

## ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SOILS IN URBAN ALLOTMENTS

### Summary

The aim of the study was to characterize soils in the allotments in respect of trace elements content and chemical activity. The research covered allotments situated in the city centre and in areas under the strong pressure of an anthropogenic factor (near industrial plants and/or busy roads) and also in the outskirts of the city where the physiographic conditions are similar but the level of possible anthropogenic pollution is lower. The degree of heavy metal pollution in the examined soils and the increase in enzymatic activity were assessed. The results indicate the local effect of the anthropogenic factor pressure. Negative correlations have been observed between the contents of zinc, lead and copper in the soil and the activity of the examined enzymes. High enzymatic inactivation of the soils affected by anthropogenic factors (city centre) means that the level of heavy metal pollution is so high that it poses a threat to living organisms.

## CHARAKTERYSTYKA EKOLOGICZNA GLEB OGRODÓW DZIAŁKOWYCH Z TERENÓW ZURBANIZOWANYCH \*

### Streszczenie

Celem pracy była charakterystyka gleb ogrodów działkowych w zakresie zawartości pierwiastków śladowych oraz aktywności enzymatycznej. Badaniami objęto jednocześnie ogrody zlokalizowane w strefie śródmiejskiej, na terenach będących pod silną presją czynnika antropogenicznego (w pobliżu zakładów przemysłowych i/lub uczęszczanych szlaków komunikacyjnych) oraz na obszarach peryferyjnych miast, o podobnych warunkach fizjograficznych, lecz o potencjalnie niskim poziomie skażenia antropogenicznego. Ocena stopnia zanieczyszczenia badanych gleb metalami ciężkimi oraz nasilenia aktywności enzymów (dehydrogenaz, fosfataz, ureazy i proteazy) wykazała miejscowe oddziaływanie presji czynnika antropogenicznego. Stwierdzono ujemną korelację pomiędzy zawartością cynku, ołowiu i miedzi w glebach a aktywnością badanych enzymów. Wysoka inaktywacja enzymatyczna gleb podlegających silnym wpływom antropogenicznym (strefy śródmiejskie) wskazuje, że obciążenie środowiska glebowego metalami ciężkimi osiągnęło poziom, który zagraża organizmom żywym.

### Wstęp

Tereny zurbanizowane obejmują swym zasięgiem strefy śródmiejskie oraz obszary peryferyjne miast, w których przeważa czynnik naturalny nad antropogenicznym – zaliczane do obszarów przejściowych [10]. Układy ekologiczne ekosystemów zurbanizowanych nie są jeszcze dobrze poznane. Badania dotyczące ekologii terenów zurbanizowanych zostały uznane za priorytetowe przez Międzynarodową Organizację Ekologów (INTECOL) [10].

Znaczny procent warzyw i owoców spożywanych przez ludność miejską pochodzi z ogródków działkowych [20]. Ogrody działkowe w miarę rozwoju zabudowy miast znalazły się w ich centrach i zasięgu oddziaływań źródeł emisji różnych substancji szkodliwych, w tym metali ciężkich [20]. Zwiększona zawartość pierwiastków śladowych w glebach jest jednym ze wskaźników zanieczyszczenia tego środowiska [5]. Rośliny wyższe mogą kumulować pierwiastki śladowe bez jakichkolwiek symptomów toksyczności do poziomu zagrażającego zdrowiu człowieka [16].

Jakość gleby wpływa na warunki egzystencji wszystkich organizmów żywych, w tym człowieka. Jakość ta obejmuje nie tylko zdolności gleby do produkcji plonów, ale również bezpieczeństwo żywności oraz zdrowie zwierząt i ludzi [19]. Na jakość gleby składają się jej właściwości chemiczne, fizyczne oraz czynnik biologiczny (aktywność biologiczna). Wskaźnikiem aktywności biologicznej

gleb jest aktywność enzymatyczna obejmująca stan metaboliczny wszystkich organizmów żyjących w glebie [11, 12].

Zmiany aktywności enzymatycznej gleb są najwcześniejszym sygnałem zmian intensywności procesów życiowych w środowisku, co wynika z tego, że wiele związków chemicznych nabiera cech toksycznych lub mutagennych po metabolicznych przekształceniach zachodzących w organizmach żywych [7].

Celem pracy była charakterystyka gleb ogrodów działkowych z terenów zurbanizowanych w zakresie zawartości pierwiastków śladowych oraz aktywności enzymatycznej.

### Materiał i metody

Badaniami porównawczymi objęto gleby dziesięciu ponad 30-letnich ogrodów zlokalizowanych w strefie śródmiejskiej, na terenach będących pod presją skażeń antropogenicznych oraz na obszarach peryferyjnych miast, o podobnych warunkach fizjograficznych, lecz nie poddanych bezpośredniemu oddziaływaniu czynnika antropogenicznego: a) potencjalnie wysokie zagrożenie skażeniem antropogenicznym – Biała Podlaska 1, Kraków 1, Lublin 1, Miasteczko Śląskie 1, Zabrze 1; b) potencjalnie niski poziom skażenia antropogenicznego (ogrody usytuowane na peryferiach miast) – Biała Podlaska 2, Kraków 2, Miasteczko Śląskie 2, Lublin 2, Zabrze 2. Na terenie każdego z 10 wytypowanych ogrodów wybrano po jednej reprezentatywnej działce.

Gleby badanych obiektów różniły się składem granulometrycznym: piaski słabo gliniaste – Miasteczko Śląskie 1,

\* Praca wykonana w ramach projektu 3 P06 S 012 24.

Miasteczko Śląskie 2; piaski gliniaste mocne – Kraków 1, Kraków 2, Zabrze1, Zabrze 2; gliny lekkie silnie spiazszone – Biała Podlaska 1, Biała Podlaska 2, Lublin 1, Lublin 2.

Próbki glebowe z wybranych działek pobrano we wrześniu 2005 roku z poziomu próchnicznego. Analizowana próbka glebowa była średnią z 5 próbek pobranych z każdego ogródka. W próbkach glebowych oznaczono aktywność enzymów: dehydrogenaz [18], fosfataz [17], ureazy [21] i proteazy [9]; odczyn – pH w 1 mol·dm<sup>-3</sup> KCl (ISO 10390); węgiel organiczny (ISO 14235); azot ogółem (ISO 13878); pierwiastki śladowe (Zn, Pb, Cd, Cu) rozpuszczalne w 20% HCl metodą ASA. Wszystkie oznaczenia wykonywano w trzech powtórzeniach.

Różnice między średnimi sprawdzono testem „t”, a istotność wyników – metodą analizy wariancji. Obliczono również współczynniki korelacji pomiędzy zawartością metali ciężkich w glebach i aktywnością badanych enzymów.

## Wyniki i dyskusja

W glebach badanych ogrodów działkowych stwierdzono duże zróżnicowanie zawartości pierwiastków śladowych (tab. 1), co wiązało się ze stopniem narażenia gleb na skażenia antropogeniczne. Najbardziej zanieczyszczone metalami ciężkimi były gleby pochodzące z obszaru Górnego Śląska (Miasteczko Śląskie, Zabrze). Czarnowska [2] wyróżnia na terenach miejskich gleby zanieczyszczone metalami ciężkimi oraz gleby silnie zanieczyszczone metalami ciężkimi. Gleby zanieczyszczone metalami ciężkimi zawierają w mg·kg<sup>-1</sup> s.m.: cynku – 200-1000, ołowiu i miedzi – 20-50, kadmu 2-3, a gleby silnie zanieczyszczone tymi metalami zawierają: cynku – ponad 1000, miedzi i ołowiu powyżej 200 i kadmu – powyżej 3 mg·kg<sup>-1</sup> gleby. Z danych zamieszczonych w tabeli 1 wynika, że do gleb silnie zanieczyszczonych Zn, Pb i Cd można zaliczyć gleby ogródków w Miasteczku Śląskim i w Zabrzu. W przypadku działki usytuowanej w odległości 50 m od huty cynku i ołowiu w Miasteczku Śląskim (Miasteczko Śląskie 1) zwraca uwagę ekstremalnie wysoka zawartość Cd w glebie, wynoszące aż 89,2 mg·kg<sup>-1</sup>, a także Zn (6570 mg·kg<sup>-1</sup>) i Pb (1919 mg·kg<sup>-1</sup>). Warto podkreślić, że kadm jest tym metalem, który najłatwiej gromadzi się w tkankach roślin, włączając się w ten sposób do łańcucha troficznego. Również cynk łatwo kumuluje się w roślinach. Kadm, obok ołowiu, cechuje zdolność do kumulacji w organizmie ludzkim, długi okres biologicznego półtrwania i związana z tym chroniczna toksyczność [16]. Najmniejszą zawartością Zn, Pb i Cd – według Czarnowskiej [2] na poziomie tła geochemicznego cechowały się gleby ogrodów działkowych w Białej Podlaskiej oraz na peryferiach Krakowa (Kraków 2) i Lublina (Lublin 2).

Zawartość miedzi w badanych glebach wahała się od 5,5 do 69,4 mg·kg<sup>-1</sup> i wg skali Czarnowskiej koncentracja tego pierwiastka osiągnęła wartość zanieczyszczenia w glebach następujących działek: Kraków 1, Lublin 1, Miasteczko Śląskie 1, 2 i Zabrze 1 (tab. 1).

Oceniając stopień zanieczyszczenia gleb cynkiem, ołowiem, kadmem i miedzią zgodnie z kryteriami zaproponowanymi przez Kabatę-Pendias i in. [8] można stwierdzić, że badane gleby charakteryzowały się odmienną kumulacją metali ciężkich wskazującą na pięć klas ich zawartości (tab. 2): naturalną zawartość (stopień 0), podwyższoną zawartość (stopień I), słabe zanieczyszczenie (stopień II), średnie zanieczyszczenie (stopień III), silne zanieczyszczenie (stopień

IV), bardzo silne zanieczyszczenie (stopień V). W glebach ogrodów usytuowanych w pobliżu zakładów przemysłowych zawartość badanych metali ciężkich była kilkakrotnie większa niż w glebach z działek położonych na peryferiach miast. Na przykład na terenie Miasteczka Śląskiego koncentracja Cd, Zn, Pb i Cu w glebie działki zlokalizowanej w najbliższym sąsiedztwie huty (50 m) była większa, odpowiednio około: 13-, 8-, 5- i 2-krotnie niż w glebie działki położonej w odległości 300 m od źródła emisji. Świadczy to o miejscowej presji czynnika antropogenicznego.

Tab. 1. Zawartość pierwiastków śladowych rozpuszczalnych w 20% HCl (mg·kg<sup>-1</sup>)

Table 1. Trace elements soluble in 20% HCl (mg·kg<sup>-1</sup>)

Miejscowość Nr	Zn	Pb	Cd	Cu
Biała Podlaska 1	73	21	1,2	15,7
Biała Podlaska 2	34	15	1,0	5,5
Kraków 1	206	65	2,1	27,1
Kraków 2	144	43	1,8	14,3
Lublin 1	227	40	1,4	32,3
Lublin 2	74	17	1,3	14,5
Miasteczko Śląskie 1	6570	1919	89,2	69,4
Miasteczko Śląskie 2	759	347	6,9	36,1
Zabrze 1	643	318	3,9	46,2
Zabrze 2	315	207	3,1	15,9

Tab. 2. Klasy zanieczyszczenia gleb wg Kabaty-Pendias i in. [1993]

Table 2. Soil contamination classes by Kabata-Pendias et al. [1993]

Miejscowość Nr	Zn	Pb	Cd	Cu
Biała Podlaska 1	0	0	I	0
Biała Podlaska 2	0	0	0	0
Kraków 1	I	I	I	I
Kraków 2	I	0	I	0
Lublin 1	I	0	I	I
Lublin 2	0	0	I	0
Miasteczko Śląskie 1	V	III	V	II
Miasteczko Śląskie 2	III	II	IV	I
Zabrze 1	III	II	III	I
Zabrze 2	II	I	II	0

0, I, II, III, IV, V – klasy zanieczyszczenia gleb; soil contamination classes

Przeprowadzone badania wykazały wysoką inaktywację badanych enzymów w glebach na terenach będących pod silną presją czynnika antropogenicznego (tab. 3). Aktywność wszystkich analizowanych enzymów w glebach ogrodów działkowych usytuowanych na peryferiach miast była kilkakrotnie większa niż w glebach ogródków położonych w pobliżu zakładów przemysłowych lub ruchliwych ulic. Najmniejszą aktywnością enzymatyczną cechowały się gleby pochodzące z obszaru Górnego Śląska (Miasteczko Śląskie, Zabrze). Obserwowana reakcja enzymów wyrażona znaczącym osłabieniem ich aktywności w glebach stref śródmiejskich powiązana była z zanieczyszczeniem środowiska glebowego metalami ciężkimi (tab. 1). Na podstawie analizy korelacji wykazano odwrotny liniowy związek pomiędzy zawartością cynku, ołowiu i miedzi w glebach a aktywnością badanych enzymów (tab. 5). Wyniki te wskazują, że stopień zanieczyszczenia metalami ciężkimi gleb

ogrodów działkowych położonych w strefach śródmiejskich osiągnął poziom, który zagraża organizmom żywym. Badania Gillera i in. [6] wykazały, że szczególnie duże zanieczyszczenie metalami ciężkimi gleb w bezpośrednim sąsiedztwie hut i zakładów metalurgicznych powoduje znaczące zmniejszenie liczby i liczebności mikroorganizmów glebowych produkujących enzymy. Również w badaniach laboratoryjnych, w próbkach gleb inkubowanych w ekstremalnie wysokimi dawkami metali stwierdzono istotne osłabienie aktywności enzymatycznej [13].

Tab. 3. Aktywność enzymatyczna gleb (dehydrogenazy –  $\text{cm}^3 \text{H}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ , fosfatazy –  $\text{mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , ureaza –  $\text{mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , proteaza –  $\text{mg tyrozyna} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )

Table 3. Enzymatic activity of soils (dehydrogenases –  $\text{cm}^3 \text{H}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ , phosphatases –  $\text{mmol PNP} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , urease –  $\text{mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , protease –  $\text{mg tyrosine} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )

Miejscowość Nr	Dehydrogenazy	Fosfatazy	Ureaza	Proteaza
Biała Podlaska 1	1,08b	83,62e	16,85d	2,34b
Biała Podlaska 2	4,05e	138,51g	39,35f	5,89f
Kraków 1	1,03b	64,16d	12,81c	1,19a
Kraków 2	3,21d	102,93f	37,10e	4,31d
Lublin 1	0,89b	37,32b	6,62b	2,54b
Lublin 2	3,12d	106,12f	35,14e	5,09e
Miasteczko Śląskie 1	0,58a	21,11a	2,42a	1,27a
Miasteczko Śląskie 2	1,69c	43,56b	12,42c	3,26c
Zabrze 1	0,35a	26,57a	5,69b	1,39a
Zabrze 2	1,96c	59,48c	19,94d	4,20d

Wartości w kolumnie z tą samą literą nie są istotnie różne przy  $p < 0,05$  test t; *values in the column followed by the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$  t – test*

W interpretacji wyników należy uwzględnić fakt, że efekt działania metali związany jest zarówno z właściwościami fizykochemicznymi gleby, zawartością związków humusowych, rodzajem enzymu, jak i samym metalem [4]. Enzymy charakteryzują się dużą podatnością na wpływ niekorzystnych czynników środowiska [14]. Szczególnie odczyn gleby i zawartość materii organicznej może mieć istotny wpływ na aktywność enzymów w glebach zanieczyszczonych metalami ciężkimi [1]. Większość badanych gleb będących pod silną presją czynnika antropogenicznego wykazywała odczyn obojętny. Gleby położone na peryferiach miast miały z reguły odczyn lekko kwaśny (tab. 4). Alkaliczność gleb związana jest zarówno z opadem pyłów alkalicznych, jak i zasoleniem [2].

Zawartość węgla organicznego w glebach stref śródmiejskich była istotnie większa niż w glebach położonych na obszarach peryferyjnych miast (tab. 4). Najwięcej  $C_{\text{org}}$  (6,90%) stwierdzono w glebie z Miasteczka Śląskiego 1 (na działce położonej w odległości 50 m od huty), a najmniej (1,20%) w glebie działki Lublin 2 (usytuowanej na peryferiach miasta). Czynnikiem modyfikującym zasobność  $C_{\text{org}}$ , oprócz intensywnego nawożenia ogrodów działkowych kompostami, obornikiem i torfem, była ilość tego składnika docierająca wraz z opadem suchym i mokrym do gleb położonych bliżej zakładów przemysłowych i ruchliwych ulic. Stosunek C:N w glebach ogródków położonych na peryfe-

riach miast kształtował się w granicach 9,1-11,8 (tab. 4). W niektórych glebach będących pod silną presją skażeń antropogenicznych stosunek C:N przekraczał 15 i dochodził do 16,9 (Zabrze 1). W niniejszych badaniach nie wykazano istotnej zależności pomiędzy aktywnością badanych enzymów a zawartością C organicznego w glebie. Mogło to być związane z niskim udziałem substancji próchnicznych w ogólnej zawartości substancji organicznej w glebach antropogenicznych [2], a w konsekwencji ograniczonej dostępności łatwo przyswajalnego C, determinującego rozwój bakterii glebowych wytwarzających enzymy. Schulden i in. [15] wykazali istotny wpływ jakości próchnicy na aktywność enzymatyczną gleby. Cytowani autorzy stwierdzili ujemną korelację pomiędzy stosunkiem humusu do poziomu kwasu fulwowego i aktywnością enzymów w glebie.

Tab. 4. Niektóre właściwości chemiczne gleb

Table 4. Some chemical properties of soils

Miejscowość Nr	C	N	C:N	pH
	(% )			KCl
Biała Podlaska 1	2,52d	0,18b	14,0d	6,6
Biała Podlaska 2	1,74b	0,19b	9,1a	5,6
Kraków 1	3,42g	0,22c	15,5e	7,0
Kraków 2	3,12f	0,30d	10,4b	6,1
Lublin 1	1,68b	0,12a	14,0d	7,2
Lublin 2	1,20a	0,11a	10,9b	6,5
Miasteczko Śląskie 1	6,90h	0,44e	15,7e	6,1
Miasteczko Śląskie 2	3,42g	0,29d	11,8c	6,8
Zabrze 1	2,88e	0,17b	16,9f	7,1
Zabrze 2	1,98c	0,21c	9,4a	6,5

Wartości w kolumnie z tą samą literą nie są istotnie różne przy  $p < 0,05$  test t; *values in the column followed by the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$  t – test*

Tab. 5. Współczynniki korelacji pomiędzy aktywnością enzymatyczną gleby i zawartością metali ciężkich

Table 5. Correlation coefficients between enzymatic activity of soil and heavy metals contents

	Zn	Pb	Cd	Cu
Dehydrogenazy	-0,72*	-0,65*	n.i.	-0,74*
Fosfatazy	-0,64*	-0,59*	n.i.	-0,62*
Ureaza	-0,68*	-0,62*	n.i.	-0,65*
Proteaza	-0,69*	-0,65*	n.i.	-0,63*

\* istotne przy  $p = 0,05$ ; *significant at  $p = 0,05$*

n.i. – nie istotne; *not significant*

Na uwagę zasługuje fakt, że gleba pochodząca z działki usytuowanej na terenie Miasteczka Śląskiego 2 (w odległości 300 m od huty), mimo silnego zanieczyszczenia kadmem (tab. 1, 2) cechowała się stosunkowo wysoką aktywnością enzymatyczną (tab. 3). W niniejszych badaniach analiza korelacji nie wykazała jednoznacznie inhibującego wpływu kadmu na aktywność enzymów. Renella i in. [14] informują o braku dowodów na szczególną toksyczność kadmu i wpływ na aktywność bioty glebowej, a także na brak prostej zależności pomiędzy skutkami stopniowego nagromadzenia się metali w glebach użytkowanych rolniczo z wynikami studiów modelowych (laboratoryjnych) w warunkach inkubacji. Uzyskane wyniki, jak i doniesienia literaturowe [3, 14] sugerują potrzebę korekty norm dopuszczalnych zawartości metali ciężkich w glebach w od-

niesieniu do ich toksyczności mierzonej aktywnością enzymatyczną.

## Wnioski

1. Zawartość metali ciężkich i aktywność enzymów w glebach wykazywała duże zróżnicowanie w obrębie badanych terenów zurbanizowanych.
2. W glebach ogrodów usytuowanych w strefach śródmiejskich zawartość badanych metali ciężkich była kilkakrotnie większa niż w glebach z działek położonych na peryferiach miast.
3. Stwierdzono ujemną korelację pomiędzy zawartością cynku, ołowiu i miedzi w glebach a aktywnością badanych enzymów. Prawidłowości takiej nie wykazano w przypadku kadmu, co może wskazywać na potrzebę korekty norm dopuszczalnych zawartości metali ciężkich w glebach w odniesieniu do ich toksyczności mierzonej aktywnością enzymatyczną.
4. Wysoka inaktywacja enzymatyczna gleb podlegających silnym wpływom antropogenicznym (strefy śródmiejskie) wskazuje, że zanieczyszczenie środowiska glebowego osiągnęło poziom, który zagraża organizmom żywym.
5. Ocena stopnia zanieczyszczenia badanych gleb metalami ciężkimi oraz nasilenia aktywności enzymów (dehydrogenaz, fosfataz, ureazy i proteazy) wykazała miejscowe oddziaływanie presji czynnika antropogenicznego.
6. Badania z tego zakresu pozwolą na ocenę stopnia ujemnego wpływu zanieczyszczeń dopływających z obszarów miasta na środowisku glebowe i potencjalnego zagrożenia wynikającego ze spożywania roślin uprawianych w danych warunkach glebowych.

## Literatura

- [1] Bielińska E.J.: 2002, Aktywność enzymatyczna gleb wskaźnikiem ich zanieczyszczenia. *Journal of Research and Application in Agricultural Engineering* 47(1), s. 38-44, 2002.
- [2] Czarnowska K.: Gleby i rośliny w środowisku miejskim, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 418, s. 111-115, 1995.
- [3] Dahlin S., Witter E., Martensson A.M., Turner A.: Where's the limit? Changes in the microbiological properties of agricultural soils at low levels of metal contamination. *Soil Biol. Biochem.* 29, s. 1405-1415, 1997.
- [4] Frankenberger W.T. Jr., Dick W.A.: Relationship between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47, s. 945-951, 1983.
- [5] Gambuś F.: The influence of soil reaction on solubility of heavy metals in soil and their availability to plants. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 456, s. 71-78, 1997.
- [6] Giller K., Witter E., McGrath A.: Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils: a review. *Soil Biol. Biochem.* 30, s. 1389-1414, 1998.

- [7] Hübner H.: Ekologiczne biomonitorowanie człowieka. W: *Ekologia. Jej związki z różnymi dziedzinami wiedzy.* Red. A. Kurnatowska. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa - Łódź 2002, s. 321-331, 2002.
- [8] Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T: Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. *Ramowe wytyczne dla rolnictwa.* IUNG Puławy 35, s. 5-15, 1993.
- [9] Ladd N., Butler J.H.A.: Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates. *Soil Biol. Biochem.* 4, s. 19-30, 1972.
- [10] Markowski J.: Specyfika synurbijnych populacji zwierząt. W: *Ekologia. Jej związki z różnymi dziedzinami wiedzy.* Red. A. Kurnatowska. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa - Łódź 2002, s. 167-194, 2002.
- [11] Nannipieri P.: The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution, w: *Soil Biota, Management in Sustainable Farming systems,* red. C.E. Pankhurst, B.M. Doube, V.V.S.R. Gupta, R.P. Grace, CSIRO Australia, s. 238-244, 1994.
- [12] Nannipieri P., Grego S., Ceccanti B.: Ecological significance of the biological activity in soil. W: *Soil Biochemistry 6.* Red. J.M. Bollag, G. Stotzky. Dekker, New York, s. 293-355, 1990.
- [13] Nowak J., Kaklewski K., Kłódka D.: Influence of various concentrations of selenic acid (IV) on the activity of soil enzymes. *Sci. Total Environ.* 291, s. 105-110, 2002.
- [14] Renella G., Chaudri M.A., Brookes P.C.: Fresh additions of heavy metals do not model long-term effects on microbial biomass and activity. *Soil Biol. Biochem.* 34, s. 121-124, 2002.
- [15] Schulten H.R., Montreal C.M., Schnitzer M.: Effect of long-term cultivation on the chemical structure of soil organic matter. *Naturwissenschaften* 81, 1, s. 42-44, 1995.
- [16] Szteke B., Jędrzejczak R.: Mineralne składniki owoców w żywieniu człowieka. I Ogólnopolskie Sympozjum „*Mineralne odżywianie roślin sadowniczych*”, Skierniewice, s. 76-88, Skierniewice 1998.
- [17] Tabatabai M.A., Bremner J.M.: Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1, s. 301-307, 1969.
- [18] Thalmann A.: Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenase Aktivität in Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). *Landwirtsch. Forsch.* 21, s. 249-258, 1968.
- [19] Torstensson L., Pell M., Steinberg B. 1998. Need of strategy for evaluation of arable soil quality. *Ambio* 1, 4-8.
- [20] Waclawek W., Kwak A., Sztamberek-Gola I.: Zanieczyszczenie chemiczne wody, gleby i roślin warzywnych pobranych z ogródków działkowych Kędzierzyna-Koźła. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna* 5, 12, s. 1163-1178, 1998.
- [21] Zantua M.I., Bremner J.M.: Stability of urease in soils. *Soil Biol. Biochem.* 9, s. 135-140, 1975.