

Elżbieta Jolanta BIELIŃSKA<sup>1</sup>, Andrzej MOCEK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska  
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin, e-mail: [elzbieta.bielinska@up.lublin.pl](mailto:elzbieta.bielinska@up.lublin.pl)

<sup>2</sup> Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Gleboznawstwa  
ul. Szydlowska 50, 60-656 Poznań, e-mail: [moceka@au.poznan.pl](mailto:moceka@au.poznan.pl)

## SORPTION PROPERTIES AND ENZYMATIC ACTIVITY OF MUNICIPAL PARK SOILS IN REGIONS OF VARYING IMPACT OF ANTHROPOLOGIC PRESSURE

### Summary

Experiments were carried out on soils derived from 12 park gardens situated in suburban zones or in city centres in areas of similar physiographic conditions exposed to direct anthropogenic influence. Investigations were performed within administrative boundaries of the following towns and cities: Kraków, Lublin, Miasteczko Śląskie, Szczecin, Zabrze and Zamość. Soil sorption properties and levels of enzymatic activities in the examined park gardens fluctuated widely and distinctly depended on their location. In soils of park gardens situated in suburban areas, values of sorption capacity and level of saturation of sorption complexes with bases were several times lower, whereas the activity of the examined enzymes (dehydrogenase, acid phosphatase, alkaline phosphatase, urease and protease) was several times higher in comparison with the soils situated in town centres indicating a differentiation in the ecological systems in central and suburban city areas.

## WŁAŚCIWOŚCI SORPCYJNE I AKTYWNOŚĆ ENZYMATYCZNA GLEB PARKÓW MIEJSKICH NA TERENACH O ZRÓŻNICOWANYM WPŁYWIE ANTROPOPRESJI

### Streszczenie

Badaniami objęto gleby 12 ogrodów parkowych usytuowanych w strefie podmiejskiej oraz w centrach miast, na terenach o podobnych warunkach fizjograficznych, lecz będących pod bezpośrednią presją skażeń antropogenicznych. Prace badawcze prowadzono w granicach administracyjnych następujących miast: Kraków, Lublin, Miasteczko Śląskie, Szczecin, Zabrze, Zamość. Właściwości sorpcyjne i poziom aktywności enzymatycznej gleb badanych ogrodów parkowych wahał się w szerokich granicach, jednak wyraźnie zależał od ich lokalizacji. W glebach ogrodów usytuowanych w strefach podmiejskich wartości pojemności sorpcyjnej i stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami były kilkakrotnie niższe, natomiast aktywność badanych enzymów (dehydrogenaz, fosfatazy kwaśnej, fosfatazy alkalicznej, ureazy i proteazy) była kilkakrotnie większa niż w glebach położonych w centrach miast, co świadczy o zróżnicowaniu układów ekologicznych na terenach zurbanizowanych w części centralnej i peryferyjnej.

### 1. Wstęp

Właściwości sorpcyjne gleb oraz zawartość kationów zasadowych odgrywają ważną rolę jako czynnik regulujący procesy wymywania substancji chemicznych, w tym składników pokarmowych z gleby [14]. Wielu autorów postrzega w zjawiskach sorpcyjnych skuteczną drogę do zmniejszenia biodostępności zanieczyszczeń kumulowanych w glebach miejskich [10, 13].

Precyzyjną miarą stanu ekochemicznego gleb, uwzględniającą zarówno pojemność homeostatyczną danego ekosystemu ekologicznego, jak i poziom zanieczyszczenia środowiska, który zagraża organizmom żywym jest aktywność enzymów glebowych [2].

Celem pracy było zbadanie właściwości sorpcyjnych i aktywności enzymatycznej gleb ogrodów parkowych zlokalizowanych na terenach zurbanizowanych o zróżnicowanym wpływie antropopresji.

### 2. Materiał i metody

Objektami badań były poziomy próchniczne gleby 12 ogrodów parkowych 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:

- potencjalnie wysokie zagrożenie skażeniem antropogenicznym – Kraków 1, Lublin 1, Miasteczko Śląskie 1, Szczecin 1, Zabrze 1, Zamość 1;

- potencjalnie niski poziom skażenia antropogenicznego (ogrody usytuowane na peryferiach miast) – Kraków 2, Miasteczko Śląskie 2, Lublin 2, Szczecin 2, Zabrze 2, Zamość 2.

Na terenie każdego z 12 wytypowanych ogrodów wybrano po jednej reprezentatywnej powierzchni. Analizowana próbka glebowa była średnią z 5 próbek pobranych z każdej powierzchni.

Gleby badanych obiektów różniły się składem granulometrycznym:

- piaski słabo gliniaste – Miasteczko Śląskie 1, Miasteczko Śląskie 2; Szczecin 1, Szczecin 2;

- piaski gliniaste mocne – Kraków 1, Kraków 2; Zabrze 1, Zabrze 2;

- gliny lekkie silnie spiaszczone – Lublin 1, Lublin 2;

- gliny lekkie pylaste – Zamość 1, Zamość 2.

Próbki glebowe do analiz laboratoryjnych pobrano z wybranych powierzchni w maju 2010 roku.

W próbkach glebowych oznaczono: pH w 1 mol KCl-dm<sup>3</sup> – potencjometrycznie, kwasowość hydrolityczną (Hh) metodą Kappena, sumę kationów o charakterze zasadowym (S) gleb bezwęglanowych metodą Kappena, gleb węglanowych metodą Pallmanna, na podstawie których obliczono pojemność sorpcyjną (T) i udział kationów o charakterze zasadowym w kompleksie sorpcyjnym (V).

Oznaczenia te wykonano według metodyki przyjętej w opracowaniach gleboznawczych [18].

Analizy enzymatyczne obejmowały oznaczenia aktywności 5 enzymów: dehydrogenaz [22], fosfatazy kwaśnej i fosfatazy alkalicznej [21], ureazy [23] oraz proteazy [17].

Wszystkie oznaczenia wykonywano w trzech powtórzeniach.

Wyniki opracowano statystycznie posługując się programem Statistica 6.0 PL.

Badania obejmujące aktywność enzymatyczną gleb miejskich zaplanowano jako kontynuację prac badawczych wykonanych w 2009 roku [5], prowadzonych w ramach projektu badawczego nr N N305 214037 finansowanego ze środków MNiSW. Niniejsza praca może być podstawą do poznania dynamiki badanych procesów biochemicznych i prognozowania kierunku przeobrażeń gleb parków miejskich pod wpływem czynników urbanistycznych. Należy podkreślić, że stały monitoring gleb na terenach zurbanizowanych to nie tylko problematyka natury poznawczej, lecz konieczność prawnie usankcjonowana.

### 3. Wyniki i dyskusja

Właściwości sorpcyjne gleb badanych parków miejskich były bardzo zróżnicowane (tab. 1). Mogło się to wiązać z nierównomiernym rozsegregowaniem materiału glebowego w trakcie historycznych przeobrażeń urbanistycznych na badanych terenach i depozycją domieszek o wysokiej zdolności sorpcji (pozostałości pobudowlane, odpady komunalne) w różnych miejscach. Wzbogacenie środowiska glebowego związkami organicznymi i materiałami mineralnymi o znacznych zdolnościach sorpcyjnych w warunkach wielowiekowej urbanizacji związane jest z użytkowaniem gleb miejskich i nanoszeniem substratów naturalnych i technogennych różnicowanych pod względem ilości, pochodzenia, składu, a także sposobu ich nanoszenia i przemieszczania przestrzennego [12]. Greinert [13] zwraca uwagę, że gleby miejskie za sprawą działań rekultywacyjnych, a niekiedy przesunięcia do profili glebowych materiałów skalnych mogą wykazywać wzbogacenie we frakcję ilastą. Liczne dane z literatury przedmiotu, m.in. Jaworska i in. [15] wskazują na współzależność pomiędzy

wartościami sumy kationów zasadowych a zawartością frakcji ilastej.

Lokalizacja ogrodów parkowych wpłynęła istotnie na właściwości sorpcyjne badanych gleb (tab. 1). Suma kationów wymiennych o charakterze zasadowym kształtowała się w zakresie od 16,82 do 25,15  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  w strefach śródmiejskich oraz od 2,46 do 15,39  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  na peryferiach miast, a wartości pojemności sorpcyjnej gleb odpowiednio: od 18,78 do 25,96  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  oraz od 3,61 do 17,87  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  (tab. 1). Wyczenie kompleksu sorpcyjnego kationami o charakterze zasadowym (V), w związku z opisaną powyżej zmiennością sumy kationów zasadowych i pojemności sorpcyjnej, także jest zróżnicowane w zależności od lokalizacji ogrodów, w granicach od 89,5-97,4% (strefy śródmiejskie) oraz 68,1-86,1% (obrzeża miast). Podwyższone w centrach miast: suma kationów wymiennych o charakterze zasadowym (S), wyczenie kompleksu sorpcyjnego zasadami (V) oraz wartości  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  (tab. 1) ilustrują typowe zjawisko chaotycznej gospodarki na placach budów materiałami zawierającymi wapno oraz odpady pobudowlane [13].

Należy podkreślić, że sorpcja glebowa na terenach parków miejskich jest modyfikowana (poprawiana) przez wniesienie materii organicznej – często pochodzenia odpadowego: komposty z odpadów komunalnych, osady ściekowe, a rzadziej materiałów ilastych, np. materiał odpadowy z cegielni [13]. Badania Kwiatkowskiej i Maciejewskiej [16] wykazały, że wprowadzenie do gleby substancji organicznej (pochodzącej z różnych źródeł) zwiększa jej pojemność sorpcyjną, zawartość kationów zasadowych oraz stopień wyczenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi, a zmniejsza kwasowość hydrolityczną oraz podwyższa  $\text{pH}$  gleby. Kolejnym czynnikiem generującym dużą zmienność właściwości sorpcyjnych gleb parków miejskich jest przypadkowość doboru technik i technologii rekultywacyjnych zastosowanych przed założeniem parku, a także stosowana agrotechnika [13]. Zdegradowane gleby obszarów zurbanizowanych są przed założeniem na nich terenów zieleni poddawane rekultywacji, realizowanej najczęściej przez firmy budowlane, zgodnie z zasadą ustawową, że do naprawy szkody zobowiązany jest jej sprawca.

Tab. 1. Niektóre właściwości fizykochemiczne badanych gleb  
Table 1. Some physical-and-chemical properties of investigated soils

Miejscowość Nr City No	pH	Hh	S	T	V
	KCl	$\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$			%
Kraków 1	7,1	0,97	22,31	23,28	95,8
Kraków 2	6,3	2,48	15,39	17,87	86,1
Lublin 1	7,0	1,96	16,82	18,78	89,5
Lublin 2	6,5	2,32	5,86	8,18	71,6
Miasteczko Śląskie 1	7,1	0,81	25,15	25,96	96,8
Miasteczko Śląskie 2	6,3	1,15	2,46	3,61	68,1
Szczecin 1	7,4	0,65	24,92	25,57	97,4
Szczecin 2	6,4	3,12	5,65	8,77	64,4
Zabrze 1	7,3	1,15	21,32	22,47	94,8
Zabrze 2	6,2	2,21	6,29	8,50	74,0
Zamość 1	6,9	1,16	19,78	20,94	94,4
Zamość 2	6,2	1,98	6,61	8,59	76,9
NIR <sub>0,05</sub>		0,32	0,98	1,22	7,2

1 – strefa śródmiejska / city centre; 2 – peryferie miast / outskirts of city

Gleby ogrodów usytuowanych w strefach śródmiejskich charakteryzowały się wysokimi wartościami pH ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  6,9-7,4), (tab. 1). Alkaliczność gleb w centrach miast związana jest z opadem pyłów alkalicznych, stosowaniem środków do odśnieżania ulic, a także z obecnością węgla wapnia pochodzenia antropogenicznego, który został wprowadzony do gleb wraz z gruzem budowlanym zawierającym okrzuchy zaprawy piaszczysto-wapiennej [8, 9, 11, 20]. Obecność gruzu budowlanego w glebach miejskich powoduje ich wzbogacenie w tzw. węgiel wtórny [20]. Natomiast gleby z ogrodów położonych na peryferiach miast miały odczyn lekko kwaśny:  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  6,2-6,5 (tab. 1). Liczne badania [6, 8, 11, 12] wykazały, że gleby centralnych dzielnic miast polskich wykazywały najwyższe wartości pH, a gleby występujące na ich obrzeżach odczyn słabo kwaśny i kwaśny.

Wyniki dotyczące kwasowości hydrolytycznej potwierdzają zmiany zachodzące w glebach, jakie zaobserwowano w odczynie tych gleb (tab. 1). Stwierdzono wzrost kwasowości hydrolytycznej gleby w tych parkach, w których nastąpiło obniżenie wartości pH. Kwasowość hydrolytyczna gleb parków śródmiejskich była istotnie niższa niż w przypadku gleb pochodzących z parków zlokalizowanych na peryferiach miast. Oznaczone wartości kwasowości hydrolytycznej gleby badanych parków kształtowały się w granicach: 0,65-1,96  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  (strefy śródmiejskie) oraz 1,15-3,12  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  (peryferia miast).

Aktywność enzymatyczna badanych gleb uzależniona była istotnie od lokalizacji ogrodów parkowych (tab. 2). Aktywność dehydrogenaz, badanych fosfatyz i proteazy w glebach ogrodów parkowych usytuowanych na peryferiach miast była kilkakrotnie większa niż w glebach parków położonych w strefach śródmiejskich. Obserwowane osłabienie aktywności enzymatycznej gleb w śródmieściach powiązane było z dopływem zanieczyszczeń z obszaru miast hamujących biosyntezę enzymów przez mikroorganizmy glebowe [3]. Niższa aktywność enzymów w glebach położonych w centrum miasta, w porównaniu z obszarami peryferyjnymi, jest jedną z charakterystycznych właściwości gleb terenów zurbanizowanych [1, 4]. Podobnie jak w pierwszym roku badań [5] nie wykazano jednoznacznego wpływu lokalizacji ogrodów parkowych na aktywność ureazy (tab. 2). Wysoką inaktywację ureazy w glebach stref

śródmiejskich stwierdzono wyłącznie w przypadku obszaru Górnego Śląska (Miasteczko Śląskie, Zabrze), gdzie aktywność tego enzymu była ponad dwukrotnie mniejsza niż w glebach parków usytuowanych na peryferiach miast (tab. 2). Ureaza jest odporna na działanie stresów środowiskowych, a jedynym czynnikiem limitującym jej aktywność jest dostępność substratu – mocznika, gdyż jako enzym ekstracelularny jest syntetyzowana wyłącznie w jego obecności [7].

Aktywność enzymatyczna gleb z parków w Krakowie, Szczecinie oraz z miast Polski wschodniej kształtowała się na poziomie charakterystycznym dla gleb o niezakłóconym przebiegu procesów biologicznych. Najmniejszą aktywnością enzymatyczną cechowały się gleby z terenu Górnego Śląska (Miasteczko Śląskie, Zabrze), a największą gleby z Zamościa. Stwierdzona niska aktywność dehydrogenaz w glebach na obszarze Górnego Śląska, zwłaszcza w centrach miast (Miasteczko Śląskie 1, Zabrze 1), (tab. 2) wskazuje, że stopień zanieczyszczenia gleb osiągnął poziom, który zagraża organizmom żywym.

W niniejszych badaniach relacje pomiędzy cechami charakteryzującymi właściwości sorpcyjne gleb a aktywnością enzymów oceniono na podstawie współczynników korelacji. Ocenę tę przeprowadzono dla całego obszaru badań, jak również w zależności od lokalizacji ogrodów parkowych, a tym samym intensywności presji urbanizacyjnej. Istotną ujemną zależność pomiędzy sumą kationów wymiennych o charakterze zasadowym (S), pojemnością sorpcyjną (T) i wysyceniem kompleksu sorpcyjnego zasadami (V) a aktywnością badanych enzymów wykazano wyłącznie w przypadku próbek glebowych pochodzących z ogrodów parkowych usytuowanych w centrach miast. Obliczone wartości współczynników korelacji prostej kształtowały się w granicach od - 0,90 do - 0,92, przy  $p \leq 0,001$ ). Dane te wskazują, że na terenach zurbanizowanych, charakteryzujących się wysokim poziomem zanieczyszczenia środowiska, właściwości sorpcyjne gleb są wskaźnikiem dla tych ekosystemów nieadekwatnym. Jest to zgodne z opinią Greinerta [2009], że w przypadku obszarów miejskich nie ma możliwości zastosowania prostego przełożenia: wysoka sorpcja = bezpieczeństwo ekologiczne [13]. Według Locka i Jansena [18] istotne znaczenie ma czas istnienia pokrywy glebowej oraz stabilność czynników glebotwórczych.

Tab. 2. Aktywność enzymatyczna gleb (Dh – dehydrogenazy w  $\text{cm}^3 \text{H}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ , Fk – fosfataza kwaśna i Fa – fosfataza alkaliczna w  $\text{mmol PNP}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , U – ureaza w  $\text{mg N-NH}_4^+\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , P – proteaza w  $\text{mg tyrozyny}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )

Table 2. Enzymatic activity of soils (Dh – dehydrogenases in  $\text{cm}^3 \text{H}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ , Fk – acid phosphatase and Fa – alkaline phosphatase in  $\text{mmol PNP}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , U – urease in  $\text{mg N-NH}_4^+\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , P – protease in  $\text{mg tyrosine}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )

Miejscowość Nr City No	Dh	Fk	Fa	U	P
Kraków 1	2,12	33,09	17,36	13,54	3,69
Kraków 2	3,35	68,41	39,12	16,27	6,92
Lublin 1	2,28	43,57	19,54	19,73	4,58
Lublin 2	3,69	75,92	33,04	20,09	9,36
Miasteczko Śląskie 1	0,93	10,28	9,34	3,11	1,32
Miasteczko Śląskie 2	1,79	16,73	11,95	6,98	1,95
Szczeci 1	1,08	49,02	19,58	18,03	4,52
Szczecin 2	2,67	70,34	33,47	19,35	8,17
Zabrze 1	0,74	8,27	5,51	5,16	2,19
Zabrze 2	2,52	16,89	14,08	9,96	5,02
Zamość 1	3,11	65,19	54,16	34,42	7,51
Zamość 2	6,43	115,21	46,64	29,43	12,42
NIR <sub>0,05</sub>	0,08	0,96	0,71	1,12	0,64

1 – strefa śródmiejska / city centre; 2 – peryferie miast / outskirts of city

#### 4. Wnioski

1. Właściwości sorpcyjne gleb badanych parków miejskich były bardzo zróżnicowane, co wiązało się z nierównomiernym rozsegregowaniem materiału glebowego w trakcie historycznych przeobrażeń urbanistycznych na badanych terenach i depozycją domieszek o wysokiej zdolności sorpcji w różnych miejscach.
2. Podwyższone w glebach położonych w strefach śródmiejskich: suma kationów wymiennych o charakterze zasadowym (S), wysycenie kompleksu sorpcyjnego zasadami (V) oraz wartości  $pH_{KCl}$  ilustrują typowe zjawisko chaotycznej gospodarki na placach budów materiałami zawierającymi wapno oraz odpady pobudowlane.
3. W glebach ogrodów usytuowanych w strefach podmiejskich aktywność enzymów była kilkakrotnie większa niż w glebach parków zlokalizowanych w centrach miast, co wskazuje na zróżnicowaną presję urbanistyczną w części centralnej i peryferyjnej.
4. Wysoka inaktywacja badanych enzymów glebowych w śródmieściach wskazuje na przydatność badań aktywności enzymatycznej jako czułego wskaźnika reakcji gleby na czynniki stresowe.
5. Relacje pomiędzy cechami charakteryzującymi właściwości sorpcyjne gleb a aktywnością enzymów w glebach miejskich miały zróżnicowany charakter w zależności od lokalizacji ogrodów parkowych, co świadczy, że są one determinowane głównie stanem środowiska kształtowanego intensywnością presji antropogenicznej.

#### 5. Literatura

- [1] Baran S., Bielińska E.J.: Wpływ ryzosfery mniszka lekarskiego (*Teraxacum officinale* Web.) na zawartość metali ciężkich i aktywność enzymatyczną gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 533, s. 21-29, 2008.
- [2] Bielińska E.J.: Charakterystyka ekologiczna gleb ogrodów działkowych z terenów zurbanizowanych. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, Vol. 51(2), s. 13-16, 2006.
- [3] Bielińska E.J.: Aktywność enzymów glebowych w ryzosferze mniszka lekarskiego jako wskaźnik stanu ekochemicznego gleb miejskich. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, Vol. 52(3), s. 10-14, 2007.
- [4] Bielińska E.J., Baran S., Futa B.: Wpływ ryzosfery na aktywność enzymatyczną gleb ogródków działkowych z terenów zurbanizowanych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 515, s. 15-22, 2006.
- [5] Bielińska E.J., Ligęza S., Kawecka-Radomska M.: Enzymatyczne wskaźniki przeobrażeń gleb na terenach podmiejskich. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* (w druku), 2010.
- [6] Brogowski Z., Czarnowska K., Chojnicki J., Praczyński J., Zagórski Z.: 2000. Wpływ stresu solnego na stan chemiczny liści drzew z terenu miasta Łodzi. *Rocz. Glebozn.* 51, 1/2, s. 17-28, 2000.
- [7] Carbrera M.L., Kissel D.L., Bock B.R.: Urea hydrolysis in soil. Effect of urea concentration and soil pH. *Soil Biol. Biochem.* 23, s. 1121-1124, 1994.
- [8] Czarnowska K.: Poziom niektórych metali ciężkich w glebach i liściach drzew miasta Łodzi. *Rocz. Glebozn.* 48, 3/4, s. 49-61, 1997.
- [9] Gąsiorek M., Niemyska-Łukaszk J.: Kadm i ołów w glebach antropogenicznych ogrodów klasztornych Krakowa. *Rocz. Glebozn.* 55, 1, s. 127-134, 2004.
- [10] Ge Y., Hendershot W.: Modeling sorption of Cd, Hg and Pb in soils by the NICA [non-ideal competitive adsorption] – Donnan model. *Soil and Sediment Contamination* 14, s. 53-69, 2005.
- [11] Greinert A.: Gleby leśne zielonogórskich lasów komunalnych jako przykład antropogenizacji środowisk wokółmiejskich.: W: *Inżynieria Środowiska nr 10. Zeszyty Naukowe nr 124. Zielona Góra*, s. 28-37, 2000.
- [12] Greinert A.: Studia nad glebami obszaru zurbanizowanego Zielonej Góry. Praca habilitacyjna. Uniwersytet Zielonogórski, s. 21-42, 2003.
- [13] Greinert A.: Poprawa właściwości sorpcyjnych gleb jako warunek utrzymania w dobrym stanie terenów zieleni miejskiej. *Rocz. Glebozn.* 60, 3, s. 75-83, 2009.
- [14] Hartmann A., Gräsle W., Horn R.: Cation exchange processes in structured soils at various hydraulic properties. *Soil and Tillage Research* 47, s. 67-72, 1998.
- [15] Jaworska H., Kobierski M., Dąbkowska-Naskręt H.: Kationowa pojemność wymienna i zawartość kationów wymiennych w glebach pływowych o zróżnicowanym uziarnieniu. *Rocz. Glebozn.* 59, 1, s. 84-89, 2008.
- [16] Kwiatkowska J., Maciejewska A.: Wpływ rodzajów substancji organicznej na właściwości fizykochemiczne gleby i zawartość węgla organicznego. *Rocz. Glebozn.* 59, s. 128-133, 2008.
- [17] 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.
- [18] Lock K, Janssen C.R.: Influence of aging on metal availability in soils. *Rev. Environ. Contamination and Toxicology* 178, s. 1-21, 2003.
- [19] Mocek A., Drzymała S., Maszner P.: Geneza, analiza i klasyfikacja gleb. Wyd. AR Poznań, 1997.
- [20] Szponar A.: Fizjografia urbanistyczna. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa, 258, 2003.
- [21] 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.
- [22] Thalmann A.: Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenase Aktivität in Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). *Landwirtsch. Forsch.* 21, s. 249-258, 1968.
- [23] Zantua M.I., Bremner J.M.: Comparison of methods of assaying urease activity in soils. *Soil Biol. Biochem.* 7, s. 291-295, 1975.