

\*Marzena GIBCZYŃSKA<sup>1</sup>, Sławomir STANKOWSKI<sup>2</sup>, Jacek MAZUR<sup>3</sup>,  
Leokadia LEWANDOWSKA<sup>1</sup>

## BADANIE ZAWARTOŚCI KADMU ORAZ ODCZYNU W PODŁOŻACH WYKONANYCH Z POPIOŁÓW FLUIDALNYCH LUB GLEBY W POŁĄCZENIU Z OSADAMI ŚCIEKOWYMI, SŁOMĄ I PREPARATEM (EM-1)

## STUDY OF CADMIUM CONTENT AND pH IN THE MEDIA MADE OF FLUIDAL ASH OR SOIL IN COMBINATION WITH THE SEWAGE SLUDGE, STRAW AND EFFECTIVE MICROORGANISMS PREPARATION (EM-1)

<sup>1</sup>Zakład Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

<sup>2</sup>Katedra Agronomii, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

<sup>3</sup>Katedra Inżynierii Sanitarnej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

**Abstract.** The aim of the three-year research project was to assess the impact of digested sewage sludge, wheat straw and EM-1 preparation on changes of the cadmium content and pH in the media made on the basis of soil and ash. Effective microorganisms preparation (EM-1) and ceramic powder EM-X, provided by the Greenland Company, were used as activators of biochemical processes. *Festulolium braunii* (Felopa cultivar) was grown in a pots. The acidification of the media consist of soil or ash and sewage sludge, wheat straw and EM-1 microbiological preparation has been obtained after three years. No effect of added components on changes of the cadmium content in the media based on soil and fluidal ash from coal has been found. Cadmium content in the investigated fluidal ash from coal and sewage sludge was not a limiting factor for their use as fertilizer and for land reclamation purposes.

**Słowa kluczowe:** efektywne mikroorganizmy, kadm, osad ściekowy, popiół fluidalny.

**Key words:** cadmium, effective microorganisms, fluidal ash, sewage sludge.

### WSTĘP

Jednym z problemów ekologicznych jest wytwarzanie coraz większej ilości odpadów paleniskowych pochodzących głównie ze spalania węgla w kotłach fluidalnych. Postępująca rozbudowa sieci kanalizacyjnych, modernizacja istniejących oczyszczalni ścieków, a przede wszystkim budowa nowych obiektów powoduje, że z każdym rokiem rośnie masa wytwarzanych osadów ściekowych. W Polsce w 2010 roku wytworzono 4 miliony ton popiołów lotnych z węgla, a w komunalnych oczyszczalniach ścieków powstało 526,7 tys. Mg suchej masy osadów (GUS 2011).

---

\* Adres do korespondencji – Corresponding author: prof. dr hab. Marzena Gibczyńska, Zakład Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Juliusza Słowackiego 17, 71-434 Szczecin, e-mail: marzena.gibczynska@zut.edu.pl.

Przyrodnicze zastosowanie osadów ściekowych łagodzi zarówno problem wysokich kosztów nawożenia mineralnego, jak i zagospodarowania nadmiaru osadów ściekowych. Zawarte w osadach ściekowych makro- i mikroskładniki są dobrze wykorzystywane przez rośliny, a nagromadzona w nich pełnowartościowa materia organiczna przyczynia się do poprawy bilansu związków próchnicznych (Wołoszyk i in. 2006, Gawdzik 2010).

Jednym ze sposobów poprawy efektywności pobierania składników pokarmowych z podłoża jest stosowanie preparatów z efektywnymi mikroorganizmami. Technologia Efektywnych Mikroorganizmów (EM) została wdrożona w 1982 roku przez Teruo Higa z Rolniczego Uniwersytetu Ryukyus na Okinawie (Mau 2012). W skład preparatów EM wchodzi ponad 80 gatunków mikroorganizmów występujących w środowisku (bakterie fotosyntetyzujące, bakterie kwasu mlekowego, drożdże, grzyby i promieniowce – [www.emgreen.pl](http://www.emgreen.pl)).

Jednym z czynników ograniczających rolnicze wykorzystanie osadów ściekowych są zawarte w nich metale ciężkie. Rolnicze użycie osadów ściekowych jest dopuszczalne, jeśli zawartość kadmu nie przekroczy  $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. osadu. Z kolei graniczną zawartością kadmu pozwalającą na wykorzystanie osadów ściekowych do rekultywacji na cele nierolne jest  $25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. osadu (DzU z 2010 nr 137 poz. 924).

Wielokierunkowy charakter toksycznego działania kadmu na organizm jest uwarunkowany działaniem różnych mechanizmów. Kadm wypiera cynk i miedź z kompleksów z metalotioneiną oraz selen, żelazo i wapń z metaloenzymów. Tworzy różnego typu wiązania chemiczne z reaktywnymi grupami funkcyjnymi ( $-\text{SH}$ ,  $-\text{OH}$ ,  $-\text{COOH}$ ,  $\text{NH}_2$ ), ważnych biologicznie makrocząsteczek, co może prowadzić do stresu oksydacyjnego (Czeczot i in. 2009).

Zagrożenie środowiska przyrodniczego silnie toksycznym kadmem jest duże, ponieważ podlega on geochemicznej koncentracji, jak również bioakumulacji (Kabata-Pendias 2000). W roztworze glebowym kadm występuje zwykle w postaci łatwo rozpuszczalnych soli oraz kompleksów ze związkami organicznymi (Bonda i in. 2007).

Kadm wykazuje dużą mobilność i fitoprzyswajalność, które wzmagają się wraz ze spadkiem pH gleby, niezależnie od jej typu, powodując wzrost koncentracji pierwiastka w roślinach (Japony i Young 1994, Appel i Ma 2002, Jin i in. 2002, Baran i in. 2007, Hrebela 2008). Według wielu autorów, kadm jest metalem stosunkowo łatwo i intensywnie pobieranym przez rośliny, proporcjonalnie do jego stężenia w środowisku (Gruca-Królikowska i Waclawek 2006, Kucharczak i Moryl 2010). Dostępność kadmu dla roślin można ograniczyć przez zabiegi agrotechniczne, w tym wapnowanie (Ciećko i in. 2000, Symanowicz 2005).

Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu przefermentowanych osadów ściekowych, słomy pszennej i preparatu Efektywne Mikroorganizmy EM-1 na zmiany odczynu i zawartości kadmu w podłożach wykonanych na bazie gleby, jak i popiołów fluidalnych z węgla kamiennego.

## MATERIAŁ I METODY

### Warunki prowadzenia doświadczenia wazonowego

Opis trzyletniego (lata 2007–2009) doświadczenia, charakterystykę zastosowanych materiałów oraz schemat wariantów nawozowych opisali Gibczyńska i in. (2011). Badania obejmowały osiem wariantów nawozowych i podzielone były na dwie części różniące się

materiałem stanowiącym podstawę podłoża. W jednej części wykorzystano glebę, a w drugiej popiół fluidalny z węgla kamiennego. Do doświadczenia użyto następujące komponenty: glebę lekką (piasek gliniasty lekki, klasa bonitacyjna VI), popiół fluidalny z Elektrociepłowni Żerań firmy Vattenfall Heat Polska S.A., słomę pszenną, osad ściekowy, pochodzący z komunalnej oczyszczalni ścieków z Przelewic (tab. 1 i 2).

Tabela 1. Zmiany odczynu podłoży wykonanych na bazie gleby  
Table 1. Changes of the pH of the media made on the basis of soil

Nr No.	Wariant The variant	Lata doświadczenia Years of experiment			Średnie Mean
		2007	2008	2009	
1	Gleba – Soil	7,20	7,47	6,58	7,08
2	Gleba + osady ściekowe + słoma Soil + sewage sludge + straw	7,09	7,30	6,70	7,03
3	Gleba + osady ściekowe + słoma + EM-1 Soil + sewage sludge + straw + EM-1	7,29	7,13	6,64	7,02
4	Gleba + osady ściekowe + słoma + EM-1 + EM-X Soil + sewage sludge + straw + EM-1 + EM-X	7,35	7,15	6,66	7,05
Średnie – Mean		7,23	7,26	6,64	7,04
NIR; LSD $\alpha \leq 0,05$		0,092	r.n. i.d.	r.n. i.d.	–

r.n. – różnica nieistotna – i.d. – insignificant difference.

Tabela 2. Zmiany odczynu podłoży wykonanych na bazie popiołu  
Table 2. Changes of the pH of the media made on the basis of ash

Nr No.	Wariant The variant	Lata doświadczenia Years of experiment			Średnie Mean
		2007	2008	2009	
1	Popiół – Ash	8,87	8,23	7,48	8,19
2	Popiół + osady ściekowe + słoma Ash + sewage sludge + straw	8,07	7,61	7,30	7,66
3	Popiół + osady ściekowe + słoma + EM-1 Ash + sewage sludge + straw + EM-1	8,05	7,49	7,30	7,61
4	Popiół + osady ściekowe + słoma + EM-1 + EM-X Ash + sewage sludge + straw + EM-1 + EM-X	8,09	7,70	7,38	7,72
Średnie – Mean		8,27	7,76	7,36	7,80
NIR; LSD $\alpha \leq 0,05$		0,375	r.n. i.d.	r.n. i.d.	–

r.n. – różnica nieistotna – i.d. – insignificant difference.

### Metodyka analiz chemicznych

Po każdym ostatnim pokosie *Festulolium braunii* z wazonów pobrano próbki podłoża za pomocą laski Egnera i wykonano analizę chemiczną materiału doświadczalnego.

W celu oznaczenia ogólnej zawartości kadmu w podłożach próbki zostały mineralizowane w mieszaninie kwasów azotowego(V) i chlorowego(VII) w proporcji 1 : 1, a następnie wykonano pomiary spektrometrem absorpcji atomowej SOLAAR AA SERIES (PN-ISO 11047:2001). Odczyn oznaczono potencjometrycznie według normy PN-ISO 10390/1970. Wszystkie średnie wartości pH, jako funkcji logarytmicznej, ustalono przez przeliczenie ich na stężenia jonów wodorowych  $[H^+]$  i po uśrednieniu, ponownym przeliczeniu pH ( $-\log [H^+]$ ). Stosowane w dalszej części artykułu uproszczone sformułowania „odczyn (pH) podłoża/gleby” odnoszą się do odczynu ekstraktu wodnego (pH w  $H_2O$ ) oznaczonego zgodnie z PN-ISO 10390/1970.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej, wykorzystując wartości półprzedziałów ufności wyliczone testem Tukeya, przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  (program FR-ANALWAR opracowany przez prof. dr. hab. Franciszka Rudnickiego).

## WYNIKI I DYSKUSJA

### Odczyn podłoży badanych w doświadczeniu

W pierwszym roku trwania doświadczenia, po zakończeniu pokosów *Festulolium braunii*, pH gleby wynosiło 7,20 (tab. 1). Dodanie do gleby osadu ściekowego spowodowało jej zakwaszenie. Obecność preparatu mikrobiologicznego zniwelowała zakwaszający wpływ osadu ściekowego. Po upływie pierwszego roku odczyn popiołu fluidalnego (ekstrakt wodny) był wyższy o około 1,5 jednostki pH w porównaniu z glebą kontrolną (tab. 1 i 2). Najwyższa wartość pH ekstraktu wodnego popiołu fluidalnego wynosiła 8,87. Odczyn zasadowy spowodowany był obecnością w popiele znacznych ilości wapnia i magnezu (8,4 i 1,4%).

Wprowadzenie do podłoży z popiołem osadów ściekowych spowodowało zakwaszenie tych podłoży. Zakwaszający wpływ osadów ściekowych wynika między innymi z faktu, że rozkład związków organicznych prowadzi do tworzenia się ditlenku węgla (Sakała i in. 2004, Xu i in. 2006). W podłożach z popiołem dodanie preparatu EM-1 nie miało wpływu na zmiany odczynu podłoży.

Po zakończeniu okresu wegetacyjnego, w 2008 roku, odczyn popiołu fluidalnego był wyższy o około 1,0 jednostkę w porównaniu z glebą kontrolną (tab. 1 i 2). Analogicznie jak w pierwszym roku doświadczenia, obecność osadów ściekowych spowodowała zakwaszenie podłoży z popiołem.

W 2009 roku odczyn ekstraktu wodnego popiołu fluidalnego był wyższy o około 0,5 jednostki w porównaniu z glebą kontrolną (tab. 1 i 2).

W porównaniu z danymi z 2007 w 2009 roku odczyn podłoży zawierających glebę uległ obniżeniu. Maksymalna różnica wynosząca 0,6 jednostki zanotowana została dla podłoża składającego się z gleby, osadów ściekowych i preparatu EM-1. Po trzech latach trwania doświadczenia podłoża, w których skład wchodził popiół, uległy zakwaszeniu. Najwyższą wartość obniżenia odczynu zanotowano dla podłoża z samym popiołem (zmniejszenie wartości o 1,4 jednostki pH).

Mniejsze końcowe zakwaszenie podłoży zawierających w swoim składzie osady ściekowe należy tłumaczyć tym, że związki organiczne, o właściwościach kwasowych, zawarte w osadach ściekowych, uległy stopniowej mineralizacji, a powstające ditlenek węgla i tlenki azotu ulotniły się do atmosfery. W podłożach pozostały pierwiastki (wapń, magnez) przesuujące odczyn w kierunku zasadowym.

### Zawartość kadmu w podłożach

Właściwości kadmu, pod względem chemicznym, są zbliżone do właściwości cynku, ale w przeciwieństwie do cynku kadm nie jest pierwiastkiem niezbędnym żywym organizmom. W rozporządzeniu ministra środowiska, dotyczącym standardów jakości gleby i jakości ziemi, dopuszcza się w wierzchnich poziomach nieruchomości gruntowych zawartość kadmu do  $1 \text{ mg Cd} \cdot \text{kg}^{-1}$  gleby (DzU 02.165.1359 2002).

Podłoża na bazie gleby zawierały od 0,4 do 0,9 mg Cd · kg<sup>-1</sup> podłoża. W podłożach z popiołem fluidalnym z węgla kamiennego ilość kadmu była wyższa i wynosiła od 0,9 do 1,3 mg Cd · kg<sup>-1</sup> podłoża. Porównując zawartość kadmu w analizowanych podłożach z graniczną jego zawartością, w wariantach z glebą nie odnotowano jej przekroczenia. W podłożach z popiołem, w dwóch pierwszych latach doświadczenia, zawartość kadmu przekraczała dopuszczalne wartości o około 20% (tab. 3 i 4).

Tabela 3. Zawartość kadmu w podłożach wykonanych na bazie gleby (mg Cd · kg<sup>-1</sup> podłoża)  
Table 3. The total cadmium content in the media made on the basis of soil (mg Cd · kg<sup>-1</sup> media)

Nr No.	Wariant The variant	Lata doświadczenia Years of experiment			Średnie Mean
		2007	2008	2009	
1	Gleba – Soil	0,4	0,5	0,5	0,5
2	Gleba + osady ściekowe + słoma Soil + sewage sludge + straw	0,5	0,5	0,6	0,5
3	Gleba + osady ściekowe + słoma + EM-1 Soil + sewage sludge + straw + EM-1	0,5	0,6	0,6	0,6
4	Gleba + osady ściekowe + słoma + EM-1 + EM-X Soil + sewage sludge + straw + EM-1 + EM-X	0,9	0,8	0,6	0,8
Średnie – Mean		0,6	0,6	0,6	0,6
NIR; LSD $\alpha \leq 0,05$		0,05	r.n. i.d.	r.n. i.d.	–

r.n. – różnica nieistotna – i.d. – insignificant difference.

Tabela 4. Zawartość kadmu w podłożach wykonanych na bazie popiołu (mg Cd · kg<sup>-1</sup> podłoża)  
Table 4. The total cadmium content in the media made on the basis of ash (mg Cd · kg<sup>-1</sup> media)

Nr No.	Wariant The variant	Lata doświadczenia Years of experiment			Średnie Mean
		2007	2008	2009	
1	Popiół – Ash	1,2	1,1	0,9	1,1
2	Popiół + osady ściekowe + słoma Ash + sewage sludge + straw	1,2	1,3	0,9	1,1
3	Popiół + osady ściekowe + słoma + EM-1 Ash + sewage sludge + straw + EM-1	1,2	0,9	0,9	1,0
4	Popiół + osady ściekowe + słoma + EM-1 + EM-X Ash + sewage sludge + straw + EM-1 + EM-X	1,3	1,0	0,9	1,1
Średnie – Mean		1,2	1,1	0,9	1,1
NIR; LSD $\alpha \leq 0,05$			r.n. i.d.	r.n. i.d.	–

r.n. – różnica nieistotna – i.d. – insignificant difference.

Na podstawie uzyskanych wyników nie stwierdzono wpływu dodanych komponentów na zmiany zawartości kadmu w podłożach wykonanych na bazie gleby, jak i popiołu fluidalnego.

Zawartość kadmu w osadach ściekowych była na zbliżonym, do popiołu fluidalnego, poziomie, to jest 1,3 mg Cd · kg<sup>-1</sup> podłoża. Na podstawie uzyskanych wyników nie stwierdzono wpływu wprowadzenia preparatu mikrobiologicznego EM-1 na zmiany zawartości kadmu w podłożach badanych w doświadczeniu.

Stwierdzono, że z upływem czasu sukcesywnie zmniejszała się zawartość kadmu w podłożach, szczególnie tych z popiołem fluidalnym z węgla kamiennego. Na podstawie wyników z doświadczenia obliczono korelację pomiędzy wartością pH a zawartością kadmu w podłożach i otrzymano istotną zależność ( $r = 0,768$ ). Wynika z tego, że przy niższym pH zawartość kadmu w podłożu jest mniejsza. Potwierdza to, że przy bardziej kwaśnym odczynie większa jest jego rozpuszczalność i dostępność dla roślin.

W ostatnim etapie przeprowadzonego doświadczenia podłoża zawierały kadmu poniżej  $1,0 \text{ mg Cd} \cdot \text{kg}^{-1}$  podłoża (tab. 4). Uzyskane wyniki wskazują, że zawartość kadmu w badanych popiołach fluidalnych z węgla kamiennego, jak i osadach ściekowych, nie jest czynnikiem ograniczającym możliwość ich zastosowania do celów nawozowych oraz rekultywacyjnych.

## WNIOSKI

1. Wprowadzenie komunalnych osadów ściekowych, w połączeniu ze słomą pszenną, do podłoży wykonanych na bazie gleby, jak i popiołu fluidalnego z węgla kamiennego, spowodowało ich zakwaszenie.

2. W trzecim, ostatnim roku badań uzyskano zakwaszenie podłoży składających się z gleby lub popiołu oraz osadów ściekowych, słomy pszennej i preparatu mikrobiologicznego EM-1.

3. Nie stwierdzono wpływu dodanych komponentów (osady ściekowe, słoma pszenna i preparat mikrobiologiczny EM-1) na zmiany zawartości kadmu w podłożach wykonanych na bazie gleby, jak i popiołu fluidalnego z węgla kamiennego.

4. Zawartość kadmu w badanych popiołach fluidalnych z węgla kamiennego, jak i osadach ściekowych nie była czynnikiem ograniczającym ich możliwość zastosowania do celów nawozowych i rekultywacyjnych.

## PIŚMIENICTWO

- Appel C., Ma L.** 2002. Concentration, pH and surface charge effects on cadmium and lead in three tropical soils. *J. Environ. Qual.* 31, 581–589.
- Baran A., Spałek I., Jasiewicz C.** 2007. Zawartość metali ciężkich w roślinach i gruntach przylegających do wybranych stacji paliw w Krakowie. *Materiały II Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych.* Kraków 2007, 265–272.
- Bonda B., Włostowski T., Krasowska A.** 2007. Metabolizm i toksyczność kadmu u człowieka i zwierząt. *Kosmos Probl. Nauk Biol.* 56 (1, 2) 87–97.
- Ciećko Z., Wyszowski M., Żołnowski A., Kozon E.** 2000. Plonowanie i skład chemiczny kukurydzy uprawianej na glebie zanieczyszczonej kadmem. *Zesz. Nauk. Kom. PAN Człow. Śr.* 26, 253–257.
- Czczot H., Skrzycki M., Majewska M., Podsiad, M., Karlik W., Grono D., Wiechetek M.** 2009. Zmiany aktywności enzymów GSH-zależnych w izolowanych hepatocytach szczura poddanych działaniu kadmu. *BROMAT. CHEM. TOKSYKOL.* – XLII, 1167–1176.
- Gawdzik I.** 2010. Specjacja metali ciężkich w osadzie ściekowym na przykładzie wybranej oczyszczalni komunalnej. *Ochr. Śr.* 32/4, 15–19.
- Gibczyńska M., Hury G., Romanowski M., Brzostowska-Żelechowska D., Tarasewicz D.** 2011. Zmiany zawartości żelaza i manganu w podkładach wykonanych z osadów ściekowych, słomy pszennej i popiołów fluidalnych z węgla kamiennego w połączeniu z efektywnymi mikroorganizmami (EM) oraz w uprawianej na nich trawie *Festulolium braunii* odmiany Felopa. *Folia Pomer. Univ Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zootech.* 283 (17), 15–24.
- Gruca-Królikowska S., Waclawek W.** 2006. Metale w środowisku, cz. II. Wpływ metali ciężkich na rośliny. *Chem., Dydakt., Ekol., Metrol.* 11 (1–2), 41–56.
- Hrebela N., Szatanik-Kloc A., Sokołowska Z.** 2008. Wpływ jonów kadmu na pozorną powierzchnię właściwą korzeni jęczmienia (*Hordeum vulgare*. L) *Acta Agrophys.* 12 (2), 337–345.
- Japony M., Young S.D.** 1994. The solid-solution equilibration of lead and cadmium in polluted soils. *E. J. Soil Sci.* 45, 59–70.

- Jin T., Nordberg M., Frech W., Dumont X., Bernard A., Ye T., Kong Q., Wang Z., Li P., Lundström N.G., Li Y., Nordberg G.F.** 2002. Cadmium biomonitoring and renal dysfunction among a population environmentally exposed to cadmium from smelting in China (ChinaCad). *Biometals* 15, 397–410.
- Kabata-Pendias A.** 2000. Biogeochemia kadmu. W: *Kadm w środowisku. Problemy ekologiczne i metodologiczne*. Kabata-Pendias A., Szteke B. (red.) PAN, Komitet Naukowy przy Prezydium PAN Człow. Śr., Zesz. Nauk. 26, 17–24.
- Kucharczak E., Moryl A.** 2010. Zawartość metali w roślinach uprawnych pochodzących z rejonu Zgorzelecko-Bogatyńskiego Część 1. Ołów, kadm, glin. *Ochr. Śr. Zasobów Nat.* 42, 52–61.
- Mały Rocznik Statystyczny Polski 2011.** GUS Warszawa 2011.
- Mau P.** 2012. EM Efektywne mikroorganizmy. Wydaw. Fundacja Źródło Życia. Baranów. ISBN 978-83-87-89-569-3.
- PN-ISO 10390/1970** – Jakość gleby – Oznaczenie pH.
- PN-ISO 11047:2001** – Jakość gleby – Oznaczenie kadmu, chromu, kobaltu, miedzi, ołowiu, manganu, niklu i cynku w ekstraktach gleby wodą królewską – Metody płomieniowej i elektrotermicznej absorpcyjnej spektrometrii atomowej.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z 9 września 2002 r.** w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. DzU 02.165.1359.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z 13 lipca 2010 r.** w sprawie komunalnych osadów ściekowych. DzU 2010 nr 137 poz. 924.
- Sakala G.M., Rowell D.L., Pilbeam C.J.** 2004. Acid-base reactions between an acidic soil and plant residues. *Geoderma* 123, 219-232.
- Symanowicz B.** 2005. Wpływ węgla brunatnych, osadów ściekowych oraz ich mieszanin i obornika na zawartość kadmu i ołowiu w podłożu glebowym i życicy wielokwiatowej (*Lolium multiflorum* Lam.). 1 *Acta Sci. Pol., Agricultura* 4 (2) 2005, 83–92.
- Wołoszyk C., Krzywy E., Iżewska A., Krzywy-Gawrońska E., Balcer K.** 2006. Wpływ bezpośredni i następczy komunalnego osadu ściekowego i słomy pszennej na wielkość plonu oraz zawartość makroskładników w roślinach testowych Zesz. Probl. Postępow. Nauk. Rol. 512, 647–660.
- Xu J.M., Tang S., Chen Z.L.** 2006. The role of plant residues in pH change of acid soils differing in initial pH, *Soil. Biol. Biochem.* 38, 709–719.
- Źródła internetowe:** [www.emgreen.pl](http://www.emgreen.pl) (4.03.2011 r.)

