

ANDRZEJ GREINERT

# POPRAWA WŁAŚCIWOŚCI SORPCYJNYCH GLEB JAKO WARUNEK UTRZYMANIA W DOBRYM STANIE TERENÓW ZIELENI MIEJSKIEJ

## SORPTION CAPABILITIES IMPROVEMENT AS A CONDITION OF MAINTAINING THE MUNICIPAL GREEN IN GOOD STATE

Zakład Ochrony i Rekultywacji Gruntów Uniwersytetu Zielonogórskiego

*Abstract:* Municipal green areas are often founded on the post-investment terrains, characterized by the disturbed structure and unfavorable properties of soils. Besides they have often sandy mechanical amendments, additionally with sand, gravel and slides (rubble) admixtures added during the building process. The low sorption capacity of technosols mineral horizons was noted on the described area. The presence of plants accessible heavy metals : Cu 14–72%, Pb 18–94% and Zn 15–34% was also observed. In horticols the ratio was slower: Cu 11–22%, Pb 3–43% and Zn 7–30%. The inhibitory influence of the calcium content in soils on dissolubility of heavy metals has been also noted. The better sorption properties of soils – the better was the condition of municipal green, especially after the soil had been treated with materials rich in loamy minerals.

*Słowa kluczowe:* sorpcja glebowa, tereny zieleni miejskiej, rekultywacja.

*Keywords:* soil sorption, municipal green, reclamation.

### WSTĘP

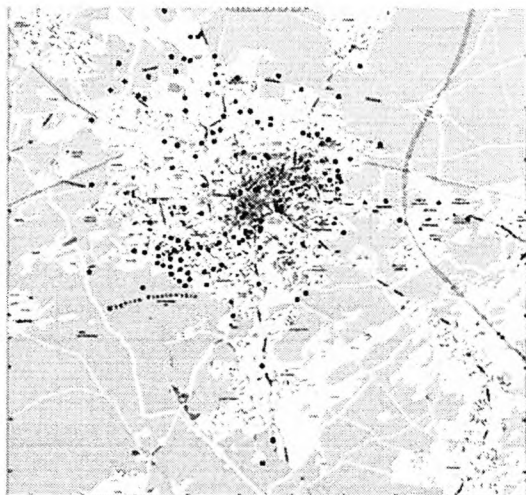
Ocena stanu gleb jako podłoża roślinności miejskich terenów zieleni jest w wielu przypadkach bardziej skomplikowana niż dla upraw polowych. Przy ocenie należy zwrócić uwagę na bardziej subtelne przejawy toksyczności składników glebowych, takie jak: kolorystyka liści, wyrównanie wzrostu, czy kwitnienie. Dla większości zdegradowanych gleb obszarów zurbanizowanych typowa jest bardzo niska żyzność [Hiller, Meuser 1998; Blume, Sukopp 1976; Blume, Runge 1978; Burghardt 1996; Greinert 2003]. Jim [2001] wskazał na charakterystyczną dla gleb miejskich wysoką zawartość frakcji kamieni i piasku – średnio (badania 100 miast) 41,7% kamieni (zakres 13,4–81,8%), 81,3% piasku (zakres 71,9–92,1%). Efekt tego jest bardzo widoczny, szczególnie w okresach suszy (niedostateczna retencja wodna) oraz intensywnej wegetacji roślin (dodatkowo niskie

zdolności gromadzenia składników odżywczych). Świeżo konstruowane oraz silnie zmienione przez człowieka gleby odznaczają się dużymi wahaniami właściwości oraz ostrą reakcją na działanie czynników zewnętrznych [Burghardt 1995; Hiller, Meuser 1998; Greinert 2000, 2003]. Osiągnięcie (lub nawet przekroczenie) tą drogą przez rośliny poziomu stresu ekologicznego, wywołuje efekt w postaci drastycznej ich reakcji, np. na czynniki chemiczne. Wielu autorów postrzega w zjawiskach sorpcyjnych skuteczną drogę do zmniejszenia biodostępności zanieczyszczeń kumulowanych w glebach [Ge, Hendershot 2005]. Zauważyć jednak tutaj należy niemożność zastosowania w każdej sytuacji prostego przełożenia – wysoka sorpcja = bezpieczeństwo ekologiczne. Ważny jest w tej kwestii czas istnienia pokrywy glebowej, jak też stabilność czynników glebotwórczych [Lock, Janssen 2003].

W pracy postawiono pytanie o związek właściwości sorpcyjnych gleb, zawartości materii organicznej i minerałów ilastych, odczynu oraz potencjalnej biodostępności wybranych metali ciężkich na stan roślinności miejskich terenów zieleni.

## MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w Zielonej Górze – 120-tysięcznym mieście na zachodzie Polski. Charakteryzuje się ono typowym dla Europy Środkowej historycznym przebiegiem rozwoju miasta – od osady rolniczo-rzemieślniczej (z dużym udziałem powierzchni użytkowanych ogrodniczo), poprzez burzliwą industrializację, aż po upadek przemysłu ciężkiego i rozbudowę usług oraz dynamiczny rozrost powierzchni. Przy lokalizacji punktów badawczych zwrócono uwagę na zróżnicowanie form ukształtowania zieleni miejskiej. Miejsca poboru próbek usytuowano na obszarach o zróżnicowanej funkcji oraz różnym stopniu antropopresji na środowisko przyrodnicze (rys. 1). Wykonano 105 odkrywek glebowych do głębokości 150 cm na terenach: zieleńców przydrożnych – 30, parków – 14, zieleńców osiedlowych – 33, lasów komunalnych – 5, nieużytków – 23 (próbki pobrano z każdego poziomu genetycznego). Ponadto pobrano 32 zbiorcze próbki



RYSUNEK 1. Umiejscowienie punktów poboru próbek glebowych  
FIGURE 1. Localization of soil samplings

powierzchniowe (powierzchnia około 20 m<sup>2</sup> każda) z poziomów próchnicznych. Gleby sklasyfikowano według nomenklatury Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego [1989], DBG [AK Bodensystematik 1998] i WRB [2006].

W próbkach oznaczono m.in.: skład granulometryczny zgodnie z PN-R-04032 i PN-R-04033, zawartość węgla organicznego ogółem metodą detekcji NDIR, pH potencjometrycznie w 0,01 M CaCl<sub>2</sub>, 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 wobec kationów (T) i udział kationów o charakterze zasadowym w kompleksie sorpcyjnym (V). Zawartość Cu, Pb i Zn oznaczono metodą absorpcji atomowej AAS FL, w wyciągach: po spaleniu w piecu w temp. 550°C i rozpuszczeniu w wodzie królewskiej (forma zbliżona do całkowitej) [McGrath, Cunliffe 1985] oraz po ekstrakcji na zimno w 0,1 M HCl (forma potencjalnie biodostępna, zapas glebowy) [Baker, Amacher 1982]. W wybranych miejscach o zróżnicowanej presji urbanistycznej, przemysłowej i komunikacyjnej oraz zróżnicowanych podłożach (po różnie przeprowadzonej rekultywacji przed wprowadzeniem roślinności) dokonano oceny stanu pokrywy roślinnej, uwzględniając ogólną zdrowotność roślin, obecność zaschniętych pędów i gałęzi, obecność chloroz i nekroz na liściach, wybarwienie liści, stopień pokrycia roślinnością trawiastrą powierzchni trawnikowych oraz utrzymywanie liści przez lipę drobnolistną w sierpniu 2007 i 2008. Przed rekultywacją powierzchnie testowane pokryte były glebami przekształconymi mechanicznie (technosolami) w stopniu oznaczającym ich dewastację. W klasyfikacji PTG umieszczono je w taksonach gleb antropogenicznych o niewykształconym profilu oraz pararendzin antropogenicznych.

Analizę statystyczną przeprowadzono wykorzystując oprogramowanie Statistica for Windows 7.0. Wyznaczono statystyki podstawowe oraz korelacje między wskaźnikami stanu gleb na poziomie  $\alpha = 0,05$ .

## WYNIKI I Dyskusja

W glebach miejskich odnotowywana jest duża zmienność właściwości, wynikająca m.in. z zalegania w nich dużej ilości antropogenicznych materiałów glebotwórczych, głównie pozostałości pobudowlanych oraz odpadów komunalnych. Odzwierciedla to procesy inwestycyjne, zachodzące w miastach przez dziesiątki, setki, a nawet tysiące lat. Co za tym idzie, w profilach glebowych pojawiają się poziomy o znacznych zdolnościach sorpcyjnych zarówno na ich powierzchni, jak też głęboko pod nią. Dodatkowo materiały te mogą być wymieszane z rodzimymi lub tworzyć warstwy, rozdzielające poziomy glebowe, co uwidoczniło na fotografiach 1–3.

Zdegradowane gleby obszarów zurbanizowanych są przed założeniem na nich terenów zieleni miejskiej poddawane rekultywacji najczęściej przez firmy budowlane zgodnie z zasadą ustawową, że do naprawy szkody zobowiązany jest jej sprawca. Sorpcja glebowa na terenach zieleni miejskiej jest poprawiana najczęściej przez wniesienie materii organicznej (czasem pochodzenia odpadowego – komposty z odpadów komunalnych, osadów ściekowych i inne) i dużo rzadziej materiałów ilastych (np. materiał odpadowy z cegielni). Problemem w obydwu działaniach jest sposób wnoszenia materiałów użyźniających – często powierzchniowy, bez wymieszania z podłożem rodzimym (fot. 4, tab. 2). Jest to niewłaściwe w przypadku materii organicznej z uwagi na jej szybką degradację w warunkach niedostatecznego uwilgotnienia, a w przypadku materiałów mineralnych za

sprawą radykalnej zmiany krążenia wody w profilu glebowym (znaczny spływ powierzchniowy). Niewłaściwa aplikacja sorbentów powoduje konieczność ponowienia działań rekultywacyjnych, co najczęściej oznacza likwidację założenia zieleni.

Gleby miejskie za sprawą działań rekultywacyjnych, a niekiedy też przesunięcia do profili glebowych materiałów skalnych mogą wykazywać wzbogacenie w części słaźwialne (tab. 1) wobec powszechnie występujących wokół Zielonej Góry gleb bielicoziemnych (maks. zaw. 14% wobec 4% w glebach bielicoziemnych). Analogiczne zjawisko obserwowane jest w przypadku zawartości węgla organicznego (maks. zaw. 5,5% wobec 2,3%). Omawiane składniki wykazują duże wahania, co wskazuje na przypadkowość doboru technik i technologii rekultywacyjnych oraz stosowanej agrotechniki. W ślad za wzbogaceniem gleb w materiały o wysokiej zdolności sorpcji zmianie ulegają właściwości sorpcyjne, wyrażane przez: Hh, S, T i V. Podwyższone w technosolach: suma kationów o charakterze zasadowym (S), wysycenie kompleksu sorpcyjnego zasadami (V) oraz odczyn ilustrują typowe zjawisko chaotycznej gospodarki na placach budów materiałami zawierającymi wapno oraz odpady pobudowlane. Wysoka przepuszczalność opisywanych gleb sprawia, że rzadko na terenie Zielonej Góry spotyka się gleby o wysokiej zawartości metali ciężkich. Zgodnie z wyznacznikami IUNG, 0 i I stopień zanieczyszczenia wykazuje około 97% próbek glebowych badanych na zawartość Cd, 92% – Cu, 98% – Ni, 75% – Zn i 90% – Pb. W centrum miasta spotykane są także gleby wykazujące IV i V stopień zanieczyszczenia Cu i Pb.

TABELA 1. Właściwości wybranych gleb terenów pozamiejskich, podmiejskich i miejskich  
TABLE 1. Properties of the chosen soils of outer, suburban and urban areas

Opis gleby** Soil description	<0,02 m	Corg TOC	pH w – in 0,01M CaCl <sub>2</sub>	Hh	S BC	T CEC	V BS	Potenc. dostępność Cu, Pb i Zn (%) Potential availability of Cu, Pb and Zn*		
								%	cmol·kg <sup>-1</sup>	%
Gleby bielcowe Haplic Podzols	1-4	0,0-1,0	4,1-4,9	0,5-3,3	0,7-2,0	1,2-4,9	32,2-55,9	20-30	63-71	17-25
Gleby rdzawe Haplic Arenosols	2-4	0,2-2,3	3,5-4,2	1,1-5,1	2,4-5,4	3,5-9,0	46,2-60,7	53-86	32-57	33-84
Hortisole Anthrosols	1-10	0,5-2,6	6,7-6,9	0,5-0,9	1,6-20,7	21,0-21,6	75,8-95,9	11-22	3-43	7-30
Gleby inicjalne Technosols	2-14	0,2-1,6	7,2-7,5	0,0-0,3	14,0-23,9	14,0-24,0	98,2-100,0	25-73	20-60	19-34
Gł. antropog. o niewyższ. profilu Technosols	4-10	0,1-3,0	5,3-6,8	0,4-5,8	2,8-16,1	3,2-21,8	73,7-95,7	14-62	18-94	15-32
Pararzędziny antrop. Technosols	1-12	0,5-5,5	6,8-8,0	0,2-1,0	3,6-24,2	3,9-25,0	91,5-96,7	2-57	21-72	20-34

\* – udział formy potencjalnie dostępnej w zbliżonej do całkowitej; the potentially accessible form to subtotal form ratio; \*\* klasyfikacja wg PTG i WRB; acc. to PSSS and WRB taxonomy

TABELA 2. Wybrane, istotne statystycznie korelacje między właściwościami gleb miejskich  
TABLE 2. Chosen, statistical important correlations between properties of the urban soils

Korelowane właściwości Correlated properties		Współczynnik korelacji Correlation coefficient	n
Właściwości gleb Soil properties	Udział formy potencjalnie dostępnej w zbliżonej do całkowitej The potentially accessible form to subtotal form ratio		
Próbki z głębokości 0–20 cm – Samples collected from layers 0–20 cm			
Corg. – TOC	Pb	–0,44	32
T – CEC	Cu	–0,59	
	Pb	–0,57	
Ca <sub>zbliz. do calk.</sub> Ca <sub>subtotal</sub>	Cu	–0,68	
	Pb	–0,67	
	Zn	–0,51	
Próbki z głębokości do 150 cm -- Samples collected from depth till 150 cm			
S – BC	Cu	–0,39	529
	Pb	–0,45	
Ca <sub>zbliz. do calk.</sub> Ca <sub>subtotal</sub>	Cu	–0,39	523
	Pb	–0,41	

TABELA 3. Ocena stanu roślinności miejskich terenów zieleni  
TABLE 3. Overall condition estimation of plants growing on municipal green areas

Kategorie gruntów Ground categories	Ocena stanu – State evaluation			
	Zdrowotność drzew i krzewów Trees and shrubs general condition	Utrzymanie liści przez lipę Trees holding leaves	Pokrycie trawnika Lawn cover	Barwa liści Leaves colour
Grunty mineralne, nieużyzniane Mineral grounds, without fertility enhancement	1–2	1–2	1–2	1–2
Grunty wzbogacone w materię organiczną Grounds with organic matter addition	3–4	4–5	3–4	3–4
Grunty o relatywnie wyższej zawartości materii ilastej Grounds with relative higher content of clay materials	4–5	3–4	3–4	3–4

1 – najgorszy stan – the worst state, 5 -- najlepszy stan – the best state

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono zaskakująco wysoki udział formy rozpuszczalnej Cu i Pb w zawartości zbliżonej do całkowitej (tab. 1), szczególnie wysoki (Cu do 73%, Pb do 94%) w glebach z domieszaną materią gruzową (technosole), o zasadowym odczynie (pH sięgającym 7–8). Stosunkowo niskie wartości charakteryzowały

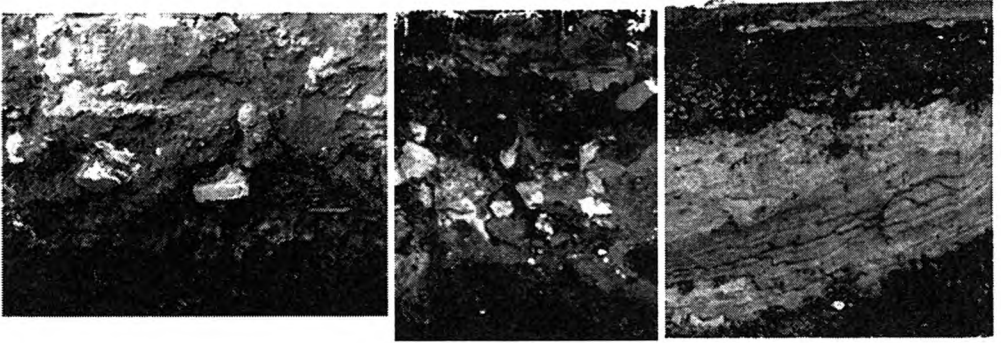


FOTO 1–3. Przykładowe profile glebowe technosoli z analizowanego obszaru, o różnym rozmieszczeniu materiałów antropogenicznych  
 PHOTO 1–3. Chosen technosols soil sections from the analyzed area, with different anthropogenic materials lay-out

horthisole, co może być uzasadniane wysoką zawartością materii organicznej (Cu do 22%, Pb do 43%). Cynk zachowywał się w zbliżony sposób w technosolach i horthisolach, charakteryzując się maksymalnym udziałem w granicach 30–34%. Utwory nieprzekształcone, reprezentowane na badanym obszarze głównie przez gleby bielicoziemne, charakteryzują się także wysokim udziałem formy rozpuszczalnej w zawartości zbliżonej do całkowitej Cu, Pb i Zn, co wiązać należy z kwaśnym odczynem i słabymi właściwościami sorpcyjnymi. Znaczną obecność form rozpuszczalnych metali ciężkich w glebach miejskich potwierdzają badania Hirscha i Banina [1990], McBride'a i Bouldina [1984] oraz Ge, Murraya i Hendershota [2000]. Sugeruje to możliwość pojawienia się ryzyka ich toksyczności w warunkach np. lokalnego zakwaszenia podłoża (ryzosfera, depozycja kwaśnych materiałów, wniesienie torfu wysokiego, kory drzew iglastych i inne działania). Odczyn, obok właściwości sorpcyjnych gleb, jest w literaturze opisywany jako ważny czynnik, wpływający na dostępność metali ciężkich dla roślin [Basta i in. 2005]. Lock i Janssen [2003] zauważyli zależność biodostępności metali ciężkich od czasu ich zalegania w glebie. Stwierdzili oni, że przy zasadowym odczynie gleby i wysokiej biodostępności wyjściowej metali ciężkich może ona ulec z czasem zmniejszeniu w wyniku sorpcji. Prawidłowość ta nie jest wyraźna w odniesieniu do gleb kwaśnych. Cytowane badania wskazują na zasadność wczesnego podejmowania działań rekultywacyjnych, zmierzających do unieruchomienia metali ciężkich w glebie. Odrębna analiza statystyczna



FOTO 4. Niewłaściwa praktyka powierzchniowego naniesienia materii torfowej  
 PHOTO 4. Inappropriate practice of superficial peat matter spreading



FOTO 5–6. Pozytywny efekt rekultywacji terenu przydrożnego przy ul. Łużyckiej i Wyszyńskiego w Zielonej Górze po zastosowaniu materiału gliniastego i materii organicznej  
PHOTO 5–6. The positive effect of roadside reclamation near Łużycka and Wyszyńskiego St. in Zielona Góra after clay material and organic matter addition

wyników dla poziomów wierzchnich (0–20 cm) i głębszych kolejnych poziomów z profili glebowych technosoli wskazuje na odmienność właściwości zdeponowanych w glebach materiałów. Wyraźne jest skorelowanie udziału formy potencjalnie dostępnej Cu i Pb w zbliżonej do całkowitej z zawartością w poziomach wierzchnich materii organicznej i wapnia. W poziomach niżej położonych pierwszoplanowe znaczenie ma w tej mierze zawartość wapnia i suma kationów o charakterze zasadowym (tab. 2). Nie wyklucza to możliwości wystąpienia innych relacji, pojawiających się w glebach pogrzebanych oraz w przypadku umieszczenia materii próchnicznej lub organicznej na dnie wykopów przed ich zasypaniem [Burghardt 1995; Hiller, Meuser 1998; Greinert 2003].

W wielu opracowaniach przyjmuje się podwyższoną zawartość metali ciężkich w roślinach jako świadectwo chemicznej degradacji środowiska [Brookes 1998; Kabata-Pendias, Pendias 1992]. Dla praktyki kształtowania terenów zieleni ważny jest nie tylko skład chemiczny, lecz także jego następstwa fizjologiczne w postaci rozwoju i wyglądu roślin. Chociaż w dużej mierze są to cechy trudne do jednoznacznego zdefiniowania i analizy – zwarty pokrój, jednolite kwitnienie, tworzenie plam barwnych itp., to ich określenie jednak nie jest bezzasadne. W tabeli 3 zestawiono kilka kategorii, mogących służyć ocenie stanu zieleni na terenach rekultywowanych.

Jim [2001] podaje przykłady odmiennej reakcji roślin na skażenie podłoża o różnych właściwościach sorpcyjnych. Sorpcja skutecznie zmniejsza biodostępność zanieczyszczeń kumulowanych w glebach. Na opisywanym obszarze stwierdzono długofalowo lepszy efekt użytkowania gleb przed założeniem zieleńców przy pomocy materiałów ilastych niż materii organicznej. Ta jednak także przyniosła wyraźną poprawę w stosunku do zieleńców założonych bezpośrednio na podłożu rodzimym nieużytnym (tab. 3). Wysoka ranga materii organicznej jako składnika podłoża i sorbentu metali ciężkich została opisana przez Wang i Qina [2006], Rieuwertsa i in. [1998] oraz Turera i Maynarda [2003].

## WNIOSKI

1. Właściwości gleb miejskich w dużej mierze kształtowane są w drodze działań rekultywacyjnych, wykonywanych przed założeniem terenów zieleni.

2. Przekształcone antropogenicznie gleby miejskie charakteryzują się znaczną zmiennością właściwości fizyczno-chemicznych w obrębie jednostek taksonomicznych.
3. Charakterystyczną cechą badanych technosoli jest wysoki udział form rozpuszczalnych Cu, Pb i Zn w zawartości zbliżonej do całkowitej.
4. Dobre efekty, wyrażone jakością zieleńców, obserwowane są w przypadku wzbogacenia technosoli w materię ilastą oraz materię organiczną (najczęściej wnoszoną w postaci torfów i ziem ogrodniczych), co prowadzi do zwiększenia sorpcji glebowej i unieruchomienia metali ciężkich.

## LITERATURA

- ARBEITSKREIS FÜR BODENSYSTEMATIK DER DBG 1998: Systematik der Böden und der bödenbildenden Substrate Deutschlands. *Mitteilungen der DBG* **86**: 1–180.
- BAKER D.E., AMACHER M.C. 1982: Nickel, copper, zinc, and cadmium. W: *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Methods*. Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (red.) American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, Madison, WI: 323–336.
- BASTA, N.T., RYAN, J.A., CHANEY, R.L. 2005: Trace element chemistry in residual-treated soils: key concepts and metal bioavailability. *J. Environmental Quality* **34**: 49–63.
- BLUME H.P., SUKOPP H. 1976: Ökologische Bedeutung anthropogener Bodenveränderungen. *Schriftenreihe f. Vegetat.* **10**.
- BLUME H.P., RUNGE M. 1978: Genese und Ökologie innerstädtischer Böden aus Bauschutt. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **141**: 727–740.
- BRAUN S., FLUCKIGER W. 1998: Soil amendments for plantings of urban trees. *Soil & Tillage Research* **49**: 201–209.
- BROOKS R.R. 1998: Geobotany and hyperaccumulators. W: *Plants That Hyperaccumulate Heavy Metals*. Brooks R.R. (red.) CAB International, Wallingford, Oxon, United Kingdom: 55–94.
- BURGHARDT W. (red.) 1996: *Urbaner Bodenschutz*. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg: 246 ss.
- BURGHARDT W. 1995: Classification concept of substrates and soils from urban and industrial sites. W: *Contaminated Soil* W.J. Van Den Brink, R. Bosman andf. Arendt (red.)'95, Kluwer Academic Publishers: 187–188.
- GE Y., MURRAY P., HENDERSHOT W.H. 2000: Trace metal speciation and bioavailability in urban soils. *Environmental Pollution* **107**: 137–144.
- GE Y., HENDERSHOT W. 2005: Modeling sorption of Cd, Hg and Pb in soils by the NICA [non-ideal competitive adsorption] – Donnan model. *Soil and Sediment Contamination* **14**: 53–69.
- GREINERT A. 2000: *Ochrona i rekultywacja terenów zurbanizowanych*. Wydaw. PZ, Zielona Góra: 216 ss.
- GREINERT A. 2003: *Studia nad glebami obszaru zurbanizowanego Zielonej Góry*. Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego: 167 ss.
- HILLER D.A., MEUSER H. 1998: *Urbane Böden*. Springer Verlag, Berlin - Heidelberg: 161 ss.
- HIRSCH D., BANIN A. 1990: Cadmium speciation in soil solutions. *J. Environmental Quality* **19**: 366–372.
- JIM C.Y. 2001: Managing Urban Trees and Their Soil Envelopes in a Continuously Developed City Environment. *Environmental Management* **28**, 6: 819–832.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1992: *Trace elements in soils and plants* (2nd ed.) CRC Press, Boca Raton, Florida: 365 ss.
- LOCK K., JANSSEN C.R. 2003: Influence of aging on metal availability in soils. *Review of Environmental Contamination and Toxicology* **178**: 1–21.
- McBRIDE M.B., BOULDIN D.R. 1984: Long-term reactions of copper (II) in a contaminated calcareous soil. *Soil Science Society of America Journal* **48**: 56–59.
- McGRATH S.P., CUNLIFFE C.H. 1985: A simplified method for the extraction of the metals Fe, Zn, Ni, Pb, Cr, Co, Mn from soils and sewage sludges. *J. Sci. Food Agric.* **36**: 794–798.

- RIEUWERTS J.S., THORNTON L, FARAGO M.E., ASHMORE M.R. 1998: Factors influencing metal bioavailability in soils: preliminary investigations for the development of a critical loads approach for metals. *Chem. Speciat. Bioavailability* **10** (2): 61–75.
- SCHEFFER F., SCHACHTSCHABEL P. 1992: Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart: 491 ss.
- TURER D.G., MAYNARD J.B. 2003: Heavy metal Contamination in highway soils. Comparison of Corpus Christi, Texas and Cincinnati, Ohio shows organic matter is key to mobility. *Clean. Techn. Environ. Policy* **4**: 235–245.
- PTG 1998: Systematyka Gleb Polski, Wydanie czwarte. Trzcziński W. (red.) *Rocz. Glebozn.* **40**, 3/4: 62 ss.
- WANG X.S., QIN Y. 2006: Spatial distribution of metals in urban topsoils of Xuzhou (China): controlling factor and environmental implications. *Environ Geol.* **49**: 897–904.
- WRB 2006: World Reference Base for Soil Resources 2006. World Soil Resources Report 103. IUSS, ISRIC, WSI, FAO. Rome: 145 ss.

*Dr hab. inż. Andrzej Greinert, prof. nadzw.  
Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska  
Instytut Inżynierii Środowiska, Zakład Ochrony i Rekultywacji Gruntów  
65-256 Zielona Góra, ul. Prof. Z. Szafrana 15  
E-mail: A.Greinert@iis.uz.zgora.pl*