



## Content of selected macronutrients and heavy metals and the activity of phosphomonoesterases in soil affected by illegal dumping sites

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

<sup>1</sup> Sub-Department Biochemistry, Faculty of Agriculture and Biotechnology, University of Science and Technology in Bydgoszcz, tel.: 52 37409505, e-mail: [jl09@interia.pl](mailto:jl09@interia.pl)

<sup>2</sup> Department of Soil Science and Soil Protection, Faculty of Agriculture and Biotechnology, University of Science and Technology in Bydgoszcz, tel.: 52 3749526, e-mail: [bartkowiak@utp.edu.pl](mailto:bartkowiak@utp.edu.pl)

### Abstract

The present research aimed at assessing the influence of uncontrolled landfill site on changes in the content of carbon, phosphorus, potassium, magnesium, zinc and copper and the activity of alkaline and acid phosphatase. Soil was sampled from horizon: 0-20 cm in the south-eastern part of the city of Bydgoszcz in the area of the Piaski residential area (central Poland, the Kuyavian and Pomeranian Province). The samples were collected directly under an illegally deposited landfill site. The control point was located far from the determined waste landfill sites and beyond the range of their effect. In the soil from the landfill there was observed a higher phosphorus, potassium and magnesium content. The soils analyzed, based on the content of the heavy metals, were classified as enriched in those metals. It was found that the waste dumped at the landfill site had a considerable effect on the inhibition of the enzymes in which alkaline phosphatase, based on the calculated resistance coefficient ( $RS=0.497$ ), turned out to be more resistant to environmental stress than acid phosphatase ( $RS=0.402$ ). Statistical analysis of simple correlations showed clearly that organic matter was particularly implicated in the activity of alkaline and acid phosphatase and the content of zinc. The significantly negative correlation between the content of clay content and the content of zinc and copper was also found.

**Keywords:** soil, macronutrients, heavy metals, uncontrolled waste

### Streszczenie

Zawartość wybranych makroskładników i metali ciężkich oraz aktywność fosfomonoesteraz w glebie poddanej oddziaływaniu niekontrolowanego wysypiska odpadów

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu niekontrolowanego wysypiska odpadów na zmiany zawartości węgla, fosforu, potasu, magnezu, cynku i miedzi oraz aktywności fosfatazy alkalicznej i kwaśnej. Glebę pobrano z głębokości 0-20 cm z północno-wschodniej części Bydgoszczy, dzielnicy Piaski (centralna Polska, woj. kujawsko-pomorskie). Próby pobrano spod nielegalnie składowanego wysypiska odpadów. Punkt kontrolny (K) usytuowany była poza oddziaływaniem wysypiska. W glebie spod niekontrolowanego wysypiska stwierdzono większą zawartość węgla organicznego, fosforu, potasu oraz magnezu w porównaniu do kontroli. Zawartość analizowanych metali ciężkich pozwoliła zakwalifikować badane próbki glebowe do gleb o podwyższonej zawartości tychże metali. Stwierdzono, że składowane odpady miały znaczny wpływ na inhibicję fosfomonoesteraz, przy czym fosfataza alkaliczna, w oparciu o współczynnik oporności ( $RS=0,497$ ), okazała się być bardziej odporna na oddziaływanie środowiska, niż kwaśna fosfataza ( $RS=0,402$ ). Analiza korelacji wykazała, że materia organiczna była szczególnie powiązana z aktywnością fosfatazy alkalicznej i kwaśnej oraz zawartości cynku. Stwierdzono również istotnie ujemną korelację pomiędzy zawartością frakcji ilastej, a zawartością cynku i miedzi.

**Słowa kluczowe:** gleba, makroskładniki, metale ciężkie, niekontrolowane odpady

## 1. Wstęp

Niekontrolowane wysypiska odpadów nadal spotykane są w obrębie żyznych gleb uprawnych, na użytkach zielonych, na terenie lasów, a także w miejscach przyrodniczo i prawnie chronionych. Można je również spotkać na obszarach dużych miast w pozbawionych dozoru miejscach [1, 2]. Przy czym często, dla złożenia odpadów celowo wybierane są miejsca stanowiące naturalne lub sztuczne zagłębienia terenu, co w znacznym stopniu ułatwia kontakt odpadów z płytka zalegającym poziomem wody gruntowej lub wody gromadzącej się w czasie opadów atmosferycznych. Duże zagrożenie ze strony tego rodzaju obiektów wynika również z faktu, iż pozostawiane są w ich obrębie odpady problemowe powstające bądź to w czasie zdarzeń szczególnych, sporadycznie powtarzających się (remonty mieszkań, przeprowadzki, zakup nowego sprzętu domowego) lub też w sytuacji, gdy dany rodzaj powstałego odpadu choć posiada ustalony system zbiórki i unieszkodliwiania, to jest on często w stopniu niewystarczającym rozpowszechniony i dostępny. Przykładowo do takich odpadów zaliczyć można np.: baterie, akumulatory oraz opakowania po farbach, rozpuszczalnikach, środkach farmakologicznych, środkach owadobójczych i wiele innych. Dane z literatury dowodzą, że pilną i ważną sprawą są działania mające na celu uporządkowanie gospodarki odpadami, w tym likwidację niekontrolowanych wysypisk oraz niedopuszczanie do ich ponownego powstawania. Wysypiska te przyczyniają się bowiem do niekorzystnego rozszerzenia stosunku C:N w powierzchniowych poziomach gleb [3], wzrostu liczebności w glebie promieniowców, bakterii i grzybów [4], wprowadzania do gleb składników szkodliwych jakimi są metale ciężkie [5] oraz obniżają walory krajobrazowo-estetyczne danego terenu [3].

Celem pracy była ocena akumulacji wybranych makroskładników (węgiel, fosfor, potas i magnez) i metali ciężkich (cynk i miedź) oraz aktywności fosfatazowej powierzchniowej warstwy gleby w następstwie oddziaływania niekontrolowanego wysypiska odpadów.

## 2. Materiał i metody

Badaniami objęto glebę pobraną w drugiej dekadzie września 2014 r. spod niekontrolowanego wysypiska odpadów powstałego cztery lata wcześniej. Wysypisko usytuowane jest na terenie kompleksu lasów sosnowych dzielnicy Piaski położonej w północno-zachodniej części Bydgoszczy (woj. kujawsko-pomorskie). Obiekt pod względem morfologicznym był zróżnicowany, gdyż zlokalizowano tam odpady z tworzywa sztucznego i aluminium, materiały remontowo-budowlane, odpady organiczne pochodzące z gospodarstw domowych, zużyty sprzęt AGD. Na podstawie składu morfologicznego wysypisko zakwalifikowano do I, III i IV klasy wg Mizgajskiego i Łankiewicza [6]. Według podziału Kurnickiego i Mularza [7] było to wysypisko punktowe zajmujące około 65 m<sup>2</sup>. Próby pobrano przy użyciu laski glebowej Egnera ze środkowej części wysypiska (W) z głębokości: 0–20 cm. Z tej samej głębokości pobrano próbki z miejsca nie będącego pod wpływem oddziaływania nielegalnego wysypiska odpadów (kontrola K). Łącznie analizie poddano 26 próbek.

Próbki glebowe przygotowano zgodnie z normą [8] i oznaczono w nich: odczyn pH potencjometrycznie w 0,01M CaCl<sub>2</sub> [9], kwasowość hydrolityczną (Hh) metodą Kappena [10], węgiel organiczny (Corg) za pomocą analizatora TOCN FORMACTS<sup>TM</sup> firmy Skalar, oraz przyswajalne: fosfor (P) wg [11], potas (K) wg [12] i magnez (Mg) wg [13], a także całkowite zawartości Zn i Cu po mineralizacji w mieszaninie kwasów HF i HClO<sub>4</sub> metodą Crock'a i Severson'a [14] oraz aktywność fosfatazy alkalicznej (ALP) i kwaśnej (AcP) metodą Tabatabai i Bremnera [15].

Na podstawie uzyskanych wyników aktywności badanych fosfomonoesteraz obliczono ich inhibicję (I<sub>N</sub>) na podstawie wzoru [16]

$$I_N = [(A_w/A_k) - 1] * 100\% \quad (2.1)$$

gdzie: I<sub>N</sub> – inhibicja enzymu [%], A<sub>w</sub> – aktywność enzymu w glebie spod wysypiska, A<sub>k</sub> – aktywność enzymu w kontroli

oraz współczynnik ich odporności (RS) według Orwin i Wardle [17]

$$RS = 1 - [2|A|/(A_k+|A|)] \quad (2.2)$$

gdzie: A = A<sub>k</sub> - A<sub>w</sub>, A<sub>k</sub> – aktywność enzymu w glebie kontrolnej, A<sub>w</sub> – aktywność enzymu w glebie spod wysypiska (zanieczyszczonej). Wartość wskaźnika RS mieści się w granicach od -1 do 1.

Dla otrzymanych wyników obliczono miary położenia (średnią arytmetyczną), miary zmienności (odchylenie standardowe – SD, współczynnik zmienności – CV%). Wartość współczynnika zmienności obliczono ze wzoru

$$CV = (SD/X)*100\% \quad (2.3)$$

gdzie: CV – współczynnik zmienności (%), SD – odchylenie standardowe, X – średnia arytmetyczna.

Wartości współczynnika CV z zakresu 0-15%, 16-35% i >36% wskazują odpowiednio na niską, umiarkowaną lub dużą zmienność. Wszystkie oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach.

Ponadto w pracy określono wielkość i istotność współczynników korelacji prostej Personna między badanymi parametrami, a w celu oceny związku między nimi w warunkach glebowych wykonano analizę głównych składowych (Principal Component Analysis PCA) wykorzystując program komputerowy Statistica 10,0.

### 3. Wyniki i dyskusja

Próbki glebowe pobrane z powierzchniowych poziomów gleb kompleksu leśnego zawierały niewielkie zawartości frakcji ilastej (tab. 3.1) i w związku z tym zakwalifikowano je do grupy granulometrycznej piasków. Oznaczona kwasowość wymienna i hydrolityczna pozwoliła określić odczyn analizowanych gleb, który znajdował się w zakresie od silnie kwaśnego do słabo kwaśnego [18].

Tabela 3.1. Odczyn pH gleby, kwasowość hydrolityczna (Hh) oraz zawartość frakcji ilastej [%]

	pH CaCl2		Hh		H Clay	
	K	W	K	W	K	W
Minimum Min	3,82	4,32	2,33	0,83	0,80	1,43
Maksimum Max	4,16	6,27	7,98	2,13	1,77	2,00

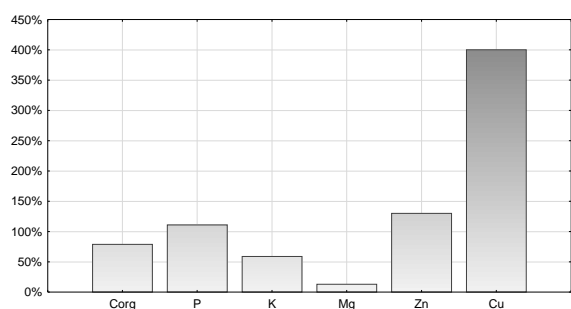
\*K – Kontrola, Controle; W – Odpady, Waste

Zawartość węgla organicznego dla próbek kontrolnych mieściła się w przedziale od 0,761 do 3,772 g/kg (średnia 2,017 g/kg), natomiast dla próbek pobranych spod deponowanego wysypiska od 0,566 do 7,900 g/kg (przy średniej 3,618 g/kg) (tab. 3.2). Obliczone dla tego parametru współczynniki zmienności zarówno dla gleb kontrolnych jak i będących pod wpływem oddziaływania wysypiska mieściły się w zakresie dużej zmienności (CV>36%). Zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie spod wysypiska mogło być spowodowane punktowym nagromadzeniem odpadów organicznych. Podobne wyniki uzyskali Meller i in. [2], którzy stwierdzili, że działalność bytowa człowieka jest źródłem niehomogenicznych odpadów, w których znaczny udział stanowi materia organiczna rzutuująca na poprawę zawartości węgla organicznego. Zawartość fosforu przyswajalnego w glebie spod wysypiska mieściła się w przedziale 8,568-39,61 mg/kg (przy średniej zawartości 20,95 mg/kg). Według normy [11] była to zawartość bardzo niska (V klasa zasobności). Akumulacja potasu (67,11 mg/kg) i magnezu (38,47 mg/kg) w powierzchniowej warstwie gleb pod odpadami była niska. Według Malinowskiego i in. [19] gleby lekkie przy dużej przepuszczalności wodnej, sprzyjają wymywaniu składników pokarmowych. W glebie spod nielegalnie deponowanego wysypiska nastąpiło zwiększenie fosforu o 111%, potasu o 59% i magnezu o 13% (rys. 3.1). Współczynnik zmienności obliczony dla zawartości przyswajalnych form fosforu (CV=51,02%), potasu (CV=47,27%) i magnezu (CV=39,54%) mieścił się w zakresie dużej zmienności (CV>36%) zgodnie z klasyfikacją podaną przez Wildinga [20]. Prawdopodobnie było to związane z morfologią odpadów, które stanowiły materiał heterogeniczny i wielofazowy [21].

Tabela 3.2. Parametry statystyczne zawartości wybranych makroskładników: węgla organicznego Corg [g/kg], przyswajalnych fosforu P [mg/kg], potasu K [mg/kg] i magnezu Mg [mg/kg] w glebie kontrolnej (K) oraz spod wysypiska (W)

Parametr Parameter	Węgiel organiczny Organic carbon		Fosfor Phosphorus		Potas Potassium		Magnez Magnesium	
	K	W	K	W	K	W	K	W
Liczba próbek (n)	10	16	10	16	10	16	10	16
Minimum Min	0,761	0,566	7,20	8,568	35,55	36,62	26,92	26,07
Maksimum Max	3,772	7,900	12,42	39,61	49,00	121,7	41,29	72,68
Średnia Mean	2,017	3,618	9,917	20,95	42,24	67,11	34,13	38,47
Mediana Median	2,019	3,492	10,05	17,97	42,12	48,44	34,17	34,64
SD	1,041	2,856	2,118	10,69	5,971	31,72	5,939	15,21
CV [%]	51,63	76,23	21,23	51,02	14,13	47,27	17,39	39,54
Wariancja Variance	1,084	7,610	4,487	114,3	35,66	1006	35,27	231,4

Analiza rozkładu wykazała, że większość wyników dotycząca gleby spod wysypiska jest niższa od wartości średniej, czego potwierdzeniem jest niższa wartość mediany od wartości średniej, dla poszczególnych makroskładników (tab. 3.2).



Rys. 3.1. Procentowy wzrost zawartości badanych pierwiastków w glebie spod wysypiska w odniesieniu do gleby kontrolnej

Zawartość form całkowitych cynku w próbkach glebowych pobranych spod wysypiska wahała się od 9,85 do 71,04 mg/kg, natomiast miedzi od 0,659 do 42,26 mg/kg (tab. 3.3). Nastąpiło tu zwiększenie zawartości cynku o 129%, oraz zwiększenie zawartości miedzi aż o 400% w porównaniu do próbek kontrolnych (rys. 3.1).

Tabela 3.3. Parametry statystyczne zawartości wybranych metali ciężkich: cynku Zn [mg/kg] i miedzi Cu [mg/kg] oraz aktywności fosfatazy alkalicznej i kwaśnej [mM pNP/kg/h] w glebie kontrolnej (K) oraz spod wysypiska (W)

Parametr Parameter	Cynk Zinc		Miedź Cooper		Fosfataza Phosphatase			
					Alkaliczna alkaline		Kwaśna Acid	
	K	W	K	W	K	W	K	W
Liczba próbek (n)	10	16	10	16	10	16	10	16
Minimum Min	9,98	9,85	0,890	0,659	0,854	0,219	1,027	0,311
Maksimum Max	15,75	71,04	4,060	42,26	1,622	1,750	3,174	2,780
Średnia Mean	12,93	29,73	1,946	7,796	1,300	0,863	2,033	1,165
Mediana Median	13,07	26,69	1,735	1,034	1,417	0,867	1,892	1,052
SD	2,410	18,71	1,165	15,31	0,352	0,560	0,922	0,837
CV [%]	18,64	62,92	59,84	196,4	27,08	64,88	45,34	71,89
Wariancja Variance	5,812	349,9	1,357	234,4	0,123	0,314	0,850	0,702

Współczynnik zmienności obliczony dla zawartości form całkowitych cynku (CV=62,92%) oraz miedzi (CV=196,4%) wskazał dużą zmienność badanych parametrów (tab. 3.3). W świetle Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby i jakości ziemi [22] przytoczone dane są charakterystyczne dla terenów grupy B. Natomiast według wartości granicznych zaproponowanych przez Kabatę-Pendias i in. [23] gleby o takiej zawartości cynku i miedzi są zaliczane do gleb o podwyższonej zawartości tychże metali (I°zanieczyszczenia). Aktywność fosfatazy alkalicznej w glebie spod niekontrolowanego składowiska mieściła się w przedziale 0,219-1,750 mM pNP/kg/h (przy średniej aktywności 0,863 mM pNP/kg/h) i była niższa o 22% od aktywności fosfatazy kwaśnej (1,165 mM pNP/kg/h średnio). Było to związane z kwaśnym odczynem gleby (tab. 3.1). Fosfomonoesterazy są enzymami najbardziej wrażliwymi na zmiany odczynu gleby, przy czym fosfataza alkaliczna zwykle dominuje w glebach zasadowych (pH=8-10), a kwaśny odczyn jest optymalny dla fosfatazy kwaśnej (pH=4-6).

Zmiany aktywności badanych fosfomonoesteraz kształtowane przez nielegalnie deponowane odpady zostały potwierdzone przez wartości współczynników inhibicji ( $I_N$ ) oraz odporności (RS) (tab. 3.4). Są to obiektywne indeksy wskazujące na reakcję enzymów na stres środowiskowy. Większą wartość współczynnika RS uzyskano dla fosfatazy alkalicznej (0,497), natomiast dla fosfatazy kwaśnej wynosił RS=0,402. Według Orwin i Wardle [17] niższe wartości RS wskazują, że zakłócenia miały duży wpływ (mniejsza odporność). Fosfataza alkaliczna okazała się enzymem bardziej odpornym na zakłócenia środowiska glebowego spowodowane nielegalnym deponowaniem odpadów, co zostało również potwierdzone niższym współczynnikiem inhibicji ( $I_N=-33,6\%$ ) w porównaniu do fosfatazy kwaśnej ( $I_N=-42,69\%$ ).

Tabela 3.4. Wartość współczynnika inhibicji ( $I_N$ ) oraz odporności (RS) fosfatazy alkalicznej i kwaśnej

	Fosfataza alkaliczna Alkaline phosphatase	Fosfataza kwaśna Acid phosphatase
$I_N$ [%]	-33,62	-42,69
RS	0,497	0,402

Wartości współczynników korelacji badanych parametrów glebowych przedstawiono w tabeli 3.5. Na podstawie przeprowadzonej analizy korelacji stwierdzono, istotne dodatnie zależności pomiędzy węglem organicznym, a zawartością form całkowitych cynku ( $r=0,829$ ;  $p<0,05$ ) oraz miedzi ( $r=0,976$ ;  $p<0,05$ ) w glebie kontrolnej. Podobną zależność pomiędzy cynkiem a węglem organicznym odnotowano w próbkach pobranych spod wysypiska ( **$r=0,796$ ;  $p<0,05$** ). Kabata-Pendias i Pendias [24] potwierdzają, że w warunkach kwaśnego odczynu to właśnie materia organiczna jest podstawowym adsorbentem metali ciężkich. Poza materią organiczną duży wpływ na wiązanie metali ciężkich w glebach ma skład granulometryczny, który wraz z nią kształtuje właściwości sorpcyjne gleby. W próbkach pobranych spod wysypisk stwierdzono istotną ujemną korelację pomiędzy frakcją ilastą a zawartością cynku ( $r=-0,812$ ;  $p<0,05$ ) i miedzi ( $r=-0,795$ ;  $p<0,05$ ).

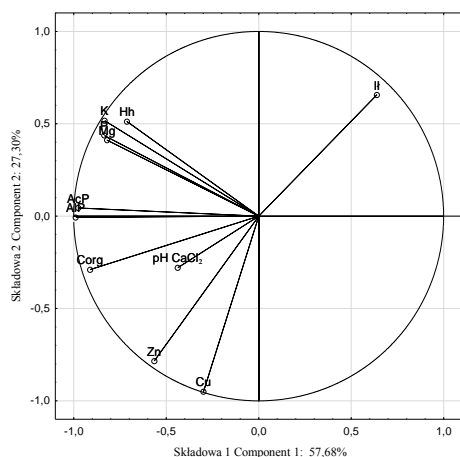
Tabela 3.5. Współczynniki korelacji prostoliniowej pomiędzy badanymi parametrami ( $p<0,05$ )

Zmienne Variables		Równanie regresji Equation	r	r <sup>2</sup>
Zależna Dependent	Niezależna Independent			
Kontrola Controle (n=10)				
Zn	Corg	$y=1,902x+9,09$	0,829	0,675
Cu	Corg	$y=1,091x-0,255$	0,976	0,952
P	AcP	$y=2,258x+5,32$	0,983	0,966
pH CaCl <sub>2</sub>	P	$y=-0,064x+4,59$	-0,912	0,833
Odpady Waste (n=12)				
Corg	AIP	$y=4,526x-0,289$	0,919	0,845
Corg	AcP	$y=3,024x+0,283$	0,863	0,745
Hh	AcP	$y=0,464x+0,917$	0,654	0,427
P	AIP	$y=15,23x+7,809$	0,798	0,636
P	AcP	$y=10,92x+8,916$	0,804	0,646
Zn	AIP	$y=19,46x+12,93$	0,582	0,339
Zn	Corg	$y=5,398x+10,19$	0,796	0,633
Ił Clay	Zn	$y=-0,006x+2,015$	-0,812	0,659
Ił Clay	Cu	$y=-0,01x+1,839$	-0,795	0,632

Corg – węgiel organiczny, organic carbon; Zn – cynk, zinc; Cu – miedź, cooper; P – fosfor, phosphorus; Hh – kwasowość hydrolytyczna, hydrolytic acidity; Ił – zawartość frakcji ilastej, content of clay fraction; AIP – fosfataza alkaliczna, alkaline phosphatase; AcP – fosfataza kwaśna, acid phosphatase

W glebie pobranej spod nielegalnie deponowanych odpadów zawartość węgla organicznego była dodatnio skorelowana zarówno z aktywnością alkaliczną ( $r=0,919$ ;  $p<0,05$ ) jak i kwaśnej fosfatazy ( $r=0,863$ ;  $p<0,05$ ), co potwierdza fakt że materia organiczna chroni enzymy przed niekorzystnymi czynnikami przedłużając tym samym okres ich aktywności [25]. Stwierdzono również dodatnią istotną korelację pomiędzy całkowitą zawartością cynku a aktywnością fosfatazy alkalicznej ( $r=0,528$ ;  $p<0,05$ ) w glebie. Zwykle metale ciężkie hamują aktywność enzymatyczną, ale w małych stężeniach mogą ją stymulować. W niniejszych badaniach może mieć to również związek z zawartością cynku w glebie uznawaną za dopuszczalną. Wykazano dodatnią korelację pomiędzy zawartością przyswajalnego fosforu, a aktywnością fosfataz. Również Gianfreda i in. [26] wskazali na ścisłą współzależność pomiędzy aktywnością fosfataz i zawartością fosforu – wysoka aktywność badanych fosfataz powiązana była z wielokrotnie większą niż w glebach obiektów kontrolnych zawartością fosforu. Interpretacja tego zjawiska jest złożona ze względu na możliwość długotrwałego występowania w glebie enzymów zewnątrzkomórkowych w połączeniach z koloidami glebowymi. Wiadomo, że dla fosfomonoesteraz, do których należy fosfataza, substratem są związki fosforoorganiczne występujące w glebie. W glebie kontrolnej fosfor był ujemnie skorelowany z odczynem gleby ( $r=-0,912$ ;  $p<0,05$ ). Przy niskim pH część fosforu tworzy trudno rozpuszczalne związki z jonami Fe, Al i Mn powodując wyłączenie tego pierwiastka z obiegu biologicznego. Analiza głównych składowych (PCA) umożliwiła uporządkowanie badanych cech fizykochemicznych i aktywności fosfataz charakteryzujących zmienność gleby pobranej spod niekontrolowanego wysypiska (rys. 3.2).

Analiza PCA pozwoliła na redukcję 11-sto wymiarowej przestrzeni do dwóch składowych (czynników) PC1 i PC2, potwierdzając ich istotność. Składowe główne PC1 i PC2 łącznie wyjaśniły około 90% ogólnej wariancji. Badane właściwości gleb wzięte do analizy były wyrażone w różnych jednostkach, dlatego składowe główne obliczono z wykorzystaniem macierzy korelacji. Siedem z jedenastu analizowanych parametrów zgrupowano po jednej stronie osi czynnika1 (składowej 1, PC1), który może być ogólnie utożsamiany z antropogenicznym wpływem na środowisko glebowe (wyjaśnia 57,68% ogólnej wariancji).



Rys. 3.2. Konfiguracja zmiennych w układzie dwóch pierwszych osi składowych głównych PC1 i PC2

Wartość pierwszej składowej (PC1) najsilniej ujemnie związana jest z aktywnością fosfatazy alkalicznej ( $r=-0,990$ ) i kwaśnej ( $r=-0,975$ ), zawartością węgla organicznego ( $r=-0,912$ ), fosforu ( $r=-0,835$ ), potasu ( $r=-0,834$ ) i magnezu ( $r=-0,819$ ), co przedstawiono w tabeli 3.6. Natomiast na wartość drugiej składowej (PC2), wyjaśniającej 27,30% wariancji, najsilniej wpływa ujemnie tylko zawartość miedzi ( $r=-0,949$ ) i cynku ( $r=-0,785$ ), zaś słabiej węgla organicznego ( $r=-0,289$ ) oraz odczynu pH ( $r=-0,28$ ). Cechy statystycznie istotnie skorelowane z PC1 i PC2 mają największą moc dyskryminacyjną.

Tabela 3.6. Ładunki czynnikowe dla pierwszych dwóch składowych analizowanych właściwości

Zmienna Variable	Składowa 1 Component 1	Składowa 2 Component 2
Corg	-0,912	-0,289
P	-0,835	0,436
K	-0,834	0,517
Mg	-0,819	0,411
Zn	-0,565	-0,785
Cu	-0,298	-0,949
AlP	-0,990	-0,006
AcP	-0,975	0,043
pH CaCl <sub>2</sub>	-0,438	-0,280
Hh	-0,711	0,511
H clay	0,638	0,656
Udział Part [%]	57,68	27,30

#### 4. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza dotycząca wpływu oddziaływania na glebę nielegalnie składowanych odpadów w kompleksie lasów sosnowych dzielnicy Piaski w Bydgoszczy pozwoliła na wyciągnięcie wniosków końcowych:

- 1) Badania potwierdziły zwiększenie zawartości fosforu, potasu i magnezu w glebie, przy bardzo niskiej lub niskiej ich akumulacji oraz zwiększenie zawartości węgla organicznego w porównaniu do gleby kontrolnej.
- 2) Powierzchniowy poziom badanej gleby na tle gleby kontrolnej wykazywał podwyższenie ilości cynku i miedzi, nieprzekraczające jednak zawartości uznawanych za dopuszczalne.

- 3) Nagromadzone odpady powodowały inhibicję badanych fosfomonoesteraz, przy czym fosfataza alkaliczna była enzymem bardziej odpornym na stres środowiskowy.
- 4) Powszechne występowanie niekontrolowanych wysypisk odpadów jest przejawem braku odpowiedzialności społeczeństwa za stan środowiska przyrodniczego.

## Bibliografia

1. Terek K.: Higiena Komunalna. Służba bliska człowiekowi. cz 1. Przegląd Komunalny, 10 (193), 2007, 54–57.
2. Meller E., Niedźwiecki E., Protasowicki M., Malinowski R., Sammel A., Jarnuszewski G.: Wpływ niekontrolowanych wysypisk odpadów na niektóre chemiczne właściwości gleb organicznych oraz mineralnych wytworzonych z glin i ilów w województwie zachodniopomorskim. *Soil Science Annual*, 62 (2), 2012, 36–41. (DOI: 10.2478/v10239-012-0022-3).
3. Zabłocki A., Podlasińska J., Kruczek I.: Wpływ nielegalnych wysypisk odpadów na niektóre właściwości gleb na terenie gminy Kobyłanka. *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis. Agricultura, Alimentaria, Piscaria et Zootechnica*, 283 (17), 2011, 51–66
4. Niedźwiecki E., Nowak A., Nowak J., Kłódka D., Meller E., Smolik B.: Oddziaływanie niekontrolowanych wysypisk odpadów na właściwości chemiczne oraz aktywność mikrobiologiczną gleby. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, 501, 2004, 325–334.
5. Niedźwiecki E., Meller E., Malinowski R., Sammel A.: Zanieczyszczenie środowiska glebowego metalami ciężkimi przez niekontrolowane wysypiska odpadów. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 31, 2007, 126–130.
6. Mizgajski A., Łankiewicz E.: Dzikie wysypiska odpadów – diagnoza problemu na przykładzie Poznania. *Przegląd Komunalny*, 10 (193), 2007, 34–35.
7. Kurnicki R., Mularz S.C.: Dzikie wysypiska w komputerze. *Aura*, 11, 1998, 23–25.
8. PN-ISO 11464. 1999: Jakość gleby – Wstępne przygotowanie próbek do badań fizyczno-chemicznych. Polski Komitet Normalizacji, Warszawa 1999.
9. PN-ISO-10390. 1997: Oznaczanie pH gleby. Polski Komitet Normalizacji, Warszawa 1997.
10. Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z.: Metody analiz i oceny właściwości gleb i roślin – katalog. Wydawnictwo IOŚ, Warszawa 1991.
11. PN-R-04023. 1996. Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych. Polski Komitet Normalizacji, Warszawa 1996.
12. PN-R-04022. 1996. Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Oznaczanie zawartości przyswajalnego potasu w glebach mineralnych. Polski Komitet Normalizacji, Warszawa 1996.
13. PN-R-04020. 1994: Analiza chemiczno-rolnicza gleby – Oznaczanie zawartości przyswajalnego magnezu. Polski Komitet Normalizacji, Warszawa 1994.
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. Tabatabai M.A., Bremner, J.M.: Use of p-nitrophenol phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology Biochemistry*, 1969, 1, 301–307.
16. Kucharski J., Boros E., Wyszowska J.: Biochemical activity of nickel-contaminated soil. *Polish Journal Environmental Studies*, 18 (6), 2009, 1039–1044.
17. Orwin K.H., Wardle D.A.: New indices for quantifying the resistance and resilience of soil biota to exogenous disturbances. *Soil Biology Biochemistry*, 36, 2004, 1907–1912.
18. Klasyfikacja gleb leśnych Polski. Centrum Informatyczne Lasów Państwowych, Warszawa 2000.

19. Malinowski R., Niedźwiecki E., Meller E., Sammel A., Wojcieszczuk M., Jarnuszewski G.: Kształtowanie się niektórych właściwości chemicznych gleb piaszczystych pod wpływem oddziaływania niekontrolowanych wysypisk odpadów w województwie zachodniopomorskim. *Roczniki Gleboznawcze*, 63 (2), 2012, 31–35.
  20. Wilding LP.: Spatial variability: its documentation, accommodation, and implication to soil surveys. W: *Soil spatial variability*. Nielsen DR, Bouma J, editors. Wageningen: Pudoc; 1985, 166–194.
  21. Szymański K.: Związki ołowiu i chromu w środowisku naturalnym i odpadach. *Annual Set Environment Protection*, 11, 2009, 173–181.
  22. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz. U. nr 165, poz. 1359: 10560–10564).
  23. Kabata-Pendias A., Pendias H.: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
  24. Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T.: Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi i siarką. *Ramowe wytyczne dla rolnictwa*. IUNG Puławy, seria P(53), 1993, 22.
  25. Silva C.M.M.S, Fay E.F.: Effect of salinity on soil microorganisms. In: *Soil health and land use management*, Dr. Maria C. Hernandez Soriano (Ed.), In Tech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/soil-health-and-land-usemanagement/effect-of-salinity-on-soil-microorganisms>, 2012.
  26. Gianfreda L., Antonietta R.M., Piotrowska A., Palumbo G., Colombo C.: Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution. *Science Total Environmental* 341, 2005, 265–279.
-