

**Agata BARTKOWIAK<sup>1</sup>, Joanna LEMANOWICZ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb, <sup>2</sup>Zakład Biochemii  
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy

## **Metale ciężkie, węgiel i fosfor oraz aktywności katalazy i fosfatazy kwaśnej w glebie pod niekontrolowanym wysypiskiem śmieci**

## **Heavy metals, carbon, phosphorus and the activity of acid catalase and phosphatase in the soil affected by uncontrolled landfill dump**

**Słowa kluczowe:** gleba, wysypisko śmieci, metale ciężkie, enzymy  
**Key words:** soil, waste dump, heavy metals, enzymes

### **Wprowadzenie**

Intensywny rozwój gospodarki oraz wzrost liczby ludności przyczynił się w ostatnich latach do gwałtownego przyrostu odpadów śmieciowych. Jednocześnie pojawił się problem z ich unieszkodliwianiem (Nabulo i in., 2008, Islam i in., 2012). Zgodnie z polityką Unii Europejskiej, dążymy do zmniejszenia i racjonalnego gospodarowania odpadami, jednak w Polsce jest to rozwinięte w znacznie mniejszym zakresie niż w wielu państwach europejskich.

W przypadku składowania niekontrolowanych wysypisk śmieci pojawił się poważny problem związany z ochro-

ną środowiska. W odróżnieniu od uporządkowanych składowisk odpadów komunalnych nie posiadają one wydzielonej strefy ochronnej, jak również nie są zabezpieczone warstwą geomembrany (Guan i in., 2014). Głównie usytuowane są w miejscach nisko położonych w pobliżu lasów, potoków, rzek, jezior, tj. terenów wrażliwych na zanieczyszczenie środowiska. Następuje tam zaburzenie procesów mikrobiologicznych, biochemicznych, właściwości fizycznych i chemicznych gleby (Wided i in., 2014). Rodzaj i ilość deponowanych odpadów, zawarte w nich metale ciężkie, freony, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, związki dioksynopodobne, przenikając w głąb gleby, mają ogromny wpływ na kształtowanie środowiska przyrodniczego (Siebielska i Sidełko, 2000; Bartkowiak i Lemanowicz, 2014).

Celem pracy była ocena podstawowych właściwości fizykochemicznych oraz biochemicznych gleby na niekontrolowanym wysypisku śmieci zlokalizowanym na obrzeżach miasta Bydgoszczy.

## Metodyka badań

Próbki glebowe przygotowano zgodnie z normą PN-ISO 11464 (1999) i oznaczono w nich skład granulometryczny przy użyciu analizatora cząstek Mastersizer 2000, pH potencjometrycznie w 1M KCl (PN-ISO-10390), węgiel organiczny ( $C_{org}$ ) przy użyciu analizatora Primas firmy Skalar, fosfor przyswajalny ( $P_{E-R}$ ) metodą Egnera-Riehma (DL) (PN-ISO-04023), całkowite zawartości Pb i Ni po mineralizacji w mieszaninie kwasów HF + HClO<sub>4</sub> metodą Crocka i Seversona (1980), aktywność katalazy (KAT) [E.C. 1.11.1.6] według metody Johnsona i Temple'a (1964), aktywność fosfatazy kwaśnej [E.C. 3.1.3.2] (AcP) metodą Tabatabai i Bremnera (1969). Na podstawie uzyskanych wyników aktywności badanych enzymów obliczono ich inhibicję:  $I_N = [1 - (A / A_k) - 1] \cdot 100$ , gdzie  $I_N$  – inhibicja enzymu [%],  $A$  – aktywność enzymu w glebie spod wysypiska,  $A_k$  – aktywność enzymu w kontroli (Kucharski i inni, 2009) oraz współczynnik ich odporności ( $RS$ ) według Orwin i Wardle (2004):  $RS = 1 - [2|DO| /$

$/ C0 + |D0|]$ , gdzie:  $D0 = C0 - P0$ ,  $C0$  – aktywność enzymu w glebie kontrolnej,  $P0$  – aktywność w glebie spod wysypiska (zanieczyszczonej). Wartość wskaźnika  $RS$  mieści się w granicach od  $-1$  do  $1$ .

Dla otrzymanych wyników obliczono miary położenia (średnią arytmetyczną i geometryczną, medianę), miary zmienności (odchylenie standardowe –  $SD$ , współczynnik zmienności –  $CV\%$ ), miarę asymetrii (skośność). Wartość współczynnika zmienności obliczono:  $CV = (SD / X) \cdot 100\%$ , 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. Określono wielkość i istotność współczynników korelacji prostej Pearsona między badanymi parametrami, wykonano analizę głównych składowych (Principal Component Analysis PCA) wykorzystując program komputerowy Statistica 10,0.

## Wyniki badań i dyskusja

Odczyn badanych gleb w obrębie niekontrolowanego wysypiska był zróżnicowany (tab. 1), wiązało się to z odmiennym składem chemicznym zdeponowanych odpadów oraz stopniem ich mikrobiologicznego rozkładu. Gleby pobrane spod składowiska cechowały się

TABELA 1. pH gleby, zasolenie ( $EC$ ) [ $mS \cdot cm^{-1}$ ] oraz zawartość frakcji piasku, pyłu i łu [%]

TABLE 1. Soil pH, salinity ( $EC$ ) [ $mS \cdot cm^{-1}$ ] and the content of the sandy, silt and clay fraction [%]

Wartość Value	$pH_{KCl}$		$EC$		Piasek/Sand		Pył/Silt		Ił/Clay	
	$K$	$W$	$K$	$W$	$K$	$W$	$K$	$W$	$K$	$W$
Min.	3,9	4,4	0,201	0,182	79,80	78,94	7,610	8,030	0,80	1,43
Maks.	4,3	6,1	0,249	0,330	90,71	89,99	19,38	20,10	1,77	1,96

\* $K$  – Kontrola/control;  $W$  – Wysypisko/waste dump.

wyższymi wartościami pH (4,4–6,1) niż gleby kontrolne (3,9–4,3) (tab. 1). Podobne wyniki uzyskali Bielińska i Mocalek-Plóćiniak (2009) w badanych przez siebie glebach leśnych.

Zawartość frakcji piasku w analizowanym materiale glebowym wahała się od 79,80 do 90,71% w glebie kontrolnej i od 78,94 do 89,99% w glebie spod wysypiska; pyłu od 7,61 do 19,38% w glebie kontrolnej i od 8,03 do 20,10% w glebie spod wysypiska oraz ilu od 0,80 do 1,77% w glebie kontrolnej i od 1,43 do 1,96% w glebie spod wysypiska (tab. 1). Pozwoliło to zaliczyć badane gleby według kategorii agrotechnicznych do gleb lekkich (PTG, 2009). Oznaczono również przewodnictwo elektryczne (*EC*), które jest definiowane jako zdolność danego materiału do przewodzenia prądu elektrycznego. Większym prze-

wodnictwem elektrycznym (zasoleniem) charakteryzowały się gleby będące bezpośrednio pod wpływem niekontrolowanego wysypiska śmieci.

Zawartość węgla organicznego w glebach pobranych z terenu wysypiska (0,74–10,27 mg·kg<sup>-1</sup>) była większa o 79% niż w glebach poza strefą jego oddziaływania. Było to efektem dopływu do środowiska glebowego świeżej substancji organicznej zawartej w części zdeponowanych odpadów (tab. 2). Współczynnik zmienności (*CV*) wskazywał na dużą zmienność badanego parametru. Akumulacja fosforu przyswajalnego w glebie pobranej spod składowiska śmieci wynosiła średnio 20,98 mg·kg<sup>-1</sup> i według normy PN-R-04023 (1996) była bardzo mała. Jednak w porównaniu do punktu kontrolnego (10,00 mg·kg<sup>-1</sup>), na wysypisku nastąpi-

TABELA 2. Parametry statystyczne zawartości węgla organicznego [g·kg<sup>-1</sup>], fosforu przyswajalnego [mg·kg<sup>-1</sup>] oraz ołowiu [mg·kg<sup>-1</sup>] i niklu [mg·kg<sup>-1</sup>] w glebie kontrolnej (*K*) oraz spod wysypiska (*W*)  
TABLE 2. Statistical parameters of the content of the organic carbon [g·kg<sup>-1</sup>], available phosphorus [mg·kg<sup>-1</sup>], lead [mg·kg<sup>-1</sup>] and nickel [mg·kg<sup>-1</sup>] in control soil (*K*) and under the waste dump (*W*)

Parametr Parameter	Węgiel organiczny Organic carbon		Fosfor przyswajalny Available phosphorus		Ołów Lead		Nikiel Nickel	
	<i>K</i>	<i>W</i>	<i>K</i>	<i>W</i>	<i>K</i>	<i>W</i>	<i>K</i>	<i>W</i>
Liczba próbek/ /Number of samples ( <i>n</i> )	6	12	6	12	6	12	6	12
Minimum/Min	0,99	0,74	7,29	8,65	4,24	2,56	1,56	1,79
Maksimum/Max	4,90	10,27	12,51	39,70	13,34	39,11	4,65	6,19
Średnia/Mean	2,62	4,70	10,00	20,98	9,16	12,11	3,03	3,91
Średnia geometryczna/ /Geometric mean	2,32	3,15	9,81	18,65	8,60	8,54	2,84	3,69
Mediana/Median	2,62	4,54	10,14	17,87	9,35	8,44	2,69	3,85
<i>SD</i>	1,35	3,58	2,11	10,70	3,27	11,94	1,15	1,34
<i>CV</i> [%]	51,6	76,23	21,16	51,00	35,67	98,56	38,00	34,36
Wariancja/Variance	1,83	12,86	1,83	114,50	10,69	142,60	1,32	1,81
Skośność/Skewness	0,77	0,27	-0,16	0,79	-0,34	1,78	0,43	0,30
Zwiększenie/Increase [%]	79		110		32		29	

\**SD* – odchylenie standardowe/standard deviation; *CV* – współczynnik zmienności/coefficient of variation.

ło zwiększenie fosforu przyswajalnego. Pomimo że próbki gleb spod wysypiska pobrano z niewielkiej powierzchni, zawartość w niej fosforu przyswajalnego wykazuje duże zróżnicowanie ( $CV = 51,00\%$ ) ( $8,65\text{--}39,70 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), co było związane z różnorodnym składem morfologicznym zdeponowanych odpadów. Wartość mediany (17,87) wykazała, że większość wyników jest mniejsza od średniej, a dodatnia wartość skośności (0,79) potwierdza również asymetrię prawoskrętną (tab. 2).

Zanieczyszczenia gleb na obszarze badań, szczególnie w powierzchniowych poziomach (0–20 cm) było głównie pochodzenia antropogenicznego (Bartkowiak i Lemanowicz, 2014). Nabulo i inni (2008) stwierdzili, że nagromadzenie metali ciężkich w powierzchniowym poziomie gleb jest ściśle skorelowane z funkcjonowaniem miejsc nielegalnego deponowania odpadów. W badanych próbkach glebowych narażonych na oddziaływanie wysypiska wysoką koncentracją charakteryzował się ołów (maks.  $39,11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) przy średniej  $12,11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  i wysokim współczynnikiem zmienności ( $CV 98,56\%$ ), a niższą koncentrację maks. nikiel (maks.  $6,19 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) przy średniej  $3,91 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  i umiarkowanym współczynnikiem zmienności ( $CV 34,36\%$ ). Wartości mediany w przypadku ołowiu (8,44) oraz niklu (3,85) wskazują, że większość wyników była mniejsza od średniej, co zostało również potwierdzone statystycznie (dodatnie współczynniki asymetrii dla ołowiu 1,78 i niklu 0,30) – tabela 2. Przytoczone wartości oznaczonych metali ciężkich w świetle obowiązujących norm i przepisów prawnych (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 paździer-

nika 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. Dz.U. z 2002 r. nr 165, poz. 1359) oraz według Kabaty-Pendias i Piotrowskiej (1995) pozwoliły zaliczyć badane gleby do niezanieczyszczonych.

Aktywność katalazy i fosfatazy kwaśnej w glebie spod nielegalnego wysypiska uległa inhibicji odpowiednio o 26 i 46% w porównaniu do gleby kontrolnej (tab. 3). Stwierdzono duże zróżnicowanie aktywności badanych enzymów w glebie narażonej na antropopresję, czego potwierdzeniem były wysokie współczynniki zmienności ( $CV 79,24\%$  dla *CAT* i  $CV 71,40\%$  dla *AcP*). Pomiar aktywności enzymów pozwolił zarejestrować zmiany specyficznych zdolności kompleksu glebowego zachodzące pod wpływem czynników zarówno naturalnych, jak i antropogenicznych (Bielńska i Mocek-Płóćniak, 2009; Bartkowiak i Lemanowicz, 2014; Lemanowicz 2014), dlatego coraz częściej wykorzystuje się parametry biochemiczne w bioindykacji zanieczyszczeń. Większość wyników aktywności katalazy ( $1,62\text{--}29,12 \mu\text{M H}_2\text{O}_2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) i fosfatazy kwaśnej ( $0,32\text{--}2,58 \text{ mM pNP}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) była mniejsza od ich wartości średnich, co wykazały dodatnie współczynniki asymetrii i mediana (tab. 3).

Zmiany aktywności badanych enzymów glebowych indukowanych przez odpady zostały potwierdzone przez wartości współczynnika odporności – *RS* (tab. 3). Jest to skuteczny (obiektywny) indeks reakcji enzymatycznych na stres środowiskowy. Większą wartość współczynnika *RS* uzyskano dla katalazy (0,58). Współczynnik *RS* dla fosfatazy wynosił on 0,37. Według Orwin i Wardle'a (2004) większe wartości *RS*

TABELA 3. Parametry statystyczne aktywności katalazy [ $\mu\text{M H}_2\text{O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ] oraz fosfatazy kwaśnej [ $\text{mM pNP} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ] w glebie kontrolnej (K) oraz spod wysypiska (W)  
 TABLE 3. Statistical parameters of the activity catalase [ $\mu\text{M H}_2\text{O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ] and acid phosphatase [ $\text{mM pNP} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ] in control soil (K) and under the waste dump (W)

Parametr Parameter	Katalaza Catalase		Fosfataza kwaśna Acid phosphatase	
	K	W	K	W
Liczba próbek/ /Number of samples ( <i>n</i> )	6	12	6	12
Minimum/Min	7,01	1,62	1,03	0,32
Maksimum/Max	26,42	29,12	3,17	2,58
Średnia/Mean	15,72	11,54	2,03	1,10
Średnia geometryczna/ /Geometric mean	14,08	8,09	1,86	0,86
Mediana/Median	12,13	10,24	1,89	0,97
<i>SD</i>	8,10	9,15	0,92	0,79
<i>CV</i> [%]	51,52	79,24	45,34	71,40
Wariancja/Variance	65,63	83,75	0,85	0,62
Skośność/Skewness	0,71	0,89	0,36	0,90
<i>I<sub>N</sub></i> [%]	26		46	
<i>RS</i>	0,58		0,37	

\**SD* – odchylenie standardowe/standard deviation; *CV* – współczynnik zmienności/coefficient of variation; *I<sub>N</sub>* – współczynnik inhibicji/inhibition factor, *RS* – współczynnik odporności/resistance factor.

wskazują, że zakłócenia miały niewielki wpływ (maksymalna odporność). Katalaza okazała się enzymem bardziej odpornym na zakłócenia środowiska glebowego w próbkach pobranych spod zdeponowanego odpadu, co zostało również potwierdzone niższym współczynnikiem inhibicji (*I<sub>N</sub>* 26%) w porównaniu do fosfatazy kwaśnej (*I<sub>N</sub>* 46%).

Wartości współczynników korelacji badanych parametrów glebowych przedstawiono w tabeli 4. Zawartość węgla organicznego była dodatnio skorelowana zarówno z fosforem przyswajalnym ( $r = 0,609$ ), ołowiem ( $r = 0,732$ ) i niklem ( $r = 0,827$ ), jak i z aktywnością katalazy ( $r = 0,773$ ) oraz kwaśnej fosfatazy ( $r = 0,863$ ). Potwierdza to fakt że materia organiczna chroni enzymy przed niekorzystnymi czynnikami, przedłużając tym samym okres ich aktywności (Silva

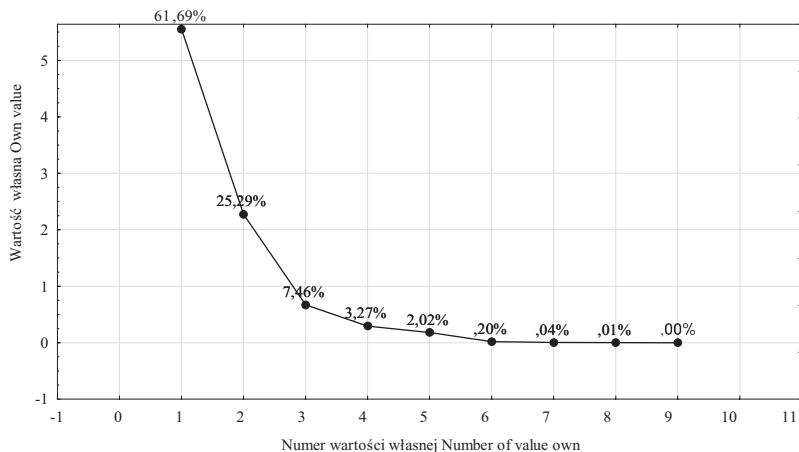
i Fay, 2012) i jest podstawowym adsorbentem metali ciężkich w warunkach kwaśnego odczynu (Bartkowiak i Lemanowicz, 2014).

Analiza głównych składowych (PCA) umożliwiła uporządkowanie badanych cech fizykochemicznych i biochemicznych charakteryzujących zmienność gleby pobranej spod niekontrolowanego wysypiska. Wykres osypiska przedstawiony na rysunku 1 potwierdza istotności dwóch pierwszych składowych (czynników), a tym samym pozwala na redukcję dziewięciowymiarowej przestrzeni do dwóch składowych, które łącznie wyjaśniają 86,98% ogólnej wariancji. Ze względu na fakt, że badane właściwości gleb poddanych analizie były wyrażone w różnych jednostkach, składowe główne obliczono z wykorzystaniem macierzy korelacji. Wszystkie

TABELA 4. Współczynniki korelacji prostoliniowej między badanymi parametrami ( $p < 0,05$ )  
 TABLE 4. Coefficient of linear correlation between parameters soil ( $p < 0.05$ )

Zmienne Variables		Równanie regresji Regression equation	$r$	$r^2$
zależna dependent	niezależna independent			
Kontrola Controle (n = 6)				
$P_{E-R}$	$C_{org}$	$y = 1,443x + 6,223$	0,922	0,850
$AcP$	$C_{org}$	$y = 0,613x + 0,424$	0,901	0,811
$Pb$	$C_{org}$	$y = 2,260x + 3,238$	0,936	0,876
$AcP$	$P_{E-R}$	$y = 0,427x - 2,248$	0,983	0,966
Śmieci Waste dump (n = 12)				
$P$	$C_{org}$	$y = 1,819x + 12,42$	0,609	0,371
$CAT$	$C_{org}$	$y = 1,973x + 2,262$	0,773	0,598
$AcP$	$C_{org}$	$y = 0,189x + 0,211$	0,863	0,745
$Pb$	$C_{org}$	$y = 2,439x + 0,643$	0,732	0,536
$Ni$	$C_{org}$	$y = 0,310x + 2,453$	0,827	0,684
$AcP$	$P_{E-R}$	$y = 0,059x - 0,14$	0,805	0,647
$CAT$	$P_{E-R}$	$y = 0,648x - 2,056$	0,758	0,574
$Ni$	$AcP$	$y = 0,382x - 0,392$	0,652	0,425
$EC$	$pH_{KCl}$	$y = 0,092x - 0,246$	0,920	0,846
$EC$	$Pb$	$v = 18,17x - 79,30$	0,843	0,712

$C_{org}$  – węgiel organiczny/organic carbon;  $P_{E-R}$  – fosfor przyswajalny/available phosphorus;  $AcP$  – fosfataza kwaśna/acid phosphatase;  $AcP$  – fosfataza kwaśna/acid phosphatase,  $EC$  – zasolenie/salinity

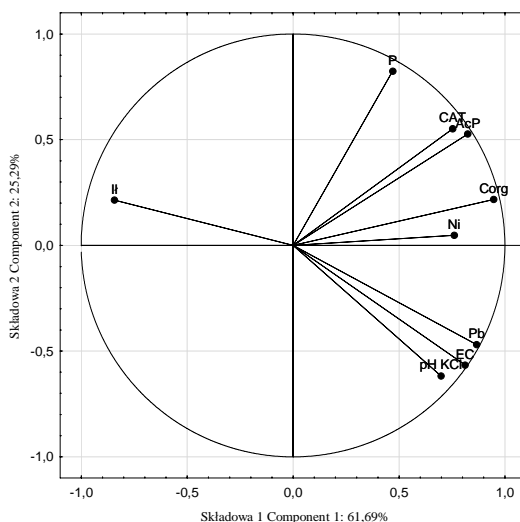


RYSUNEK 1. Wartości własnych macierzy korelacji (ospypiska) przedstawiający udział poszczególnych składowych w wyjaśnieniu wariancji ogólnej

FIGURE 1. Values of own correlation matrices (scree) demonstrating the share of respective components to explain the general variance

analizowane parametry zgrupowane są po jednej stronie osi czynnika 1 (składowej 1, PC1), która wyjaśnia 61,69% ogólnej wariancji. Najsilniej związana jest z zawartością węgla organicznego ( $r = 0,946$ ), ołowiu ( $r = 0,866$ ) i niklu ( $r = 0,759$ ), aktywnością katalazy ( $r = 0,752$ ), i fosfatazy kwaśnej ( $r = 0,824$ ), zasoleniem gleby ( $r = 0,811$ ), oraz ujemnie skorelowana frakcją ilastą ( $r =$

$-0,844$ ), (rys. 2, tab. 5), przy czym im dłuższy wektor wewnątrz koła, tym zależność ze składową PC1 jest większa. Na wartość drugiej składowej (PC2), wyjaśniającej 25,29% wariancji, wpływa dodatnio tylko zawartość fosforu przyswajalnego ( $r = 0,823$ ) – tabela 5. Cechy statystycznie istotnie skorelowane z PC1 i PC2 mają największą moc dyskryminacyjną.



RYSUNEK 2. Konfiguracja zmiennych w układzie dwóch pierwszych osi składowych głównych (B)  
 FIGURE 2. Configuration of variables in the system of the first two axes of principal components (B)

TABELA 5. Ładunki czynnikowe dla pierwszych dwóch składowych analizowanych właściwości  
 TABLE 5. Values of the first three extracted factor loadings for the studied properties

Zmienna Variable	Składowa 1 Component 1	Składowa 2 Component 2
$C_{org}$	0,946	0,217
$P_{E-R}$	0,469	0,823
$Pb$	0,866	-0,468
$Ni$	0,759	0,047
$CAT$	0,752	0,551
$AcP$	0,824	0,526
$EC$	0,811	-0,565
$pH_{KCl}$	0,698	-0,617
$Il$	-0,844	0,214
Wyjaśniona wariancja Explained variation [%]	61,68	25,29

## Wnioski

1. Składowisko nielegalnych odpadów przyczyniło się do zmian właściwości fizykochemicznych i biochemicznych gleby. Stwierdzono podwyższoną zawartość węgla organicznego i fosforu przyswajalnego.

2. Odpady składowane na terenie badanego wysypiska nie wpłynęły znacząco na zanieczyszczenie gleb ołowiem i niklem. Stwierdzona ilość metali ciężkich w próbkach glebowych kwalifikuje je do kategorii gleb o naturalnej zawartości.

3. W glebie spod deponowanego odpadu stwierdzono inhibicję katalazy i fosfatazy kwaśnej, przy czym katalaza okazała się bardziej odporna na zakłócenia środowiska glebowego. Dlatego enzymy te można wykorzystać w bioindykacji zanieczyszczeń gleby.

4. Przeprowadzona analiza składowych głównych (PCA) wykazała, że aktywność katalazy i kwaśnej fosfatazy oraz zawartość ołowiu i niklu były najbardziej związane z zawartością węgla organicznego.

5. Badania wskazują na konieczność kontynuowania kompleksowych badań gleb w zasięgu oddziaływania niekontrolowanych wysypisk.

## Literatura

- Bartkowiak, A. i Lemanowicz, J. (2014). Fosfor i metale ciężkie w glebach pod wpływem niekontrolowanych wysypisk śmieci. *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*, 64, 185-194.
- Bielińska, E.J. i Mocek-Płociniak, A. (2009). Impact of uncontrolled waste dumping on soil chemical and biochemical properties. *Archives Environmental Protection*, 35(3), 101-107.
- Crock, J.G. i Severson, R. (1980). Four reference soil and rock samples for measuring element availability in the western energy regions. *Geological Survey Circular*, 841, 1-16.
- Guan, S.P., Yu, Z.H. i Zhong, S. (2014). Leak Marking Scheme for Construction Quality Testing of Geomembrane liners in Landfills. *Journal Environmental Research*, 8(2), 447-452.
- Islam, M.S., Tusher, T.R., Mustawa, M. i Mamun, S. (2012). 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), 1-7.
- Johnson, J.I. i Temple, K.L. (1964). Some variables affecting the measurements of catalase activity in soil. *Soil Science Society America*, 28, 207-216.
- Kabata-Pendias, A. i Piotrowska, M. (1995). *Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie, siarka i WWA*. Warszawa: Biblioteka Monitoringu Środowiska.
- Kucharski, J., Boros, E. i Wyszowska, J. (2009). Biochemical activity of nickel-contaminated soil. *Polish Journal Environmental Studies*, 18(6), 1039-1044.
- Lemanowicz, J. (2014). Aktywność fosfataz i zawartość fosforu w glebach leśnych rdzawych podlegające oddziaływaniu Zakładów Azotowych ANWIL S.A. *Ekologia i Technika*, 5, 281-286.
- Nabulo, G., Oryem Origa, H., Nasinyama, G.W. i Cole, D. (2008). Assessment of Zn, Cu, Pb and Ni contamination in wetland soils and plants in the Lake Victoria basin. *International Journal Environmental Science Technology*, 5(1), 65-74.
- Orwin, K.H. i Wardle, D.A. (2004). New indices for quantifying the resistance and resilience of soil biota to exogenous disturbances. *Soil Biology Biochemistry*, 36, 190-1920.
- PN-R-04023. (1996). *Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych*.
- PN-ISO-10390. (1997). *Oznaczanie pH gleby*.



- PN-ISO 11464. (1999). Jakość gleby. *Wstępne przygotowanie próbek do badań fizyczno-chemicznych*.
- PTG. (2009). Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008. *Roczniki Gleboznawcze*, 60(2), 5-16.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. (Dz.U. 2002 r. nr 165, poz. 1359).
- Siebielska, I. i Sidelko, R. (2003). Migracja węglowodorów aromatycznych w obrębie składowiska odpadów komunalnych. *Ekologia i Technika*, 11(5), 19-31.
- Silva, C.M.M.S. i Fay, E.F. (2012). Effect of salinity on soil microorganisms. W: Soil health and land use management, Maria C. Hernandez Soriano (red.). In Tech. Pobrano z lokalizacji: <http://www.intechopen.com/books/soil-health-and-land-usemanagement/Effect-of-salinity-on-soil-microorganisms>.
- Tabatabai, M.A. i Bremner, J.M. (1969). Use of p-nitrophenol phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology Biochemistry*, 1, 301-307.
- Wided, O.S., Chabane, A., Ikbel, Z., Foued, H. i Brahim, H. (2014). Impact of municipal rubbish dumps on major soil nutrients in north of Tunisia. *International Research Journal Environmental Science*, 3(2), 59-69.

## Streszczenie

**Metale ciężkie, węgiel i fosfor oraz aktywności katalazy i fosfatazy kwaśnej w glebie pod niekontrolowanym wysypiskiem śmieci.** Przedstawione badania dotyczyły oddziaływania niekontrolowanego wysypiska śmieci na zawartość węgla organicznego, fosforu przyswajalnego, ołowiu i niklu oraz aktywność katalazy i fosfatazy kwaśnej w glebie. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej (w programie Statistica 10,0), która posłużyła do oceny zagrożenia wynikającej z nielegalnego deponowania odpadów na obrzeżach miasta Bydgoszczy. Stwierdzono, że odpady składowane na tere-

nie badanego wysypiska nie wpłynęły znacząco na zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi, jednak ich podwyższona zawartość w porównaniu do kontroli spowodowała obniżenie aktywności badanych enzymów, z których katalaza, na podstawie obliczonego współczynnika odporności (RS 0,580), okazała się być bardziej odporna na stres środowiskowy niż fosfataza kwaśna (RS 0,372).

## Summary

**Heavy metals, carbon, phosphorus and the activity of acid catalase and phosphatase in the soil affected by uncontrolled landfill dump.** The research presented concerned the effect of uncontrolled landfill site on the content of organic carbon, available phosphorus, lead and nickel as well as the activity of catalase and acid phosphatase in soil. The results were exposed to the statistical analysis (applying Statistica 10.0 software), which will facilitate the evaluation of the threat resulting from illegal waste deposition on the outskirts of the city of Bydgoszcz. It was found that waste dumped at the landfill site investigated did not have a considerable effect on pollution with heavy metals, however their increased content, as compared with the control, decreased the activity of the enzymes in which catalase, based on the calculated resistance coefficient (RS 0.580), turned out to be more resistant to environmental stress than acid phosphatase (RS 0.372).

### Author's address:

Agata Bartkowiak  
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy  
w Bydgoszczy  
Wydział Rolnictwa i Biotechnologii,  
Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb  
ul. Bernardyńska 6, 85-129 Bydgoszcz, Poland  
e-mail: bartkowiak@utp.edu.pl