzystywane były jako źródło wszystkich makro i mikroelementów dla uprawianych roślin, do poprawy stosunków wodnopowietrznych gleby, zwiększenia pojemności wodnej i sorpcyjnej oraz zwiększenia żyzności mikrobiologicznej gleby. Znajdowały także zastosowanie min. w rekultywacji gruntów bezglebowych, produkcji podłoży do niegruntowej uprawy roślin czy też produkcji preparatów nawozowych (Siuta J. i Wasiak G., 2000). Z czasem ze względu na pracochłonność, oraz dostępność tanich nawozów mineralnych znacznie ograniczono produkcję tradycyjnych kompostów. Różnorodne technologie kompostowania zaczęto jednak powszechnie wykorzystywać w gospodarce odpadami do przetwarzania odpadów komunalnych oraz osadów z oczyszczalni ścieków. Właściwości tak wytwarzanych kompostów były często badane (Pichtel J. i Anderson M., 1997, Nomeda S. i in. 2008, Hadam A. i Obidoska G., 2009, Ignatowicz K. i in. 2011, Poluszyńska J. i in., 2012, Kucharczak i in., 2010). Uzyskane wyniki badań wskazują jednak iż w większości przypadków wytworzenie kompostów które spełniają wymagania dla nawozów organicznych (Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi, 2008) możliwe jest tylko z odpadów zbieranych selektywnie. Produkcja nawozów organicznych w instalacjach mechaniczno-biologicznego przetwarzania ze zmieszanych odpadów komunalnych jest praktycznie niemożliwa. W tych warunkach najczęściej wytwarzany jest odpad o kodzie 19

05 99 (odpad z tlenowego rozkładu odpadów stałych). Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej (2004), podręczniki do rolnictwa ekologicznego, jak również wiele opracowań wskazuje na konieczność i zasadność produkowania i stosowania tradycyjnych kompostów. Stosunkowo rzadko są one jednak przedmiotem badań na zawartość metali ciężkich (Hseu Z.Y., 2004). Zasadniczy wpływ na jakość tych tradycyjnych kompostów ma rodzaj i wartość materiału wsadowego. Niezależnie od rodzaju zastosowanej technologii w materiale wsadowym analizowanych kompostów, dominowały przede wszystkim odpady zielone (skoszona trawa, chwasty, liście, rozdrobnione gałęzie drzew, odpady kuchenne). Badane komposty charakteryzowały się bardzo wyrównanym pH (6,3-7,5) przy współczynniku zmienności wynoszącym zaledwie 4%. Odmienne niż w przypadku pH zawartości substancji organicznej zmieniały się w bardzo szerokim zakresie od 3,0% do 43,6% a współczynnik zmienności wyniósł aż 77% (tab. 1).

Tabela 1. Podstawowe statystyki dla zawartości metali i substancji organicznej oraz wartości pH w KCl dla wszystkich badanych kompostów

Table 1. Main statistics form contents of heavy metals, organic matter an pH value for examined composts

Parametr/Parameter	Cd	Pb	Zn	Cu	pH KCl	Sub. org % Organic matter %
	mg*kg ⁻¹ s.m./ mg*kg ⁻¹ d.m.					
Minimum/Minimum	0,36	13,4	102	15,3	6,3	3,0
Maksimum/Maximum	1,11	63,3	632	102,9	7,5	43,6
Śr. arytmetyczna/Arithmetic mean	0,82	33,9	287	52,6	6,9	17,8
Śr. geometryczna/Geometric mean	0,77	30,4	243	44,4	6,9	12,6
Mediana/Median	0,86	29,1	263	47,8	6,8	13,8
SD/Standard deviation	0,24	15,7	171	28,7	0,3	13,8
V (%)/Variability index	29	46	60	54	4	77

Również zawartości miedzi i cynku charakteryzowały się wysokimi wartościami współczynników zmienności wynoszącymi odpowiednio 54% (Cu) i 60% (Zn). Względnie niską wartość przyjął współczynnik zmienności dla kadmu 29% a średnią 46% dla ołowiu.

Zastosowanie analizy wariancji pozwoliło stwierdzić, że miejsce powstawania kompostów a więc materiał z jakiego on powstaje ma istotne znaczenie dla każdej z badanych cech. Zmienność w ramach poszczególnych grup (miejsce pochodzenia kompostów) była bardzo niska stąd wartości NIR również okazały się niskie. Dla zawartości kadmu, cynku, miedzi i substancji organicznej wszystkie średnie zawartości różniły się istotnie statystycznie między sobą (tab. 2). W przypadku ołowiu nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic pomiędzy

zawartościami tego metalu w kompostach pochodzących z Płaszowa i ul. Praskiej. Najwyższą średnią zawartością tego pierwiastka charakteryzował się kompost wytwarzany w kompostowni miejskiej w Baryczy. Materiał ten cechowało również (w odniesieniu do pozostałych kompostów) wysokie stężenie miedzi oraz kadmu. Kompostownia ta bazuje przede wszystkim na odpadach pochodzących z pielęgnacji zieleni miejskiej (zieleńców, ogrodów miejskich) narażonych na działanie emisji motoryzacyjnych i przemysłowych stanowiących źródło depozycji tych pierwiastków. Na wysoką zawartość ołowiu w kompoście produkowanym z odpadów zielonych miasta Warszawy zwracają uwagę Hadam A. i Obidoska G. (2009), a w kompoście produkowanym w Zabrzu Ciesielczuk T. i Kusza G. (2009). Gleby parków miejskich z których pozyskiwana jest roślinność do kompostowania dla której są one źródłem mikro i makroelementów cechują z reguły podwyższone i wysokie zawartości metali ciężkich (Kabata-Pendias A. i Pendias H., 1999, Baran S., i in., 2010, Szwałec A. i Mundała P., 2012). Należy więc spodziewać się, że efekt „aglomeracji miejsko – przemysłowej” w odniesieniu do zawartości metali ciężkich a szczególnie ołowiu w kompostach miejskich będzie jeszcze długo obserwowany. Najmniej różnic zidentyfikowano dla wartości pH, wydzielono tu trzy grupy średnich (tab. 2). Skład chemiczny kompostów jako nawozów określa Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi (2004). W odniesieniu do analizowanych metali nawozy organiczne mogą zawierać nie więcej niż: 5 mg*kg⁻¹ s.m. kadmu oraz 140 mg*kg⁻¹ s.m. ołowiu (Dz.U. 2008, Nr 119, poz. 765). Uchylone (wcześniej obowiązujące rozporządzenie) (Dz.U. 2004, Nr 236, poz. 2369) normowało także dopuszczalne zawartości cynku mniej niż 1500 mg*kg⁻¹ s.m. i miedzi mniej niż 400 mg*kg⁻¹ s.m. Zawartości tych metali w badanych kompostach były wielokrotnie niższe niż maksymalnie dopuszczalne określone w wymienionych rozporządzeniach. Wszystkie badane komposty spełniały również znacznie ostrzejsze niemieckie kryteria środowiskowe, które dla pierwszej klasy kompostu podają dopuszczalną zawartość ołowiu wynoszącą 100 mg*kg⁻¹ s.m. (German...2013). Nieco inaczej wygląda sytuacja w odniesieniu do kadmu dla którego niewielkie (3 i 9%) przekroczenia dopuszczalnej zawartości (1,0 mg*kg⁻¹ s.m.), stwierdzono w kompoście wytwarzanym w Rzozowie i Baryczy. Również w tych samych kompostach przekroczona została dopuszczalna zawartość cynku wynosząca 300 mg*kg⁻¹ s.m. odpowiednio 316 mg*kg⁻¹ s.m. Barycz i 630 mg*kg⁻¹ s.m. Rzozów. Podobnie w kompoście wytwarzanym w Baryczy przekroczona została dopuszczalna zawartość miedzi 102,7 wobec normy 70 mg*kg⁻¹ s.m. Jak już zwrócono uwagę wpływ na zawartości analizowanych metali w kompoście wytwarzanym w Baryczy mają emisje związane ze środowiskiem aglomeracji miejsko – przemysłowej. W przypadku kompostu produkowanego w Rzozowie może być to potencjalny wpływ emisji przemysłowych i motoryzacyjnych. Gospodarstwo w którym wytwarzano badany kompost zlokalizowane jest w bezpośrednim sąsiedztwie nieczynnej huty aluminium w Skawinie (ok.1 km), Elektrociepłow-

ni Skawina SA (ok. 2,5 km) oraz drogi wojewódzkiej nr 953 łączącej Skawinę z Kalwarią Zebrzydowską. Najczęściej w literaturze poza oceną zawartości metali ciężkich w kompoście zwraca się uwagę na możliwości podniesienia stężeń tych pierwiastków w glebie oraz wodach gruntowych i podziemnych (Yuan-Song W. i in., 2000, Kashi A. i in., 2002, Weber J. i in., 2007). W tym zakresie można wykorzystać również metodę Instytutu Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa (Kabata-Pendias A. i in., 1993) pozwalającą ocenić zawartość metali ciężkich w glebach organicznych. I tak zawartość substancji organicznej w przedziale 6-10% klasyfikuje glebę do grupy b-g a powyżej 10% do grupy c-g.

Tabela 2. Średnie arytmetyczne zawartości metali ciężkich i substancji organicznej wraz z wartościami pH w KCl dla badanych kompostów (a, b, c grupy średnich dla badanej cechy nie różniące się statystycznie)

Table 2. Arithmetic means for heavy metal and organic matter contents with pH values in KCl for examined composts (a, b, c groups of means with no significant differences)

Lokalizacja Localisation	Cd	Pb	Zn	Cu	pH KCl	Sub. org % / Organic matter %
	mg*kg ⁻¹ s.m./ mg*kg ⁻¹ d.m.					
Płaszów	0,92	28,6a	287	61,2	6,5	43,4
Barycz	1,09	63,1	316	102,7	7,1a	25,9
Bobin	0,37	13,6	104	15,5	6,8b,c	8,7
Czarnochowice	0,79	25,0	144	68,7	7,3a	18,9
Praska	0,71	29,5a	238	34,3	6,8b	3,3
Rzozów	1,03	43,5	630	33,4	6,8c	6,7
NIR/LSD	0,03	1,07	2,56	0,28	0,26	0,35

Kompost z ul. Praskiej ze względu na bardzo niską zawartość substancji organicznej (3,25%) nie może być oceniany w tej grupie gleb. W tym wypadku możemy raczej mówić o ziemi kompostowej niż kompoście. W odniesieniu do RMRiRW (2008), które podaje minimalną zawartość materii organicznej w stałych nawozach organicznych wynoszącą 30% wymogi te spełniał jedynie kompost z Płaszowa. Zgodnie z wytycznymi IUNG (Kabata-Pendias A. i in., 1993) komposty z Rzozowa 6,7% sub. org. i Bobina 8,7% należą do grupy b-g, a pozostałe tj.: komposty z Płaszowa Baryczy i Czarnochowic do grupy c-g (tab. 3.). Również ta ocena zawartości metali jest korzystna dla badanych kompostów. Stężenia ołowiu należy uznać za naturalne, a kadmu podwyższone jedynie w kompostach z Baryczy i Rzozowa. Natomiast dla mikroelementów tj. cynku i miedzi występują zanieczyszczenia średnie (III⁰), dla cynku w Rzozowie i miedzi w Baryczy oraz słabe zanieczyszczenie (II⁰) dla cynku w Baryczy. O ile podwyższona zawartość tych mikroelementów nie budzi niepokoju ze względu na

ich znaczenie dla prawidłowego rozwoju potencjalnie uprawianych roślin (Koniczyński P., i Wesołowski M., 2008, Michaud A.M. i in., 2008, Szatanik-Kloc A. i in., 2010), o tyle szczególnie w przypadku stosowania do nawożenia kompostów wytwarzanych w Baryczy i Rzozowie, gdzie występuje średnie zanieczyszczenie tymi pierwiastkami należy w sposób przemyślany i dokładny ustalać ich dawki w odniesieniu do konkretnych warunków glebowych tj. do występujących tam zawartości miedzi i cynku.

Tabela 3. Ocena zawartości metali ciężkich według metody Kabaty-Pendias i in. (1993)

Table 3. Evaluation of heavy metal contents according to the Kabata-Pendias et. al. method (1993)

Lokalizacja Localisation	Cd	Pb	Zn	Cu	Grupa/ Group	Sub. org % Organic matter %
	Średnia mg*kg ⁻¹ s.m /stopień/ Mean mg*kg ⁻¹ d.m /degree					
Płaszów	0,92 0	28,6 0	287 I	61,2 I	c-g	43,4
Barycz	1,09 I	63,1 0	316 II	102,7 III	c-g	25,9
Bobin	0,37 0	13,6 0	104 I	15,5 0	b-g	8,7
Czarnochowice	0,79 0	25,0 0	144 I	68,7 I	c-g	18,9
Rzozów	1,03 I	43,5 0	630 III	33,4 I	b-g	6,7

WNIOSKI

1. Miejsca oraz wynikające z nich technologie wytwarzania miały istotny statystycznie wpływ na stężenia Cd, Pb, Zn, Cu i zawartość materii organicznej w badanych kompostach.
2. Pod względem zawartości analizowanych metali komposty spełniały wymagania stawiane im przez Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi. W odniesieniu do minimalnej zawartości materii organicznej w stałych nawozach organicznych zamieszczonej w tym rozporządzeniu wymogi spełniał jedynie kompost z Płaszowa.
3. Zgodnie z metodą IUNG (1993) stężenia ołowiu w badanych kompostach należy uznać za naturalne (0⁰) a kadmu za podwyższone (I⁰) jedynie w kompostach z Baryczy i Rzozowa. Stwierdzono również średnie zanieczyszczenie (III⁰), cynkiem kompostu z Rzozowa i miedzią kompostu z Baryczy.

LITERATURA

Amlinger F., Favoino E., Pollak M. (2004). *Heavy metals and organic compounds in wastes used as organic fertilizer*. Final Report for European Commission http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf/hm_finalreport.pdf

Baran S., Bielińska E. J., Kawecka-Radomska M. (2010). *Zawartość metali ciężkich w glebach parków miejskich podlegających zróżnicowanemu wpływowi antropogenicznemu*. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego, seria Inżynieria Środowiska, nr 137(17), 131–137.

Ciesielczuk T., Kusza G. (2009). *Zawartość metali ciężkich w kompostach z odpadów jako czynnik ograniczający ich wykorzystanie do celów nawozowych*. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych nr 41, 347–354

Ciesielczuk T., Rosik-Dulewska Cz. (2012). *Wady i zalety rekultywacyjnego wykorzystania kompostów z odpadów*. Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych, nr 10, 316-322.

German Ordinance on Biowastes – BioAbfV 1998. Ordinance on the Utilisation of Biowastes on Land used for Agricultural, Silvicultural and Horticultural purposes. Notice of initiation of the amendment of the Bio-Waste Ordinance of 4 April 2013. Federal Law Gazette Part I, 658.

http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/bioabfv_engl_bf.pdf

Hadam A., Obidowska G. (2009). *Fitotoksyczność i genotoksyczność metali ciężkich zawartych w kompostach z odpadów miejskich*. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych nr 41, 332-340.

Hseu Z.Y. (2004). *Evaluating heavy metal contents in nine composts using four digestion methods*. Bioresource Technology 95, 53–59.

Ignatowicz K., Garlicka K., Breńko T. (2011). *Wpływ kompostowania osadów ściekowych na zawartość wybranych metali i ich frakcji*. Inżynieria Ekologiczna Nr 25. 231-241.

Jędrzak A., Haziak K. (2005). *Określenie wymagań dla kompostowania i innych metod biologicznego przetwarzania odpadów*. Pracownia Badawczo-Projektowa EKOSYSTEM, Zielona Góra.

Jędrzak A., Haziak K. (2001). *Mechaniczno-biologiczne przetwarzanie odpadów*. Przegląd komunalny, nr 5, 92-96.

Kabata-Pendias A., Pendias H. (1999). *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T. (1993). *Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa*. Seria P (53), Wyd. IUNG, Puławy, 20.

Kashl A., Romheld V., Chen Y. (2002). *The influence of soluble organic matter from municipal solid waste compost on trace metal leaching in calcareous soils*. The Science of the Total Environment 291, 45–57.

Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej (2004). Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi. http://iung.pl/dpr/publikacje/kodeks_dobrej_praktyki_rolniczej.pdf

Koniecznyński P., Wesółowski M. (2008). *Ocena zawartości manganu i miedzi w liściach wybranych roślin leczniczych i otrzymanych z nich ekstraktach wodnych*. Bromatologia i Chemia Toksykologiczna XLI (3), 338-342.

Kucharczak K., Stępień W., Gworek B. (2010). *Kompostowanie odpadów komunalnych jako metoda odzysku substancji organicznej*. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych nr 42, 240-254.

Michaud A. M., Chappelaz C., Hinsinger P. (2008). *Copper phototoxicity affects root elongation and iron nutrition in durum wheat (Triticum turgidum durum L.)*. Plant and Soil 310, 151-165.

Nomeda S., Valdasa P., Chen S.-Y., Lin J.-G. (2008). *Variations of metal distribution in sewage sludge composting*, Waste Management, volume 28, Issue 9, 1637–1644

Obidoska G., Hadam A., Karaczun Z. (2008). *Przydatność testów roślinnych do badania genotoksyczności kompostów z odpadów miejskich*. W: Praca zbiorowa pod redakcją Barbary Kołwzon i Kazimierza Grabsa „Ekotoksykologia w ochronie środowiska“, Wyd. Polskie – Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych nr 884, 241-246.

Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. (1991). *Metody analiz i oceny właściwości gleb i roślin* – katalog. Wydawnictwo IOS, Warszawa.

Pichtel J. i Anderson M. (1997). *Trace metal bioavailability in municipal solid waste and sewage sludge composts*. Bioresource Technology 60, 223-229

Poluszyńska J., Siemiątkowski G., Paciorkowski M. (2012). *Charakterystyka kompostów z odpadów w świetle obowiązujących przepisów*. Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych nr 10, 321-246.

Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu z dnia 18 czerwca 2008 r. Dz.U. 2008 nr 119 poz. 765.

Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 października 2004 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. Dz.U. nr 236, poz. 2369.

Siuta J., Wasiak G. (2000). *Kompostowanie odpadów i użytkowanie kompostu*. Wydawnictwo Instytutu Ochrony Środowiska, Warszawa.

Szatanik – Kłoc A., Sokołowska Z., Hajnos M., Alekseeva T., Alekseev A. (2010). *Wpływ pH oraz jonów Cu^{+2} i Zn^{+2} na zawartość wapnia w życie (Secale cereale L.)*. Acta Agrophysica 15(1), 177-185.

Szwalec A., Mundała P. (2012). *Zawartość Cd, Pb, Zn i Cu w glebach wybranych parków miejskich Krakowa*. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* nr 53, 63-72.

Yuan-Song W., Yao-Bo F., Min-Jian W., Ju-Si W. (2000). *Composting and compost application in China*. *Resources, Conservation and Recycling* 30, 277-300.

Weber J., Karczewska A., Drozd J., Licznar M., Licznar S., Jamroz E., Kocowicz A. (2007). *Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts*. *Soil Biology & Biochemistry* 39, 1294-1302.

dr inż. Artur Szwalec, dr inż. Paweł Mundała, dr Renata Kędzior, inż. Marek Telk
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków
rmmundal@cyf-kr.edu.pl, 12 6624013

Wpłynęło: 16.04.2016

Akceptowano do druku: 03.06.2016