



The assessment of the possible use of municipal waste - code 20 03 03 based on its physicochemical and biochemical properties

Joanna LEMANOWICZ¹, Agata BARTKOWIAK²

¹ Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, Zakład Biochemii, ul. Bernardyńska 6. 85-129 Bydgoszcz, tel.: 52 3749555, e-mail: jl09@interia.pl

² Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb, ul. Bernardyńska 6. 85-129 Bydgoszcz, tel.: 52 3749526, e-mail: bartkowiak@utp.edu.pl

Abstract

The paper presents the results of municipal waste collected from the streets of the cities and villages near Bydgoszcz. The waste was deposited in a heap with a length of 103 m and a height of 5m in Bydgoszcz at the Municipal Services Company. The Landfill was built between 2010 to 2012. The samples were collected from five different depths. A high content of phosphorus was found (average for the collected heap 67.39 mg/g), which indicates proper use of the material in order to provide this particular component to plants. However, due to increased content of the heavy metals (Cu, Pb, Ni, Cr, Mn, Fe) analyzed we can assume that it is contaminated with these elements with different degrees of contamination. Digestibility coefficient (AF) for bearing heavy metals is set in the following order: Zn > Cu > Pb > Mn > Ni > Cr > Fe. A low organic matter content was obtained, which was not correlated with the activity of the enzymes. The greatest variability of the enzymes measured by the coefficient of variation (CV) was obtained for the results of catalase (CV 40.74 %), followed by alkaline phosphatase (CV 18.01%) and acid (CV 15.34%). The enzyme rate calculated pH (0.92-1.18), value of which confirmed the alkalinity of the test method for the potentiometric waste measured in H₂O and KCl .

Keywords: enzymes, heavy metals, waste

Streszczenie

Ocena możliwości wykorzystania odpadu komunalnego o kodzie 20 03 03 na podstawie jego właściwości fizykochemicznych i biochemicznych

W pracy przedstawiono wyniki badań hałdy odpadu komunalnego zebranego z oczyszczania ulic miasta i gminy Bydgoszcz. Odpad został zgromadzony na przysmie o długości 103 m i wysokości 5m w Bydgoszczy na terenie Przedsiębiorstwa Usług Komunalnych. Hałda powstała w latach od 2010 do 2012 roku. Próby pobrano z pięciu głębokości. Stwierdzono wysoką zawartość fosforu przyswajalnego (średnio dla pobranej hałdy 67,39 mg/g), co może sugerować dobre wykorzystanie odpadu w celu dostarczenia tego składnika pokarmowego roślinom. Jednak ze względu na podwyższone całkowite zawartości analizowanych metali ciężkich (Cu, Pb, Ni, Cr, Mn, Fe) możemy uznać, że jest on zanieczyszczony tymi pierwiastkami przy różnym stopniu skażenia. Wartość współczynnika przyswajalności (AF) dla oznaczonych metali ciężkich układała się w następującym szeregu: Zn > Cu > Pb > Mn > Ni > Cr > Fe. Uzyskano niską zawartość materii organicznej, która nie była skorelowana z aktywnością badanych enzymów. Największą zmienność wartości badanych enzymów mierzoną za pomocą współczynnika zmienności (CV) uzyskano dla wyników katalazy (CV 40,74%), następnie fosfatazy alkalicznej (CV 18,01%) oraz kwaśnej (CV 15,34%). Wyliczono enzymatyczny wskaźnik poziomu pH (0,92-1,18), którego wartości potwierdziły alkaliczny odczyn badanego odpadu mierzony metodą potencjometryczną w H₂O i KCl.

Słowa kluczowe: enzymy, metale ciężkie, odpady.

1. Wstęp

Wraz z rozwojem komunikacji i przemysłu następuje intensywny wzrost zanieczyszczenia środowiska poprzez zwiększenie ilości metali ciężkich [1, 2]. Materiał zebrany z oczyszczania ulic miast i gmin, zalicza się do odpadów komunalnych o kodzie 20 03 03 [Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014r. w sprawie katalogu odpadów]. Jest on produktem interakcji materiałów stałych, gazowych i ciekłych. Głównym źródłem odpadów ulicznych są spaliny z silników pojazdów poruszających się po drogach oraz pyły przemysłowe [3]. Ich zawartość jest zróżnicowana w zależności od pogody, aktywności ulicznej, przepływu wody [4]. W jego skład wchodzi minerały występujące powszechnie w glebie jak: kwarc, dolomit i kalcyt, fosforany, wapń, siarczany, fluorki, chlorki, związki azotu, magnez, sód, potas, niewielka domieszka frakcji organicznej ale przede wszystkim węglowodory aromatyczne i metale ciężkie, które ograniczają wykorzystanie odpadów [5]. Ich nadmierna emisja stwarza zagrożenie ze względu na toksyczność dla organizmów żywych [6]. Duża koncentracja metali ciężkich może zmienić funkcje centralnego układu nerwowego, oddechowego jak również zakłócić układ hormonalny [7].

Przedmiotem badań fizykochemicznych i biochemicznych był odpad antropogeniczny, pochodzący z mechanicznego oczyszczania ulic i placów, która jest odpadem należącym do grupy 20 (odpady komunalne łącznie z frakcjami gromadzonymi selektywnie) [8], w celu oceny jego dalszego gospodarczego wykorzystania.

2. Materiał i metody

2.1. Materiał badań

Materiał badawczy wykorzystany do analiz fizyko-chemicznych i biochemicznych stanowił odpad komunalny pochodzący z mechanicznego oczyszczania ulic i placów gminy Bydgoszcz. Zebrany odpad zgromadzony został na hałdzie o długości 103 m i wysokości 5m w Bydgoszczy na terenie Przedsiębiorstwa Usług Komunalnych, która powstała w okresie od 2010 do 2012 roku.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska badanemu odpadowi nadano kod 20 03 03, który opisany jest jako „odpad z czyszczenia ulic i placów” potocznie nazywany zmiotkami [8]. Materiał do badań obejmuje pięć głębokości hałdy (0-20cm, 21-40cm, 41-60cm, 61-80cm, 81-100 cm). Z każdej głębokości pobrano po 10 próbek, z których po homogenizacji wydzielono próbki analityczne.

2.2. Metody badań

Materiał do badań składem mineralogicznym zbliżony jest do gleby [2], dlatego poddano go takim samym procedurom analitycznym. W próbkach pobranych we wrześniu 2013 roku przygotowanych zgodnie z normą [9] oznaczono wybrane parametry fizykochemiczne: skład granulometryczny za pomocą analizatora cząstek Mastersizer 2000, zawartość węgla organicznego (C_{org}) oznaczono metodą Tiurina [10], pH potencjometrycznie w H_2O i w 1M KCl [11], całkowitą zawartość fosforu (P_{og}) metodą Mehta i in. [12], zawartość fosforu przyswajalnego (P_{E-R}) metodą Egnera-Riehma – DL [13].

Dokonano też pomiaru całkowitej zawartości Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Mn i Fe po mineralizacji w mieszaninie kwasów $HF + HClO_4$ metodą Crock i Seversona [14] oraz form łatwo przyswajalnych, ekstrahowanych DTPA, wg Lindsaya i Norvella [15]. Zawartość całkowitą oraz formy mobilne oznaczono przy zastosowaniu metody atomowej spektroskopii absorpcyjnej na spektrometrze PU 9100X (Philips). Do oceny dostępności badanych pierwiastków wykorzystano “wskaźnik przyswajalności” (AF) [16], który wyraża procentowy udział formy przyswajalnego w jego całkowitej zawartości.

Oznaczono również aktywność wybranych enzymów należących do klasy oksydoreduktaz: katalazę (KAT) [E.C. 1.11.1.6] metodą Johnson i Temple [17], oraz hydrolaz: fosfatazę alkaliczną [E.C. 3.1.3.1] (AIP) i kwaśną [E.C. 3.1.3.2] (AcP) metodą Tabatabai i Bremnera [18]. Na podstawie uzyskanych wartości aktywności fosfomonoesteraz obliczono enzymatyczny wskaźnik poziomu pH (AIP/AcP) [19].

2.3. Statystyka

Dla populacji uzyskanych wyników obliczono miarę położenia (średnią arytmetyczną), miary zmienności (odchylenie standardowe - SD, współczynnik zmienności - CV%). Wartość współczynnika zmienności obliczono: $CV = (SD/X) * 100$, gdzie: CV – współczynnik zmienności (%), SD – odchylenie standardowe, X – średnia

arytmetyczna. Wartości 0-15%, 16-35% i > 36% wskazują odpowiednio na niską, umiarkowaną lub dużą zmienność. W pracy przedstawiono średnie arytmetyczne wyników.

W pracy określono wielkość i istotność współczynników korelacji prostej Pearsona między badanymi parametrami wykorzystując program komputerowy Statistica 10,0.

3. Wyniki i dyskusja

Odpady pochodzące z ulic i placów miejskich cechują się dużą różnorodnością strukturalną w grupie, do której należą, co wynika z różnych miejsc ich powstawania [20]. Przeprowadzone badania wykazały, że odpad miał charakter mineralny, który na podstawie składu granulometrycznego [21] sklasyfikowano jako piasek gliniasty bądź słabo gliniasty (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Wybrane właściwości fizyko-chemiczne odpadu komunalnego

Głębokość cm	C _{org}	P _{og}	P _{E-R}	Zawartość frakcji %			pH	
	g/kg		mg/kg	Piasek	Pył	II	H ₂ O	KCl
0-20	0,975	0,312	88,34	85,58	13,40	1,01	7,74	7,64
21-40	1,545	0,303	70,43	87,43	11,71	0,86	7,90	7,60
41-60	1,295	0,283	73,37	86,59	12,51	0,90	8,01	7,66
61-80	0,920	0,208	53,73	82,97	15,66	1,37	8,02	7,70
81-100	1,000	0,195	51,08	83,58	15,05	1,37	8,05	7,79
Średnio	1,147	0,260	67,37	85,23	13,66	1,10	7,94	7,67
SD	0,266	0,054	15,13	1,91	1,66	0,25	0,12	0,07
CV %	23,19	20,76	22,45	2,24	12,20	22,75	1,60	0,94

C_{org} - węgiel organiczny, organic carbon; P_{og} - fosfor ogółem, total phosphorus; P_{E-R} - fosfor przyswajalny, available phosphorus, SD - odchylenie standardowe, standard deviation, CV - współczynnik zmienności,

Odczyn badanych odpadów był obojętny. Wartości wyrażone zarówno w pH H₂O jak i w 1M KCl wahały się bowiem w przedziale od 7,60 do 7,79. Wyliczona wartość współczynnika zmienności (CV) świadczy o niewielkim zróżnicowaniu omawianego parametru. Zazwyczaj gleby zawierające znaczne ilości piasku posiadają odczyn kwaśny lub lekko kwaśny. Można zatem twierdzić, iż alkalizacja omawianego odpadu związana była z obecnością domieszek wapienno-gruzowych, które zaobserwowano podczas pobierania próbek, jak również środków używanych do minimalizacji oblodzeń i zaśnieżeń stosowanych na ulicach w czasie zimy [3].

Zawartość węgla organicznego wahała się w zakresie od 0,920 do 1,545g/kg (Tabela 3.1.), a wartość CV (23,19%) świadczyła o umiarkowanej zmienności analizowanego parametru. Fosfor ogółem w badanej hałdzie odpadów kształtował się w zakresie 0,195-0,312 g/kg (średnio 0,260 g/kg). Wartość współczynnika zmienności (CV) dla P_{og} wynosiła 20,76%, co informuje o umiarkowanej jednorodności tego pierwiastka. Zawartość fosforu przyswajalnego dla roślin mieściła się w zakresie 51,08-88,34 mg/kg (średnio 67,37 mg/kg). Zawartość ta kwalifikuje badany odpad do II klasy o wysokiej zasobności w ten składnik pokarmowy [13]. Stwierdzono umiarkowaną zmienność P_{E-R}. Największą akumulację tej mineralnej frakcji fosforu uzyskano w warstwie 0-20 cm (88,34 mg/kg). Do oceny dostępności fosforu wykorzystano "wskaźnik przyswajalności" (AF), który wyraża procentowy udział fosforu przyswajalnego w jego całkowitej zawartości. Wskaźnik AF dla wszystkich głębokości kształtował się na podobnym poziomie (od 23,24 do 28,31%, przy średniej 25,89%) (Tabela 3.4). Największą wartość AF stwierdzono w poziomie 0-20 cm (28,31%), podobnie jak zawartość P_{E-R}. Xiao i in. [16] podają, że wartość AF poniżej 2% świadczy o bardzo małej przyswajalności tego pierwiastka. Według Sapka i Sapek [22] w pyłach pochodzenia naturalnego i antropogenicznego znajdują się bogate w fosfor aerozole pochodzenia biologicznego. Wszystkie te formy fosforu powracają z atmosfery na Ziemię z opadem mokrym oraz suchym. Stąd przedostaje się on na ulice miast wchodząc w skład zmiotków ulicznych. Obecność wysokiej akumulacji fosforu niekiedy jest czynnikiem ograniczającym pobieranie metali ciężkich przez rośliny, ponieważ wyższa zawartość łatwo rozpuszczalnego fosforu może przekształcić się w trudno rozpuszczalne fosforany np. cynku, kadmu, ołowiu i miedzi.

Zawartość całkowita cynku w analizowanych próbkach glebowych kształtowała się w zakresie od 21,05 do 27,73mg/kg (średnio 24,09mg/kg); miedzi od 54,48 do 78,83mg/kg (średnio 70,79mg/kg); ołowiu od 33,55 do 62,75mg/kg (średnio 49,40mg/kg); niklu od 23,03 do 33,50mg/kg (średnio 29,05mg/kg); chromu od 39,13 do 48,80mg/kg (średnio 43,09mg/kg); manganu od 515,5 do 596,5mg/kg (średnio 557,4mg/kg) i żelaza od 17,65 do

30,25% (średnio 25,59%). Wyliczone współczynniki zmienności dla analizowanych pierwiastków wskazały na niską bądź umiarkowaną zmienność (Tabela 3.2.). Kabata-Pendias i Pendias [23] podają, że średnia akumulacja cynku w powierzchniowych poziomach gleb jest równa 30 mg/kg, zatem stwierdzona zawartość omawianego pierwiastka w badanych próbkach świadczyła o ich niezanieczyszczeniu. Natomiast średnie zawartości pozostałych pierwiastków świadczą o dużej antropopresji. Są wyższe od średnich zawartości występujących w poziomach powierzchniowych gleb Polski [23]. Analizowane próbki można więc zaliczyć do zanieczyszczonych tymi pierwiastkami, przy czym stopnie zanieczyszczenia są różne, w zależności od badanego pierwiastka [24].

Tabela 3.2. Całkowite zawartości wybranych metali ciężkich w odpadzie komunalnym

Głębokość cm	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Mn	Fe
	mg/kg						%
0-20	24,70	78,23	61,65	30,83	44,15	539	27,40
21-40	23,18	67,03	44,90	29,45	42,80	588	27,47
41-60	21,05	54,48	33,55	27,48	40,58	515	17,65
61-80	27,73	75,40	44,15	33,50	48,80	596	30,25
81-100	23,83	78,83	62,75	24,03	39,13	550	25,20
Średnio	24,09	70,79	49,40	29,05	43,09	557	25,59
SD*	2,43	10,26	12,52	3,56	3,73	34,55	4,78
CV %	10,11	14,49	25,35	12,26	8,66	6,19	18,71

*Oznaczenia skrótów znajdują się pod tabelą 3.2.

Zawartości form przyswajalnych przedstawia tabela 3.3. Mobilność i bioprzyswajalność metali ciężkich przez rośliny zależy od formy ich występowania, ale także od odczynu gleby, zawartości substancji organicznej, potencjału oksydo-redukcyjnego, zawartości wodorotlenków żelaza i manganu oraz od interakcji z innymi pierwiastkami. W analizowanych przypadkach tylko odczyn badanych próbek miał istotny wpływ na zawartość form przyswajalnych niektórych metali.

Tabela 3.3. Zawartość form przyswajalnych metali ciężkich w odpadzie komunalnym

Głębokość cm	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Mn	Fe
	mg/kg						%
0-20	12,67	4,07	2,73	0,134	0,049	2,838	25,13
21-40	12,20	5,20	2,84	0,143	0,023	3,361	34,99
41-60	10,57	4,60	3,50	0,219	0,037	7,699	56,27
61-80	15,70	6,76	4,72	0,270	0,054	4,971	49,92
81-100	13,34	5,08	3,06	0,265	0,029	7,651	68,69
Średnio	12,89	5,14	3,37	0,206	0,038	5,304	47,00
SD	1,87	1,00	0,81	0,065	0,013	2,302	17,22
CV %	14,51	19,61	24,04	31,52	34,03	43,41	36,65

Wartość współczynnika przyswajalności (AF) dla oznaczonych metali ciężkich układała się w następującym szeregu: Zn > Cu > Pb > Mn > Ni > Cr > Fe, odpowiednio dla wartości średnich: 53,34% > 7,36% > 7,34% > 0,96% > 0,72% > 0,086% > 0,019% (Tabela 3.4.). Przyswajalność żelaza (AF 0,019%) w porównaniu do cynku (AF 53,34%) kształtowała się na bardzo niskim poziomie, mimo stosunkowo wysokiej wartości Fe_{DTPA} (47%) w porównaniu do Zn_{DTPA} (12,89 mg/kg). Podobną zależność w swoich badaniach uzyskali Diatta i in. [25]. Wyliczony AF dla miedzi, cynku i manganu wskazuje na to, że w badanych próbkach nie stwierdzono deficytu form przyswajalnych tych metali [15]. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że różne gatunki roślin mają różne potrzeby pokarmowe. Określając natomiast dopuszczalne limity cynku, miedzi i niklu pod kątem ich fitotoksyczności stwierdzono, że w przypadku analizowanych pierwiastków nie nastąpiło ich przekroczenie [26].

Tabela 3.4. Współczynniki przyswajalności (AF) dla badanych metali ciężkich i fosforu w odpadzie komunalnym

Głębokość cm	P	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Mn	Fe
	%							
0-20	28,31	51,29	5,20	4,43	0,43	0,11	0,53	0,009
21-40	23,24	52,63	7,76	6,32	0,48	0,05	0,57	0,012
41-60	25,92	50,21	8,44	10,43	0,80	0,09	1,49	0,031
61-80	25,82	56,61	8,96	10,69	0,80	0,11	0,83	0,016
81-100	26,19	55,98	6,44	4,87	1,09	0,07	1,39	0,027
Średnio	25,89	53,34	7,36	7,34	0,72	0,086	0,96	0,019

Pomiary aktywności enzymów mogą pozwolić na monitoring zmian zachodzących pod wpływem naturalnych jak i antropogenicznych czynników. Katalaza jest enzymem biorącym udział w obronie roślin przed skutkami stresu oksydacyjnego, spowodowanymi m.in. dużą zawartością metali ciężkich Lemanowicz i Bartkowiak [27]. Aktywność katalazy mieściła się w zakresie 0,072-0,207 mg H₂O₂/g/h, przy średniej aktywności 0,135 mg H₂O₂/g/h. Zakres ten wskazuje na dużą zmienność wyników. Potwierdzeniem tego był wysoki współczynnik zmienności (CV 40,74%). Najwyższą aktywność badanej oksydoreduktazy stwierdzono w poziomie 21-40 cm zdeponowanej hałdy. Natomiast w poziomie 0-20 cm aktywność była niższa o 63% (Tabela 3.5.). Zdaniem Bartkowiak i Lemanowicz [28] wynika to z narażenia wierzchnich poziomów gleb na dłuższe przesychnanie, co obniża aktywność enzymatyczną, poprzez denaturację białka wchodzącego w skład budowy enzymów.

Fosfataza alkaliczna i kwaśna są enzymami odpowiedzialnymi za przemiany organicznych związków fosforu. Aktywność alkalicznej fosfatazy mieściła się w przedziale 0,932-1,555 mM pNP/kg/h (średnio 1,260 mM pNP/kg/h), natomiast kwaśnej 0,830-1,377 mM pNP/kg/h (średnio 1,160 mM pNP/kg/h) (Tabela 3.5.). Stwierdzono umiarkowaną zmienność badanych enzymów o czym świadczą uzyskane wartości CV (18,01% dla AIP, oraz 15,34% dla AcP). Aktywność alkalicznej fosfomonoesteraz była wyższa 8% w porównaniu do kwaśnej. Miało to związek z zasadowym odczynem badanego odpadu (Tabela 3.1.). Fosfatazy są enzymami wrażliwymi na zmiany pH [19]. Dla porównania zmian pH badanych zmiotków przydatny może być syntetyczny wskaźnik, wyrażający związek pomiędzy aktywnością fosfataz a odczynem gleby. Na podstawie uzyskanych wyników aktywności fosfatazy alkalicznej i kwaśnej wyliczono enzymatyczny wskaźnik poziomu pH (AIP/AcP) [19]. Według autorów tego wskaźnika, jeśli wartość AIP/AcP jest wyższa niż 0,5, to odczyn zasadowy. Wartości AIP/AcP mieściły się w przedziale 0,92-1,18. Potwierdziły to potencjometrycznie badania pH 1 M KCl (Tabela 3.5.).

Tabela 3.5. Aktywność katalazy (CAT), fosfatazy alkalicznej (AIP) i kwaśnej (AcP) oraz wartość AIP/AcP w odpadzie komunalnym

Głębokość cm	CAT mg H ₂ O ₂ /g/h	AIP	AcP	AIP/AcP
		mM pNP/kg/h		
0-20	0,074	1,484	1,320	1,12
21-40	0,202	1,171	1,210	0,97
41-60	0,166	1,483	1,273	1,17
61-80	0,151	1,217	1,132	1,07
81-100	0,083	0,947	0,866	1,09
Średnio	0,135	1,260	1,160	
SD*	0,055	0,227	0,178	
CV %	40,74	18,01	15,34	

Na podstawie przeprowadzonej analizy korelacji uzyskano dodatnią zależność pomiędzy pH KCl, a aktywnością fosfatazy kwaśnej ($r=0,880$, $p<0,05$). Z badań Dicka i in. [19], Bartkowiak i Lemanowicz [28], Wittmanna i in. [29] wynika, że fosfatazy są enzymami wrażliwymi na zmiany odczynu.

Odnotowano dodatni, statystycznie istotny współczynnik korelacji pomiędzy zawartością form przyswajalnych niklu ($r=0,888$, $p<0,05$) i żelaza ($r=0,925$), a kwasowością czynną (Tabela 3.6.).

Nie stwierdzono korelacji pomiędzy zawartością węgla organicznego a aktywnością badanych enzymów.

Tabela 3.6. Współczynniki korelacji prostoliniowej pomiędzy badanymi parametrami ($n=50$; $p<0,05$)

Zmienna		Równanie regresji	r	r^2
Zależna	Niezależna			
pH H ₂ O	Ni _{DTPA}	$y=1,7419x+7,5848$	0,888	0,789
pH H ₂ O	Fe _{DTPA}	$y= 0,0068x+7,622$	0,925	0,855
pH KCl	AcP	$y= -0,3557x+8,0907$	0,880	0,776
C _{org}	Pył	$y= -0,1402x+3,0633$	0,879	0,773
P _{og}	pH KCl	$y= -0,6785x+5,4701$	0,894	0,800
P _{E-R}	Ni _{DTPA}	$y= -0,7881x+0,4227$	0,934	0,874

4. Podsumowanie

Zawartość fosforu przyswajalnego była bardzo wysoka, dlatego można byłoby wykorzystać badany odpad jako źródło tego pierwiastka dla roślin. Jednak ze względu na podwyższone zawartości analizowanych metali ciężkich (Cu, Pb, Ni, Cr, Mn, Fe) badany odpad można uznać jako zanieczyszczony tymi pierwiastkami przy różnym stopniu skażenia. Również niska zawartość próchnicy spowodowała, że badany odpad stanowiący zmiotki uliczne nie dostarczył materii organicznej, przez to również aktywność enzymatyczna odpadu była niska, co ma związek ze słabym uwalnianiem i udostępnianiem substancji mineralnych roślinom. Wstępne badania wybranych właściwości fizykochemicznych wskazują na potrzebę podjęcia dalszych kompleksowych badań w celu zagospodarowania analizowanego odpadu jako "gruntu antropogenicznego".

Literatura

1. Islam Md. S., Tusher T. R., Mustawa M., Mamun S.: Investigation of soil quality and heavy metal concentrations from a waste dumping site of Konabari industrial area at Gazipur in Bangladesh. *Journal Environmental Science, Toxicology Food Technology*, 2 (1), 2012, 1-7
2. Piontek M., Walczak B., Czyżewska W., Lechów H.: Miedź, kadm i cynk w pyłe drogowym miast oraz określenie toksyczności związków tych metali metoda biologiczną, *Kosmos*, 61 (3), 2012, 409-415
3. Wei B., Yaang L. 2010.: A Review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal*, 94, 2010, 99-107
4. Yee Ch.: Road surface pollution and street sweeping. University of California, Berkeley Environmental Sciences, 2005, 1-13
5. Clark C.F., M. Phil Smith M.G.: Chemical characterization and legal classification of sludges from road sweepings. *Water and Environmental Management*, 14, 2000, 99-102
6. Nayana S., Malode S.N.: Municipal solid waste management: a survey and physicochemical analysis of contaminated soil from Sukali Compost and landfill depot, Batkuli Road, Amravati. *Global Journal of bio-Science Biotechnology*, 1(2), 2012, 215-219
7. Zhao H., Li X., Wang X.: Heavy metal contents of road-deposited sediment along the urban-rural gradient around Beijing and its potential contribution to runoff pollution. *Environment Science Technology*, 45, 2011, 7120-7127
8. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014r. w sprawie katalogu odpadów. Dz. U. poz. 1923
9. PN-ISO 11464. 1999. Jakość gleby - Wstępne przygotowanie próbek do badań fizyczno-chemicznych
10. PN-ISO-14235: 2003 Jakość gleby- oznaczanie zawartości węgla organicznego przez utlenienie dwuchromianu potasu (VI) w środowisku kwasu siarkowego (VI).
11. PN-ISO-10390. 1997. Oznaczanie pH gleby.
12. Mehta N.C., Legg J.O., Goring C.A., Black C.A.: Determination of organic phosphorus in soils. *Soil Science Society America, Proceedings*, 44, 1954, 443-449

13. PN-R-04023. 1996. Analiza chemiczno-rolnicza gleby - Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych. Warszawa: Polski Komitet Normalizacji
14. Crock J.G., Severson R.: Four reference soil and rock samples for measuring element availability in the western energy regions. *Geochemical Survey Circular*, 841, 1980, 1-16
15. Lindsay W.L., Norvell W.A.: Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, copper. *Soil Science of Society America Journal*, 43, 1978, 421-428
16. Xiao R, Bai J.H., Gao H.F., Huang L.B., Deng W.: Spatial distribution of phosphorus in marsh soils of a typical land/inland water ecotone along a hydrological gradient. *Catena* 98, 2012, 96–103 DOI: 10.1016/j.catena.2012.06.008
17. Johnson J.I., Temple K.L.: Some variables affecting the measurements of catalase activity in soil. *Soil Science Society of America*, 28, 1964, 207-216.
18. Tabatabai M. A., Bremner J.M.: Use of p-nitrophenol phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 1, 1969, 301-307
19. Dick W.A., Cheng L., Wang P.: Soil acid alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil Biology Biochemistry*, 32, 2000, 1915–1919
20. Sieja L.: Charakterystyka odpadów komunalnych na podstawie badań w wybranych miastach Polski. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*, 40 (1), 2006, 28-33
21. PTG.: Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych PTG 2008. *Roczniki Gleboznawcze*, 60 (2), 2009, 5.-16
22. Sapek A., Sapek B.: Fosfor w opadzie atmosferycznym. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 50, 2011, 122-133.
23. Kabata-Pendias A., Pendias H.: *Trace Elements in Soils and Plants*, 2000. 3rd.ed., CRC Press.
24. Terelak H., Motowicka-Terelak M., Stuczyński T., Pietruch C.: Trace elements (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) in agricultural soils of Poland. *Instytut Ochrony Środowiska*, 2000, *Warszawa*.
25. Diatta J., Grzebisz W., Frąckowiak-Pawlak K., Andrzejewska A., Brzykcy M.: Site-specific evaluation of Cu, Zn, Fe and Mn availability in arable soils. *Zemdirbyste-Agriculture*, 101 (3), 2014, 235–242 DOI: 10.13080/z-a.2014.101.030
26. Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E.: Fitotoksyczne zawartości niektórych metali ciężkich w glebie. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 493, 2003, 167-173
27. Lemanowicz J., Bartkowiak A.: Diagnosis of the content of selected heavy metals in the soils of the Pałuki region against their enzymatic activity. *Archives of Environmental Protection*, 39 (3), 2013, 23-32. DOI: 10.2478/aep-2013-0026
28. Bartkowiak A., Lemanowicz J.: Application of biochemical testes to evaluate the pollution of the Unisław Basin soils with heavy metals. *International Journal of Environmental Research*, 8 (1), 2014, 93-100
29. Wittmann Ch., Kähkönen M.A., Ilvesniemi H., Kurolo J., Salkinoja-Salonen M.S.: Areal activities and stratification of hydrolytic enzymes involved in the biochemical cycles of carbon, nitrogen, sulphur and phosphorus in podsolized boreal forest soils. *Soil Biology Biochemistry*, 36, 2004, 425-433

