

**Robert Rosa\*, Anna Zaniewicz-Bajkowska\*, Jolanta Franczuk\*,  
Edyta Kosterna\***

**WPŁYW WAPNOWANIA GLEBY NA AKUMULACJĘ OŁOWIU  
W SZEŚCIU ODMIANACH BURAKA CÍWKŁOWEGO**

**THE EFFECT OF SOIL LIMING ON THE LEAD ACCUMULATION IN THE  
SIX RED BEET CULTIVARS**

**Słowa kluczowe:** metale ciężkie, ołów, wapnowanie gleby, bioakumulacja, burak ćwikłowy.  
**Key words:** heavy metals, lead, soil liming, bioaccumulation, red beet.

*The effect of soil liming on the absorbing of lead by six red beet cultivars (Rywal, Czerwona Kula, Astar F<sub>1</sub>, Regulski Cylinder, Opolski, Crosby) was investigated. Significant influence of liming on the decrease of dissolvable lead quantity in soil was found. In non-limed soil indicated it 0.236 mg Pb·kg<sup>-1</sup> p.s.m. and in limed soil 0.208 Pb·kg<sup>-1</sup> p.s.m. Red beet cultivated in liming soil accumulated significantly less lead in storage roots and leaves than cultivated in non-limed soil. In the results of liming the quantity of lead in eatable part of red beet decreased an average by 7%. The least content of lead in roots cv 'Regulski Cylinder' and 'Rywal' was found, 2.06 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. and 2.10 mg·kg<sup>-1</sup> s.m., respectively. Significantly higher of lead had roots cv 'Crosby', 'Opolski' and 'Astar F<sub>1</sub>'. They are contained from 2.17 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. to 2.21 mg·kg<sup>-1</sup> s.m. of lead in roots. The least content of lead in leaves (2.24 mg·kg<sup>-1</sup> s.m.) was characterized cv 'Opolski'. Significantly more of lead in leaves cv 'Astar F<sub>1</sub>' (2.33 mg·kg<sup>-1</sup> s.m.) and 'Regulski Cylinder' (2.35 mg·kg<sup>-1</sup> s.m.) was found.*

## 1. WPROWADZENIE

Podstawowym źródłem składników odżywczych jest dla roślin gleba. Rośliny oprócz pierwiastków koniecznych do prawidłowego wzrostu i rozwoju czerpią także te, które są im zbędne, a w większym stężeniu stają się szkodliwe. Do grupy tej należą metale cięż-

---

\* *Dr inż. Robert Rosa, dr hab. Anna Zaniewicz-Bajkowska, dr hab. Jolanta Franczuk, dr inż. Edyta Kosterna – Katedra Warzywnictwa, Akademia Podlaska, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce; tel.: 25 643 12 76; e-mail: warzywa@ap.siedlce.pl*

kie, m.in. ołów. Rośliny uprawne zanieczyszczone metalami ciężkimi stanowią bezpośrednie zagrożenie zdrowia człowieka, powodując wiele chorób cywilizacyjnych [Czarnowska i Gworek 1994].

Za 75% zanieczyszczeń ołowiem pochodzenia antropogenicznego odpowiada spalanie benzyny w pojazdach mechanicznych [Hutton i Symon 1986, Bartnicki i in. 1994]. Znaczną część gruntów uprawnych położonych wzdłuż szlaków komunikacyjnych charakteryzuje zwiększona zawartość metali ciężkich. Według Niedźwieckiego i Malinowskiego [1998] na terenach otwartych oddziaływanie spalin samochodowych, emitujących m.in. ołów, dochodzi do 50 m. Wojnar i Herman [1994] odległość tę szacują nawet na 300 m.

Z roślin uprawnych największe możliwości magazynowania metali ciężkich, zarówno przez pobranie z gleby przez korzenie, jak i bezpośrednio z opadu suchego lub mokrego przez części nadziemne, wykazują warzywa [Jasiewicz i in. 1997]. Jackson i Alloway [1991] oraz Puschenreiter i in. [2005] są zdania, że podstawowym zabiegiem zmniejszającym zagrożenia związane ze zwiększoną zawartością metali ciężkich w glebach powinno być ich wapnowanie.

Celem badań było określenie wpływu wapnowania gleby na pobieranie ołowiu przez sześć odmian buraka ćwikłowego (Astar F<sub>1</sub>, Crosby, Czerwona Kula, Opolski, Regulski Cylinder, Rywal) oraz na zawartość dostępnych dla roślin form tego pierwiastka w glebie.

## 2. MATERIAŁ I METODY

Doświadczenia polowe przeprowadzono w latach 2005–2007 na terenie Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Zawadach, położonej 25 km na wschód od Siedlec.

W bezpośrednim sąsiedztwie miejsca założenia doświadczenia przebiega międzynarodowa droga E-30, o dużym natężeniu ruchu samochodowego.

Spaliny i materiały eksploatacyjne do samochodów są źródłem skażenia środowiska, m.in. związkami ołowiu, po obu stronach drogi.

Doświadczenie założono wzdłuż drogi w odległości 10 m od krawędzi jezdni. Powtórzenia zlokalizowano równoległe do drogi.

Badania prowadzono na glebie brunatnej właściwej, o średniej zawartości próchnicy 1,54% i poziomie próchnicznym sięgającym do głębokości 30–40 cm. Gleba ta jest zaliczana do klasy bonitacyjnej IVa, kompleksu żyniego dobrego. Przed założeniem doświadczenia pH gleby w H<sub>2</sub>O kształtowało się na poziomie 5,6. Warstwa orna gleby zawierała 72,92 mg·kg<sup>-1</sup> p.s.m. ołowiu oraz 0,236 mg·kg<sup>-1</sup> p.s.m. ołowiu przyswajalnego dla roślin.

Doświadczenie założono metodą split-blok w trzech powtórzeniach. Badano w nim wpływ następujących czynników:

### **A. Wapnowanie gleby:**

- gleba wapnowana nawozem wapniowym węglanowym zwyczajnym w ilości 2,0 t  $\text{CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,
- gleba niewapnowana;

### **B. Odmiany buraka ćwikłowego:**

- 'Rywal',
- 'Czerwona Kula',
- 'Astar F<sub>1</sub>',
- 'Regulski Cylinder',
- 'Opolski',
- 'Crosby'.

Powierzchnia poletek do zbioru wynosiła 12,5 m<sup>2</sup>. Przedplonem dla buraka ćwikłowego była kukurydza uprawiana na ziarno. Wapnowanie gleby na odpowiednie kombinacje wykonywano jesienią po zbiorze kukurydzy.

Nasiona sześciu odmian buraka ćwikłowego wysiewano w pierwszej dekadzie maja. Przed wysiewem stosowano nawożenie mineralne, w ilości 250 kg NPK·ha<sup>-1</sup> (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 2:2:3).

Buraki uprawiano zgodnie z zasadami prawidłowej agrotechniki. Zbiór korzeni i liści przeprowadzono w pierwszej dekadzie września. Podczas zbioru z każdego poletka pobrano reprezentatywne próby gleby (z warstwy ornej 0–30 cm) oraz części użytkowych buraka ćwikłowego w celu oznaczenia:

- całkowitej zawartości ołowiu w glebie (Pb-całkowity) oraz w korzeniach spichrzowych i liściach buraka ćwikłowego – metodą atomowej spektrofotometrii absorpcyjnej,
- zawartości związków ołowiu rozpuszczalnych w roztworze octanu amonu o pH 7,3, które przyjęto jako dostępne dla roślin – metodą atomowej spektrofotometrii absorpcyjnej.

Całkowitą zawartość ołowiu w glebie i w burakach ćwikłowych oznaczono po zastosowaniu roztwarzania mikrofalowego, które przeprowadzono w wysokociśnieniowym systemie mikrofalowym MLS-1200 MEGA firmy MILESTONE.

Ołów w mineralizatach uzyskanych z korzeni i liści buraków ćwikłowych i wyciągach glebowych (po zagęszczeniu do fazy organicznej z użyciem APDC) oznaczano metodą atomowej spektrofotometrii absorpcyjnej, na aparacie Solar 929 firmy ATI UNICAM.

Uzyskane wyniki wykorzystano do obliczenia wskaźników:

- rozpuszczalności (stosunek zawartości w glebie Pb-rozpuszczalnego do Pb-całkowitego);
- akumulacji (stosunek zawartości Pb w korzeniach i liściach buraka ćwikłowego do Pb-całkowitego w glebie).

Otrzymane wyniki badań opracowano statystycznie stosując analizę wariancji zgodnie z modelem matematycznym dla układu split-blok. Istotność różnicy średnich oceniono testem Tukey'a przy poziomie istotności  $p=0,05$ .

### 3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Całkowita zawartość ołowiu w glebie w odległości 10–30 m od krawędzi drogi E-30 wynosiła średnio  $72,86 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  p.s.m. i nie zmieniała się istotnie pod wpływem wapnowania (tab. 1). Zawartość ta przewyższała wartość dopuszczalną dla lekkich gleb uprawnych, określoną w rozporządzeniu Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa [1999], wynoszącą  $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. Z badań Curzydły [1997] oraz Zaniewicz-Bajkowskiej [2003] wynika, że przy drogach o dużym natężeniu ruchu zawartość ołowiu przewyższającą wartość dopuszczalną notuje się w odległości do 150 m od krawędzi jezdni.

**Tabela 1.** Zawartość ołowiu w glebie po wapnowaniu (średnie z lat 2005–2007)

**Table 1.** The lead content in soil after liming (mean for years 2005–2007)

Odmiana buraka ćwikłowego	Ołów całkowity ( $\text{mg Pb} \cdot \text{kg}^{-1}$ p.s.m.)			Ołów rozpuszczalny ( $\text{mg Pb} \cdot \text{kg}^{-1}$ p.s.m.)			Wskaźnik rozpuszczalności (%)		
	W	NW	$\bar{\chi}$	W	NW	$\bar{\chi}$	W	NW	$\bar{\chi}$
Rywal	72,91	72,86	72,89	0,208	0,234	0,221	0,29	0,32	0,30
Czerwona Kula	72,93	72,98	72,96	0,208	0,231	0,220	0,29	0,32	0,30
Astar F <sub>1</sub>	72,71	72,74	72,73	0,203	0,237	0,220	0,28	0,33	0,30
Regulski Cylinder	72,32	73,14	72,73	0,210	0,237	0,223	0,29	0,32	0,31
Opolski	72,76	72,92	72,84	0,207	0,236	0,221	0,28	0,32	0,30
Crosby	73,20	72,81	73,01	0,211	0,239	0,225	0,29	0,33	0,31
Średnio	72,81	72,91	72,86	0,208	0,236	0,222	0,29	0,32	0,30
NIR <sub>0,05</sub> dla:									
• wapnowania		n.i.			0,003			0,01	
• odmiany		n.i.			n.i.			n.i.	
• interakcji		n.i.			n.i.			n.i.	

**Objaśnienia:** W – gleba wapnowana; NW – gleba niewapnowana; n.i. – nieistotna.

Wapnowanie miało korzystny wpływ na zmniejszenie zawartości ołowiu rozpuszczalnego w glebie. Świadczą o tym także wartości wskaźników rozpuszczalności (tab. 1). W glebie niewapnowanej oznaczono zawartość ołowiu rozpuszczalnego wynoszącą  $0,236 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  p.s.m., a w glebie wapnowanej –  $0,208 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  p.s.m. Obliczone wskaźniki rozpuszczalności wskazują, że przyswajalne związki ołowiu stanowiły średnio 0,30% całkowitej jego zawartości w glebie. Dla gleby niewapnowanej wskaźnik rozpuszczalności wyniósł 0,32%, a dla gleby wapnowanej 0,29%. Różnica była statystycznie istotna.

Lityński i Jurkowska [1982] oraz Misztal i Ligęza [1995] podają, że ilość rozpuszczalnego ołowiu oraz procent rozpuszczalności jest tym większy, im gleba jest kwaśniejsza. Tyler i Olsson [2001] stwierdzili dwa wysokie poziomy koncentracji ołowiu w roztworze glebowym. Jeden przy pH 5,2–6,5, drugi zaś przy pH 7,5–7,8. Z kolei Blake i Goulding [2002] informują, że aktywność

Pb znacznie rośnie przy przy pH < 4,5. Według Barana i in. [1998] wapnowanie gleby lekkiej węglanem wapnia jest skuteczną metodą ograniczenia rozpuszczalności metali ciężkich.

W tabeli 2 przedstawiono zawartość ołowiu w korzeniach spichrzowych i liściach buraka ćwikłowego oraz wskaźniki jego akumulacji. Oznaczone zawartości ołowiu w częściach jadalnych buraków ćwikłowych ze wszystkich kombinacji przekraczały ustaloną rozporządzeniem Ministra Zdrowia [2003] dopuszczalną normę dla tego warzywa. Wynosi ona 0,10 mg Pb·kg<sup>-1</sup> św.m., co przy średniej zawartości suchej masy w burakach na poziomie 13% odpowiada ilości 0,77 mg Pb·kg<sup>-1</sup> s.m.

Stwierdzono, że buraki uprawiane w glebie wapnowanej akumulowały istotnie mniej ołowiu w częściach jadalnych od uprawianych na glebie niewapnowanej. W wyniku podniesienia odczynu gleby ilość ołowiu w burakach zmniejszyła się średnio o 7%.

**Tabela 2.** Zawartość oraz wskaźnik akumulacji ołowiu w buraku ćwikłowym (średnie z lat 2005–2007)

**Table 2.** Lead content and lead accumulation rate in red beet (mean for years 2005–2007)

Odmiana buraka ćwikłowego	Zawartość ołowiu (mg Pb·kg <sup>-1</sup> s.m.)			Wskaźnik akumulacji ołowiu		
	W	NW	$\bar{\chi}$	W	NW	$\bar{\chi}$
Korzenie spichrzowe						
Rywal	2,07	2,13	2,10	0,028	0,029	0,029
Czerwona Kula	2,05	2,21	2,13	0,028	0,030	0,029
Astar F <sub>1</sub>	2,09	2,33	2,21	0,029	0,032	0,030
Regulski Cylinder	1,99	2,13	2,06	0,028	0,029	0,028
Opolski	2,13	2,26	2,20	0,029	0,031	0,030
Crosby	2,09	2,25	2,17	0,029	0,031	0,030
Średnio	2,07	2,22	2,14	0,028	0,030	0,029
NIR <sub>0,05</sub> dla:						
• wapnowania	0,02			0,001		
• odmiany	0,05			0,001		
• interakcji	n.i.			n.i.		
Liście						
Rywal	2,19	2,42	2,30	0,030	0,033	0,032
Czerwona Kula	2,16	2,35	2,26	0,030	0,032	0,031
Astar F <sub>1</sub>	2,27	2,40	2,33	0,031	0,033	0,032
Regulski Cylinder	2,29	2,40	2,35	0,032	0,033	0,032
Opolski	2,15	2,34	2,24	0,030	0,032	0,031
Crosby	2,20	2,40	2,30	0,030	0,033	0,032
Średnio	2,21	2,38	2,30	0,030	0,033	0,032
NIR <sub>0,05</sub> dla:						
• wapnowania	0,02			0,001		
• odmiany	0,08			0,001		
• interakcji	n.i.			n.i.		

**Objaśnienia:** W – gleba wapnowana; NW – gleba niewapnowana; n.i. – nieistotna.

Zawartość ołowiu w korzeniach spichrzowych buraków uprawianych na glebie wapnowanej wynosiła  $2,07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ , a na glebie niewapnowanej  $2,22 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  Liście buraków z gleby wapnowanej zawierały  $2,21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ , a z niewapnowanej  $2,38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  ołowiu. Misztal i Ligęza [1995] podają, że wraz ze wzrostem wartości pH gleby następuje na ogół ograniczenie pobierania ołowiu przez rośliny.

Jak wynika z przedstawionych danych więcej ołowiu pobrały części nadziemne buraków ćwikłowych. Curzydło [1997] twierdzi, że ołów ze spalin samochodowych akumuluje się głównie w organach kontaktujących się bezpośrednio z opadającymi zanieczyszczeniami. Kabata-Pendias i Pendias [1993] natomiast podają, że w miarę wzrostu stężenia ołowiu w roztworze glebowym bardziej wzrasta jego ilość w korzeniach, a w mniejszym stopniu w częściach nadziemnych.

Najmniejszą zawartość ołowiu stwierdzono w korzeniach odmian 'Regulski Cylinder' ( $2,06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ) i 'Rywal' ( $2,10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ). Istotnie większą skłonność do bioakumulacji tego pierwiastka w korzeniach miały odmiany: 'Crosby', 'Opolski' i 'Astar F<sub>1</sub>'. Zawierały one od  $2,17$  do  $2,21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  ołowiu. Najmniejsza zawartość ołowiu w liściach ( $2,24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ) charakteryzowała odmianę 'Opolski'. Istotnie więcej ołowiu stwierdzono w liściach odmian 'Astar F<sub>1</sub>' ( $2,33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ) i 'Regulski Cylinder' ( $2,35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ).

Obliczone wskaźniki akumulacji ołowiu wskazują na małą jego ruchliwość. Wyniosły one średnio  $0,029$  dla korzeni i  $0,032$  dla liści buraka ćwikłowego. Wartości te są zgodne z podanymi przez Allowaya i Ayresa [1999], którzy twierdzą, że wskaźnik akumulacji ołowiu w roślinach jest niski i kształtuje się w przedziale  $0,01-0,1$ .

Niski współczynnik przenikania ołowiu z gleby do roślin świadczy o silnej jego sorpcji w glebie i małej dostępności biologicznej dla roślin. W omawianym doświadczeniu pod wpływem wapnowania gleby wskaźniki akumulacji ołowiu dla korzeni i liści buraka ulegały istotnemu obniżeniu.

Istotnie najmniejszy wskaźnik akumulacji ołowiu w korzeniach ( $0,028$ ) miała odmiana 'Regulski Cylinder', istotnie największy ( $0,030$ ) odmiany 'Astar F<sub>1</sub>', 'Opolski' i 'Crosby'. Najmniejszy wskaźnik akumulacji ołowiu w liściach ( $0,031$ ) charakteryzował odmiany 'Czerwona Kula' i 'Opolski', istotnie większym ( $0,032$ ) pozostałe testowane odmiany.

#### 4. WNIOSKI

1. Wapnowanie gleby spowodowało spadek stężenia w roztworze glebowym dostępnych dla roślin form ołowiu oraz obniżenie wskaźnika jego rozpuszczalności.
2. Buraki uprawiane na glebie wapnowanej charakteryzowała istotnie mniejsza zawartość ołowiu w korzeniach spichrzowych i liściach od zawartości ołowiu w korzeniach i liściach buraków uprawianych bez wapnowania. Pomimo wapnowania gleby zawartość ołowiu w częściach jadalnych buraków przewyższała dopuszczalną normę.
3. Liście buraków ćwikłowych pobrały więcej ołowiu niż korzenie spichrzowe.

4. Najmniejszą skłonność do bioakumulacji ołowiu w korzeniach miały odmiany 'Regulski Cylinder' i 'Rywal', a w liściach odmiana 'Opolski'. Najwięcej ołowiu w korzeniach stwierdzono u odmian 'Crosby', 'Opolski' i 'Astar F<sub>1</sub>', a w liściach u odmian 'Astar F<sub>1</sub>' i 'Regulski Cylinder'

## PIŚMIENICTWO

- ALLOWAY B.J., AYRES D.C. 1999. Chemiczne podstawy zanieczyszczenia środowiska. PWN, Warszawa.
- BARAN S., MARTYN W., BOJARSKI J. 1998. Wpływ wermikompostu z osadu ściekowego i węgla wapnia na migrację metali ciężkich do łańcucha troficznego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 461: 111–120.
- BARTNICKI J., HREHORUK J., OLENDZYŃSKI K. 1994. Oszacowanie udziału Polski w atmosferycznym transporcie metali ciężkich na obszar Europy. Arch. Ochr. Środ. 3–4: 39–66.
- BLAKE L., GOULDING K.W.T. 2002. Effects of atmospheric deposition, soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamsted Experimental Station, UK. Plant and Soil 240: 235–251.
- CURZYDŁO J. 1997. Wpływ ruchu samochodowego i zanieczyszczeń motoryzacyjnych na zdrowie ludzi oraz skażenie metalami ciężkimi gleby i roślin. Mat. Sesji Nauk. „Metodyka oceny oddziaływania autostrady na grunty orne i leśne”, Kraków: 39–49.
- CZARNOWSKA K., GWOREK B. 1994. Pierwiastki śladowe w warzywach liściowych i owocach z ogrodów działkowych dzielnicy Warszawa-Mokotów. Roczn. Glebozn. XLV 1/2: 37–43.
- HUTTON M., SYMON C. 1986. The Quantities of Cadmium, Lead, Mercury and Arsenic Entering the U.K. Environment from Human Activities. Sci. Total Environ. 57: 409–419.
- JACKSON A.P., ALLOWAY B.J. 1991. Bioavailability of cadmium to lettuce and cabbage in soils previously treated with sewage sludges. Plant and Soil 132/2: 179–186.
- JASIEWICZ C., BUCZEK J., SENDOR R. 1997. Zawartość niklu w ziemniakach uprawianych w sąsiedztwie szlaków komunikacyjnych. Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol. 488 b: 81–86.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1993. Biochemia pierwiastków śladowych. PWN. Warszawa.
- LITYŃSKI T., JURKOWSKA H. 1982. Żyzność gleby i odżywianie się roślin. PWN. Warszawa.
- MISZTAŁ M., LIGEŻA S. 1995. Wpływ odczynu, wilgotności i czasu inkubacji na rozpuszczalność metali ciężkich w glebie zanieczyszczonej przez hutę cynku. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 418: 466–472.
- NIEDŹWIECKI E., MALINOWSKI R. 1998. Właściwości chemiczne gleb leśnych przyległych do drogi nr 115 w obrębie planowanego przejścia granicznego w Dobieszynie. Fol. Agric. Stetin. 186, Agric. 69: 65–78.

- PUSCHENREITER M., HORAK O., FRIESL W., HARTL W. 2005. Low-cost agricultural measures to reduce heavy metal transfer into food chain – a review. *Plant, Soil and Environ.* 51: 1–11.
- Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 11 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków, jakie muszą być spełnione przy wykorzystywaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe.** Dz.U. Nr 72, poz. 813.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 r. w sprawie maksymalnych poziomów zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych, które mogą znajdować się w żywności, składnikach żywności, dozwolonych substancjach dodatkowych, substancjach pomagających w przetwarzaniu albo na powierzchni żywności.** Dz.U. Nr 37, poz. 326.
- TYLER G., OLSSON T. 2001. Concentrations of 60 elements in the soil solution as related to the soil acidity. *Europ. J. Soil Sci.* 52: 151–165.
- WOJNAR K., HERMAN H. 1984. Obliczanie rozproszenia zanieczyszczeń komunikacyjnych na podstawie modelu źródła liniowego i powierzchniowego. *Arch. Ochr. Środ.* 2: 25–31.
- ZANIEWICZ-BAJKOWSKA A. 2003. Znaczenie nawożenia organicznego i wapnowania w uprawie warzyw na glebach o podwyższonej zawartości kadmu i ołowiu. *Rozpr. Nauk.* 71, Akademia Podlaska, Siedlce.