

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN-POLONIA

VOL. LIV, 17

SECTIO E

1999

Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego
Akademii Rolniczej w Lublinie

STANISŁAW BARAN

*Możliwości ograniczenia migracji metali ciężkich
w warunkach rolniczego wykorzystania osadów ściekowych*

Possibilities of Limitation of Heavy Metals Migration in the Conditions of Agricultural
Utilization of Sewage Sludge

Procesy przetwarzania technologicznego surowców i materiałów, a także działalność bytowa człowieka przyczyniają się do powstawania znacznej ilości odpadów, bardzo często zróżnicowanych pod względem chemicznym (2, 4, 5, 12, 15). Do takich odpadów zalicza się osady ściekowe, które zawierają w znacznych ilościach substancję organiczną i składniki biogenne, co preferuje ich wykorzystanie jako nawozów organicznych. Osady mogą w zależności od genezy zawierać składniki niekorzystne, w tym metale ciężkie (4, 15), co może ograniczać zakres ich przyrodniczego wykorzystania.

Metale ciężkie zalicza się do szczególnie groźnych zanieczyszczeń środowiska przyrodniczego. Wiąże się to m.in. z ich zdolnością do bioakumulacji, co przyczynia się do szybkiej degradacji, a nawet dewastacji gleb (1, 4, 12, 15). Niebezpieczeństwo zwiększa się, gdy warunki glebowe sprzyjają transformacji metali w formy ruchome (2, 6, 8, 10, 11, 16), których intensywne przemieszczanie się do łańcucha pokarmowego stwarza szczególne zagrożenie dla zwierząt i człowieka. Zjawisko to bardzo często obserwowane jest na glebach lekkich, z natury zakwaszonych, który to czynnik sprzyja mobilności metali ciężkich (4, 12, 14). Dla warunków Polski problem ten jest szczególnie, gdyż udział tych gleb wynosi około 50% (5).

W tym świetle przyrodnicze wykorzystanie odpadów organicznych staje się koniecznością, co zmusza do szukania metod optymalizacji właściwości tych odpadów oraz rekultywacji i higienizacji gleb zanieczyszczonych metalami cięż-

kimi, w tym ograniczenia ich migracji do łańcucha pokarmowego (3, 4, 7, 9, 10, 11, 13).

Celem niniejszych badań jest ocena wpływu płonej skały górniczej, węglanu wapnia i wermikompostu na ograniczanie rozpuszczalności ołowiu, kadmu, miedzi i cynku oraz przemieszczania się ich do organizmów roślinnych z gleby użyźnionej osadem ściekowym.

METODYKA BADAŃ

Wegetacyjne doświadczenie wazonowe przeprowadzono stosując piasek słabogliniasty, pochodzący z poziomu A₁ gleby brunatnej kwaśnej, do którego zastosowano osad ściekowy z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków w Końskich, powstały z oczyszczania ścieków komunalnych (70%) i przemysłowych (30%). Jako substancje mające wpływać na zmniejszenie rozpuszczalności metali ciężkich zastosowano: wermikompost wytworzony z osadu ściekowego, płoną skałę górniczą z KWK Bogdanka oraz węglan wapnia. Obiekty kontrolne stanowiły wazon bez nawożenia organicznego oraz nawożone obornikiem. Wermikompost wytworzono kompostując osad przy udziale dżdżownicy kalifornijskiej (*Red Hybrid of California*) przez okres wegetacyjny. Jako wazon użyto pojemniki z polipropylenu o pojemności 12 dm³, do których wprowadzono badane materiały w następujących wariantach: gleba – kontrola, gleba + obornik (30 Mg/ha) – kontrola, gleba + osad ściekowy (10%), gleba + osad ściekowy (10%) + skała płona (5%), gleba + osad ściekowy (10%) + CaCO₃ (1H_b), gleba + wermikompost (10%). Każdy wariant realizowano w czterech powtórzeniach. Ciężar podłoża w każdym wazonie wynosił 10 kg.

W pierwszym roku po zastosowaniu nawożenia mineralnego w g/wazon: N – 0,20 (1/2 pogłównie); P – 0,32; K – 0,48, wysiano kukurydzę odmiany Pionier. Zbiór dokonano w fazie dojrzałości mleczno-woskowej. W roku drugim po zastosowaniu nawożenia mineralnego w g/wazon: N – 0,18; P – 0,20; K – 0,24, wysiano jęczmień jary, który zebrano w fazie dojrzałości pełnej.

Przeprowadzono również badania laboratoryjne nad intensywnością sorpcji metali ciężkich przez badaną skałę płoną. W tym celu 10 g skały płonej zalano 25 cm³ roztworu o znanym stężeniu Pb⁺², Zn⁺², Cd⁺², Cu⁺², wytrząsano je przez godzinę, odstawiono na 20 godzin, a następnie wytrząsano jeszcze przez 2 godziny. W przesączach oznaczono zawartość metali i obliczono ich sorpcję przez skałę.

W pobranych próbach gleb oznaczono: skład granulometryczny metodą Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego, pH potencjometrycznie w 1 M KCl, kwasowość hydrolityczną w 1 M CH₃COONa, kationy zasadowe w wyciągu 0,5 M NH₄Cl (pH – 8,2), zawartość węgla (C_t) metodą Tiurina.

Zawartość metali ciężkich w uzyskanym z prowadzonych badań materiale biologicznym (odpady, gleba, rośliny) oznaczono metodą absorpcji atomowej.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie metodą wieloczynnikowej analizy wariancji oraz wielokrotnych przedziałów ufności T-Tukeya.

WYNIKI BADAŃ

Zastosowana w doświadczeniu gleba to kwaśny piasek słabogliniasty o niskiej zawartości kationów zasadowych i substancji organicznej (tab. 1). Również zawar-

Tab. 1. Wybrane właściwości materiałów zastosowanych w doświadczeniu
Selected properties of the materials used in the experiment

Właściwość	Jednostka	Gleba	Osad ściekowy	Wermikom- post z osadu ściekowego	Płona skała górnicza
<i>pH</i> w KCl		4,61	6,01	5,64	4,58
<i>H_b</i>	cmol(+)·kg ⁻¹	2,19	4,73	3,75	2,25
<i>T</i>	cmol(+)·kg ⁻¹	2,41	54,77	57,23	16,06
<i>V</i>	%	9,13	91,36	90,00	85,99
Pb ogólny	mg/kg	8,4	125,0	120,0	49,0
Zn ogólny	mg/kg	33,0	2500,0	2400,0	75,0
Cu ogólna	mg/kg	3,45	86,0	80,0	28,2
Cd ogólny	mg/kg	0,50	5,0	3,80	1,25
C ogółem	mg/100 g	1116	21000	16800	12840

tość w niej analizowanych metali ciężkich jest niska i odpowiada glebom terenów rustykalnych (12).

Osad ściekowy posiada lekko kwaśny odczyn oraz wysoką zawartość substancji organicznej i kationów zasadowych. Charakteryzuje się również dość wysoką zawartością cynku, a także ołowiu i kadmu (4, 12, 15). Wytworzony z osadu wermikompost posiada nieco gorszy odczyn i mniejszą zawartość substancji organicznej, ale większą zawartość kationów zasadowych. Proces kompostowania wpłynął na obniżenie zawartości analizowanych metali ciężkich.

Tab. 2. Skład mineralogiczny skały płonej z Bogdanki
Mineralogical composition of barren rock from Bogdanka

Wyszczególnienie	Zawartość (%)
Kaolinit, ilit, chloryt	64,5
Muskowit, skalenie, kwarc	30,3
Piryty, syderyt	5,2

Płona skała górnicza posiada kwaśny odczyn, niską zawartość badanych metali ciężkich oraz znaczną zawartość węgla elementarnego. W jej składzie mineralogicznym dominują frakcje ilaste (tab. 2), odznaczające się zdolnością do sorpcji metali ciężkich (tab. 3).

Zastosowanie tych substancji do gleby lekkiej użyźnionej osadem ściekowym spowodowało zmniejszenie rozpuszczalności metali ciężkich (tab. 4). Skała płona zmniejszała rozpuszczalność metali ciężkich z największą intensywnością, zależną także od rodzaju metalu: Cd (51,0%) > Pb (28,3%) > Cu (24,0%) > Zn (15,3%) – średnio: 29,65% – co w pełni potwierdza wynik eksperymentu laboratoryjnego (tab. 3).

Tab. 3. Sorpcja metali ciężkich przez górnictwą skałę płoną
Sorption of heavy metals by the mining barren rock

Metal	Wartości dodane (mg/kg)	Wartości zasorbowane (mg/kg)	Wartości zasorbowane (%)
Pb	2,5	2,5	100,0
	25,0	24,3	97,2
	62,5	61,0	97,6
Zn	25,0	25,0	100,0
	250,0	245,0	98,0
	625,0	517,5	82,8
Cu	2,5	2,5	100,0
	25,0	24,1	96,4
	62,5	41,5	66,9
Cd	2,5	2,5	100,0
	25,0	25,0	100,0
	62,5	59,0	94,4

Wpływ węglanu wapnia na rozpuszczalność metali ciężkich w glebie był mniejszy niż skały płonej i szereguje metale w kolejności: Pb(28,3%)>Cu(21,0%)>Cd(18,4%)>Zn(17,9%) – średnio: 21,4%. Zabieg ten wymaga jednak stosowania nakładów materialnych oraz posiada, uwzględniając systematyczne zakwaszanie gleb (5,14), określony okres działania.

Ograniczenie rozpuszczalności metali ciężkich przez wermikompost było następujące: Pb (14,8%) > Cd (11,0%) > Cu (9,0%) > Zn (0,6%) – średnio: 8,85%. Wynika to z faktu, że związki humusowe dzięki specyficznej budowie posiadają zdolność adsorpcji oraz kompleksowania metali ciężkich, o czym decydują m.in. grupy funkcyjne: karboksylowe, karbonylowe, hydroksylowe, aminowe, fenolowe i inne (2, 7, 8, 16). Organiczne substancje humusowe wiążą kationy w postaci soli i helatów, których trwałość jest największa przy *pH* około 5, co w przypadku osadów ściekowych jest optymalne.

Zastosowanie omawianych substancji do gleby lekkiej użyźnionej osadem ściekowym, poprzez zmniejszenie rozpuszczalności metali, wywarło również

Tab. 4. Względne zmiany zawartości metali ciężkich (formy rozpuszczalne w 1 M HCl) w glebie lekkiej użyźnionej osadem ściekowym i przy stosowaniu badanych substancji detoksykacyjnych
Relative changes of the content of heavy metals (soluble forms in 1 M. HCl) in light soil fertilized with sewage sludge and after using the examined detoxication substances

Kombinacja	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cd (%)
Gleba + osad 10%	100,0	100,0	100,0	100,0
Gleba + osad 10% + skała płona 5%	70,6	84,7	76,0	49,0
Gleba + osad 10% + CaCO ₃ (1H _h)	71,7	82,1	79,0	81,6
Gleba + wermikompost 10%	85,2	99,4	91,0	89,0

wpływ na ich zawartość w uprawianych roślinach. Zakres tych zmian uzależniony był od stosowanych substancji, a także gatunku i organu rośliny oraz rodzaju metalu.

Zwiększenie zawartości metali w słomie kukurydzy pod wpływem osadu ściekowego było, w porównaniu z obiektami kontrolnymi i z wyjątkiem miedzi, istotne (tab. 5, 6). Zastosowane substancje obniżyły zawartość metali z różną intensywno-

Tab. 5. Zawartość metali ciężkich w kukurydzy (części zielne) uprawianej na glebie lekkiej użyźnionej osadem ściekowym i przy stosowaniu badanych substancji detoksykacyjnych
The content of heavy metals in maize (green parts) cultivated on light soil fertilized with sewage sludge and after using the examined detoxication substances

Kombinacja	Plon s.m. g/wazon	Pb mg/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg	Cd mg/kg
Gleba – kontrola I	7,31	1,24	30,7	3,50	0,08
Gleba + obornik 30 (Mg/ha) – kontrola II	12,51	1,25	30,7	2,90	0,07
Gleba + osad 10%	46,03	5,30	220,0	9,00	0,92
Gleba + osad 10% + skała płona 5%	49,69	4,24	140,0	6,80	0,63
Gleba + osad 10% + CaCO ₃ (1H _h)	50,08	4,30	160,0	6,48	0,62
Gleba + wermikompost 10%	55,74	4,20	180,0	5,48	0,58
NIR	15,78 **	1,77**	65,85**	5,66	0,56**

** p - 0,01.

ścią, ale wartości tych zmian były (z wyjątkiem cynku dla obiektu ze skałą płoną) nieistotne i uzależnione również od rodzaju metalu. W kukurydzy uprawianej na glebie z badanymi dodatkami zmniejszenie zawartości metali było wysokie i różne dla poszczególnych metali: skała płona: Zn(36,4%) > Cd(31,5%) > Cu(24,5%) > Pb(20,0%) – średnio 28,1%; CaCO₃: Cd(32,6%) > Cu(28,0%) > Zn(27,3%) >

Tab. 6. Względne zmiany zawartości metali ciężkich w kukurydzy (części zielne) uprawianej na glebie użyźnionej osadem ściekowym i stosowaniu badanych substancji detoksykacyjnych
Relative changes of the content of heavy metals in maize (green parts) cultivated on the soil fertilized with sewage sludge and after using the examined detoxication substances

Kombinacja	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cd (%)
Gleba + osad 10%	100,0	100,0	100,0	100,0
Gleba + osad 10% + skała płona 5%	80,0	63,6	75,5	68,5
Gleba + osad 10% + CaCO ₃ (1H _h)	81,8	72,7	72,0	67,4
Gleba + wermikompost 10%	79,2	81,8	60,9	63,0

Tab. 7. Zawartość metali ciężkich w ziarnie i słomie jęczmienia uprawianego na glebie lekkiej użyźnionej osadem ściekowym i przy zastosowaniu badanych substancji detoksykacyjnych
The content of heavy metals in grain and straw of barley cultivated on light soil fertilized with sewage sludge and after using the examined detoxication substances

Kombinacja ¹	Plon g s.m./wazon		Pb mg/kg		Zn mg/kg		Cu mg/kg		Cd mg/kg	
	ziarno	słoma	ziarno	słoma	ziarno	słoma	ziarno	słoma	ziarno	słoma
Gleba - kontrola I	2,28	6,23	0,05	1,61	25,3	50,0	2,10	3,40	0,05	0,10
Gleba + obornik 30 (Mg/ha) - kontrola II	2,42	7,61	0,08	1,43	30,0	50,0	2,70	3,65	0,10	0,15
Gleba + osad 10%	3,56	18,74	0,40	1,72	75,0	170,0	6,84	9,95	0,25	0,48
Gleba + osad 10% + skała płona 5%	3,47	22,45	0,26	1,23	62,4	131,5	4,90	7,84	0,17	0,40
Gleba + osad 10% + CaCO ₃ (1H _h)	3,36	22,45	0,29	1,35	65,3	146,4	5,75	8,35	0,19	0,40
Gleba + wermikompost 10%	3,55	14,24	0,37	1,68	72,8	158,4	6,25	9,25	0,23	0,47
NIR	0,47**	20,76	0,06**	0,07**	7,03**	34,51**	0,96**	1,54**	0,04**	0,03**

**p – 0,01.

Pb(18,2%) – średnio 26,5%; wermikompost: Cu(39,1%) > Cd(37,0%) > Pb(20,8%) > Zn(18,2%) – średnio 28,8%.

Zastosowanie osadu ściekowego do gleby lekkiej spowodowało istotny, w porównaniu z obiektami kontrolnymi, wzrost zawartości badanych metali (z wyjątkiem Pb w słomie) w ziarnie i słomie jęczmienia jarego (tab. 7).

W organach jęczmienia zmniejszenie zawartości metali ciężkich pod wpływem badanych substancji było bardziej zróżnicowane niż w kukurydzy (tab. 5, 7, 8).

Tab. 8. Względne zmiany zawartości metali ciężkich w ziarnie i słomie jęczmienia uprawianego na glebie lekkiej użyźnionej osadem ściekowym i przy stosowaniu badanych substancji detoksykacyjnych

Relative changes of the content of heavy metals in grain and straw of barley cultivated on light soil fertilized with sewage sludge and after using the examined detoxication substances

Wyszczególnienie	Pb (%)		Zn (%)		Cu (%)		Cd (%)	
	ziarno	słoma	ziarno	słoma	ziarno	słoma	ziarno	słoma
Gleba + osad 10%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Gleba + osad 10% + skała płona 5%	65,0	71,5	83,2	77,0	71,6	78,7	68,0	83,3
Gleba + osad 10% + $\text{CaCO}_3(1\text{H}_b)$	72,0	78,5	87,1	85,9	84,1	83,9	76,0	83,3
Gleba + wermikompost 10%	92,5	97,6	97,0	92,9	91,4	92,9	92,0	97,9

W ziarnie zmiany zawartości metali pod wpływem skały płonej były na tym samym poziomie co w kukurydzy, natomiast wpływ węglanu wapnia i wermikompostu był znacznie mniejszy, a kolejność metali była następująca: skała płona: $\text{Pb}(35,0\%) > \text{Cd}(32,0\%) > \text{Cu}(28,4\%) > \text{Zn}(16,8\%)$ – średnio 28,1%; CaCO_3 : $\text{Pb}(28,0\%) > \text{Cd}(24,0\%) > \text{Cu}(15,9\%) > \text{Zn}(12,9\%)$ – średnio 20,2%; wermikompost: $\text{Cu}(8,6\%) > \text{Pb}(8,0\%) > \text{Cd}(8,0\%) > \text{Zn}(3,0\%)$ – średnio 6,9%.

W słomie tej rośliny spadek zawartości metali pod wpływem badanych substancji szeregował metale w kolejności: skała płona: $\text{Pb}(28,5\%) > \text{Zn}(23,0\%) > \text{Cu}(21,3\%) > \text{Cd}(16,7\%)$ – średnio 22,4%, CaCO_3 : $\text{Pb}(21,5\%) > \text{Cd}(16,7\%) > \text{Cu}(16,1\%) > \text{Zn}(14,1\%)$ – średnio 17,1%, wermikompost: $\text{Cu}(7,1\%) = \text{Zn}(7,1\%) > \text{Pb}(2,4\%) > \text{Cd}(2,1\%)$ – średnio 4,7%.

Istotny spadek zawartości badanych metali ciężkich w organach tej rośliny odnotowano w wariantach z dodatkiem skały płonej i węglanu wapnia (tab. 7). Wermikompost obniżał wprawdzie zawartość metali, ale były to wartości nieistotne.

Reasumując, należy podkreślić, że zastosowane substancje przyczyniły się do obniżenia zawartości metali ciężkich w uprawianych roślinach. Na podkreślenie zasługuje korzystny w tej kwestii wpływ płonej skały górniczej. Poszerza to możliwości jej zagospodarowania, gdyż obecnie w większości jest deponowana na hałdach. Istotny jest również korzystny wpływ wermikompostu na ograniczenie przemieszczania metali ciężkich do łańcucha pokarmowego, gdyż poszerza to możliwości przyrodniczego zagospodarowania osadów ściekowych i innych odpadów organicznych.

WNIOSKI

1. Badane substancje w różnym stopniu zmniejszały rozpuszczalność metali ciężkich w glebie, co uzależnione było także od rodzaju pierwiastka: skała płona: Cd (51,0%) > Pb (28,3%) > Cu (24,0%) > Zn (15,3%) – średnio 29,65%, CaCO₃: Pb(28,3%) > Cu(21,0%) > Cd(18,4%) > Zn(17,9%) – średnio 21,4%; wermikompost: Pb (14,8%) > Cd (11,0%) > Cu (9,0%) > Zn (0,6%) – średnio 8,85%.

2. Wpływ stosowanych substancji na zawartość metali ciężkich w roślinach uzależniony był od ich rodzaju, gatunku i organu rośliny oraz rodzaju metalu:

a) w warunkach stosowania do gleby osadu ściekowego i skały płonej średni spadek zawartości metali w roślinach był następujący: kukurydza-słoma – 28,1%, jęczmień-ziarno – 28,1%, jęczmień-słoma – 22,4%;

b) w warunkach użyźniania gleby lekkiej wermikompostem średni spadek zawartości metali w roślinach w stosunku do kombinacji z osadem był następujący: kukurydza-słoma – 28,8%, jęczmień-ziarno – 6,9, jęczmień-słoma – 4,7;

c) w przypadku stosowania węglanu wapnia średni spadek stężeń metali w roślinach wynosił: kukurydza-słoma – 26,5%, jęczmień-ziarno – 20,2%, jęczmień-słoma – 17,1%;

d) badane substancje pod względem malejącego wpływu na zmniejszenie zawartości metali w roślinach tworzą szereg: kukurydza-słoma: wermikompost > skała płona > CaCO₃; jęczmień-ziarno: skała płona > CaCO₃ > wermikompost; jęczmień-słoma: skała płona > CaCO₃ > wermikompost.

PIŚMIENNICTWO

1. B a r a n S.: The Type of Sewage Sediments and the Mineralization Proces of Their Organic Substance and the Zinc Content in a Plant. Polish Journal of Soil Sc. vol. XXV/2, 135-140, 1992.
2. B a r a n S., F l i s-B u j a k M., K w i e c i e ń J.: Zmiany zawartości ołowiu, cynku i miedzi oraz substancji organicznej w glebach lekkich nawożonych osadami ściekowymi i ich wpływ na rośliny. Cz.IV. Mineralizacja substancji organicznej osadów i ich wpływ na rozpuszczalność metali ciężkich. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio E, vol. 45, Lublin 1990.
3. B a r a n S.: Przydatność osadu ściekowego do produkcji biohumusu przy udziale dżdżownicy kalifornijskiej. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, nr 116, 6-14, 1993.
4. B a r a n S., T u r s k i R.: Wybrane zagadnienia z utylizacji i unieszkodliwiania odpadów. AR Lublin 1995.
5. B a r a n S., T u r s k i R.: Degradacja, ochrona i rekultywacja gleb. AR Lublin, 1996.
6. B a r a n S.: Przemieszczanie się metali ciężkich do roślin w warunkach nawożenia gleb osadami ściekowymi. Chemia i Inżynieria Ekologiczna t.2, nr 1,23-35, 1995.
7. B a r a n S., Ż u k o w s k a G., P i e t r a s i k W., Z a l e s k i P., S z c z e p a n o w s k a I.: Przydatność wermikompostu z osadów ściekowych do rekultywacji i użyźniania gleb. Zeszyty Naukowe AR Kraków, nr 47, 33-44, 1996.

8. De Boedt M.F.: Application of the Sorption Theory to Eliminate Heavy Metals from Waste Waters Contaminated Soil. W. Bolt. G.M. al ed Interactions at the soil Colloid soil solution Interface Kluwer Acad. Publication, 1991.
9. Flis-Bujak M., Baran S., Turski R., Żukowska G.: Przemiany substancji organicznej w glebie lekkiej użyźnionej osadem ściekowym. Zesz. Probl. Pos. Nauk Rol., z. 409, 59-65, 1993.
10. Gworek B., Brogowski Z., Borowiak M.: Zastosowanie zeolitów do oczyszczania osadów ściekowych z metali ciężkich. Archiwum Ochrony Środowiska, z. 1, 1992.
11. Gworek B.: Wpływ zeolitów na pobieranie Pb przez rośliny z gleb o symulowanym zanieczyszczeniu. Roczn. Glebozn., t. XLIV, z. 1/2, Warszawa 1993.
12. Kabata-Pendias A., Pendias H.: Geochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa 1993.
13. Kalembsa S., Makowiecki K., Kalembsa D.: Skład chemiczny oraz frakcje azotu i węgla w biohumusach uzyskanych z osadów ściekowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., z. 409, 159-166, 1993.
14. Sapek B.: Wpływ wapnowania na zawartość i pobieranie Cd i Pb przez roślinność łąki trwałej. Roczn. Glebozn., t. XLII, nr 3/4, Warszawa 1991.
15. Siuta J. i wsp.: Przyrodnicze zagospodarowanie osadów ściekowych. PWN, Warszawa 1988.
16. Załeski P.: Możliwość rekultywacji gleb zanieczyszczonych przez wybrane metale ciężkie. Praca doktorska, AR Lublin, 1997.

SUMMARY

A pot experiment investigated the changes of soluble Pb, Zn, Cu and Cd in light soil fertilized with sewage sludge, where sludge vermicompost, mining barren rock and calcium carbonate were applied. The studies found out a differentiated effect of the examined substances on decreased solubility of heavy metals in the soil and on their transportation to the cultivated plants (maize, spring barley), which was also related to the kind of element.