

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 53, 2011: 207–216
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 53, 2011)
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 53, 2011: 207–216
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 53, 2011)

**Dariusz DMOCHOWSKI¹, Lidia GAJKOWSKA-STEFAŃSKA¹,
Anna DMOCHOWSKA², Radosław Karol PRESNAROWICZ**

¹Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska
Faculty of Environmental Engineering, Technical University of Warsaw

²Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego, Szkoła Główna Służby Pożarniczej
Fire Safety Engineering Faculty, The Main School of Fire Service

Ocena przydatności specjacji metali ciężkich w miejskich osadach pofermentacyjnych do produkcji trawników rolowanych

Application of heavy metals speciation in assessing suitability of municipal post-fermentation sludge for producing roll-out grass

Słowa kluczowe: specjacja, translokacja, bioakumulacja metali ciężkich w roślinach, miejskie osady pofermentacyjne, trawniki rolowane
Key words: speciation, translocation, bioaccumulation of heavy metals in plants, municipal sludge post-fermentation, rolling grass

Wprowadzenie

Obecnie stosowane kryteria przydatności gleb i osadów ściekowych do produkcji roślinnej oparte są na normatywnych wartościach zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska (2002b). Odnoszenie się jedynie do poziomu całkowitej zawartości metali

ciężkich w osadach ściekowych w przypadku badań ich migracji wydaje się być dużym uproszczeniem, niepozwalającym na rzeczywistą ocenę translokacji oraz kumulacji tych pierwiastków.

Translokacja, czyli przenoszenie metali ciężkich przez rośliny z gleby do ich części nadziemnych i korzeni, jest przydatnym sposobem ilościowego opisu względnych różnic w dostępności biologicznej metali dla roślin. Podobnie specjacja, której definicja została sformułowana przez Międzynarodową Unię Chemii Czystej i Stosowanej w 2000 roku, jako występowanie w badanym materiale różnych form fizycznych i che-

micznych danego pierwiastka, pozwala na określenie dróg migracji pierwiastków między różnymi elementami środowiska (Kalisz i in. 2004). Publikowane wyniki badań translokacji kadmu w roślinach konsumpcyjnych pozwoliły podzielić warzywa na grupy szczególnie kumulujące ten metal ciężki (Grys i Sady 1999, Domańska-Świątkiewicz i Sady 2001, Gruca-Królikowska i Waclawek 2006). Stosunek stężenia metalu w części nadziemnej większości roślin do ogólnej zawartości tego metalu w podłożu w dużym stopniu zależy od ich gatunku, a nawet odmiany. Istotnymi parametrami gleby, wpływającymi na proces translokacji, są: zawartość substancji organicznych, odczyn, wilgotność oraz zawartość niektórych makroelementów, takich jak: azot, fosfor, wapń, magnez i żelazo (Kabata-Pendias i Pendias 1993). Jednak decydujący wpływ na ten proces mają formy, w jakich te metale występują. Umownie wyróżnia się dwie grupy form metali, różniących się przyswajalnością przez rośliny. Do pierwszej grupy zalicza się formy labilne, do których należą hydratowane jony metali oraz małowartościowe, nieorganiczne związki kompleksowe, łatwo przyswajalne biologicznie. Druga grupa to inertne kompleksy metaloorganiczne, do której należą także bardzo trwałe kompleksy chelatowe (Stover i in. 1976).

Zdolność niektórych gatunków roślin do biokumulacji dużych ilości metali ciężkich jest coraz częściej wykorzystywana w procesach fitoremediacji, które efektywnie wspomagają oczyszczanie środowiska glebowego (Doma-

ńska-Świątkiewicz i Sady 2001, Gwóźdź i Kopyra 2003).

Obecnie ponad 500 oczyszczalni ścieków pracujących w Polsce to obiekty z III i IV stopniem oczyszczania, które umożliwiają skuteczne usuwanie zanieczyszczeń ze ścieków. W procesach tych powstają bardzo duże ilości osadów ściekowych. Koszty ich przeróbki, utylizacji i usuwania poza teren oczyszczalni stanowią 50% kosztów ogólnych oczyszczalni.

Wartość nawozowa tego typu osadów jest duża, porównywalna z wartością nawozową obornika naturalnego (Brzeski i Kaniuga 1957, Baran i Turski 1995). Jednak bariera psychologiczna związana ze źródłem ich pochodzenia, specyficzną strukturą osadów pofermentacyjnych, a przede wszystkim zazwyczaj dużą zawartością niektórych metali ciężkich powodują, że bardzo trudno znajdują one nabywcę, który mógłby je racjonalnie wykorzystać.

Jedną z możliwości zagospodarowania osadów pofermentacyjnych jest przemysłowa produkcja na ich podłożu trawników rolowanych. Od wielu lat darń wyprodukowana na bazie osadów ściekowych jest stosowana na świecie do rekonstrukcji trawników, budowy terenów rekreacyjnych oraz rekultywacji terenów zdegradowanych przez działalność przemysłową lub silną urbanizację.

Celem pracy była ocena biodostępności i mobilności metali ciężkich zawartych w miejskim osadzie pofermentacyjnym z wykorzystaniem procedury analitycznej – specjacji zaproponowanej przez Stovera [Stover i in. 1976].

Dodatkowo dokonano oceny stopnia translokacji metali ciężkich z osadu pofermentacyjnego do nadziemnej części traw i określono ich biokumulację w korzeniach.

Material i metody badań

Osad pofermentacyjny wykorzystany w badaniach laboratoryjnych do produkcji trawników rolowanych pochodził z miejskiej oczyszczalni ścieków 40-tysięcznego miasta, położonego w okolicach Warszawy. Ścieki oczyszczane są osadem czynnym z biologicznym usuwaniem substancji biogenych, a w końcowym etapie dodatkowo koagulowane siarczanem żelaza(II) z dodatkiem wodorotlenku wapnia w celu usunięcia nadmiernej ilości związków fosforu. Wszystkie osady, łącznie z osadem z chemicznego strącania fosforu, kierowane są do wydzielonych komór fermentacyjnych. Po procesie fermentacji osad odwadniany jest na prasach filtracyjnych

Do badań pobrano z prasy filtracyjnej 10 próbek jednorazowych, które połączono i dokładnie ujednorodniono, uzyskując próbę reprezentatywną (Kalisz i in. 2004). Podstawowy zakres badań osadu pofermentacyjnego został wykonany zgodnie z metodyką zawartą w Rozporządzeniu Ministra Środowiska 2002a.).

W celu oceny biodostępności i mobilności metali ciężkich zawartych w osadzie pofermentacyjnym wykorzystano procedurę specjacyjną. Sekwencyjnie stosowano w kolejności następujące ekstrahenty: KNO_3 , KF , $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, EDTA i HNO_3 . Zdefiniowano w ten sposób następujące frakcje metali cięż-

kich: jonowymienną, zaadsorbowaną, organiczną, węglanową oraz związaną z siarczkami.

Reprezentatywne próbki osadu pofermentacyjnego wykorzystano jako poletka doświadczalne do produkcji trawników rolowanych w warunkach laboratoryjnych. W dwóch kuwetach o wymiarach 70×100 cm ułożono warstwę keramzytu, folię dziurkowaną oraz 5-centymetrową warstwę osadu. W każdej kuwecie wysiano, zgodnie z zaleceniami producenta, po 25 g nasion na 1 m^2 podłoża:

- mieszanek nasion trawy boiskowej Super Sport o składzie: kostrzewa czerwona – areta (25%), kostrzewa czerwona – adio (25%), kostrzewa czerwona – mirena (15%), życica trwała (25%) i wierzchlina łąkowa – omar (10%),
- mieszanek trawnikową Uniwersalną o składzie: kostrzewa czerwona – corail (15%), życica trwała – colibra (6%), życica trwała – piamonte (34%), życica wielokwiatowa – mo-wester (25%), życica wielokwiatowa – turtetne (20%).

Po 3 miesiącach od wysiewu mieszanek traw z każdej kuwety, po przekątnej, wycięto wraz z osadem po 5 próbek jednorazowych, zgodnie z metodyką zamieszczoną w „Ćwiczenia z biochemii roślin” (Brzeski i Kaninga 1957). Pobrane próbki ułożono na bibułach filtracyjnych i w temperaturze pokojowej wstępnie podsuszono, oddzielając resztki podłoża od korzeni traw. Następnie odcięto zielone pędy od korzeni i dokładnie wypłukano wodą zdejonizowaną. Próbki ułożono na gęstej, polietylenowej siatce i suszono w temperaturze pokojowej do stanu powietrznie suchego. Powietrznie

suche próbki korzeni i pędów roztarto w moździerzu porcelanowym, a następnie wysuszono do stałej masy w suszarni elektrycznej z przewiewem, w temperaturze 80°C.

W suchym materiale roślinnym oznaczono azot ogólny metodą Kiejdahl'a oraz fosfor ogólny metodą mineralizacji do fosforu(V) z oznaczeniem spektrofotometrycznym. Całkowite stężenia metali ciężkich w 1-gramowych próbkach traw i osadów oznaczono metodą płomieniowej spektrometrii absorpcji atomowej, po mineralizacji mokrej, za pomocą mieszaniny stężonych kwasów azotowego i nadchlorowego w stosunku 3 : 1, w bombie teflonowej.

Omówienie wyników badań

Badania fizyczno-chemiczne osadu pofermentacyjnego, przedstawione w tabeli 1, wykazały bardzo duże stężenia fosforu ogólnego, wapnia, żelaza i manganu. Stosunek P/N wyniósł 1,26; Ca/Mg – 6, natomiast Fe/Mn – 13. Według danych literaturowych stosunek Fe/Mn powyżej 2,5 może niekorzystnie wpływać na procesy enzymatyczne zachodzące w większości roślin. Stężenie manganu w badanym osadzie pofermentacyjnym wynosiło 636,6 mg·(kg s.m.)⁻¹, było więc większe od granicznego stężenia określanego na 500 mg·(kg s.m.)⁻¹. Jednak tolerancja na nadmiar manganu jest bardzo zróżnicowana, nawet w obrębie poszczególnych gatunków czy odmian roślin (Kabata-Pendias i Pendias 1993, Alloway i Ayres 1999).

Wyniki badań zawartości makro- i mikroelementów w roślinach mieszanek traw po 3 miesiącach od momentu wy-

siania na osadzie pofermentacyjnym, przedstawione w tabelach 2 i 3, wskazują na bardzo wysoką biokumulację żelaza i manganu, prawie pięciokrotnie wyższą od wartości średnich dla traw według danych literaturowych (Kabata-Pendias i Pendias 1993, Żurek i Majtkowski 2009) zarówno w pędach, jak i korzeniach roślin.

Zawartość pozostałych metali ciężkich w pędach roślin według danych literaturowych była na poziomie wartości średnich (Kabata-Pendias i Pendias 1993, Dziadek i Waclawek 2005, Żurek i Majtkowski 2009). Natomiast w korzeniach roślin szczególnie duże były stężenia cynku, kadmu, ołowiu i niklu. Dwukrotnie więcej tych metali było w korzeniach roślin mieszanki Super Sport.

Wyniki badań biodostępności i mobilności metali ciężkich zawartych w osadzie pofermentacyjnym techniką specyficzną, przedstawione na rysunku 1, wykazały znacznie zróżnicowany rozkład metali we frakcjach najbardziej dostępnych dla traw, to jest jonowymiennej i zaadsorbowanej. Najmniejszą dostępność odnotowano dla cynku, wynoszącą tylko 4,2%, natomiast suma pierwszych dwóch frakcji była największa dla niklu i wynosiła 37,7%. Przeprowadzone badania wartości nawozowych osadu pofermentacyjnego potwierdziły, że jest ona porównywalna z obornikiem naturalnym. Badany osad posiadał uwodnienie 44,2%, odczyn pH 7,2, ogólną zawartość węgla organicznego 22% oraz wiele makroskładników niezbędnych dla produkcji roślinnej, w tym: azotu ogólnego – 1,96%, fosforu ogólnego – 2,4%, potasu – 0,2%, wapnia – 5,0% oraz magnezu – 0,84% (tab. 1).

RYSUNEK 1. Specjacja – udział procentowy poszczególnych frakcji metali ciężkich w badanym osadzie pofermentacyjnym

FIGURE 1. Speciation – the percentage of different fractions of heavy metals in the examined post-fermentation sediment

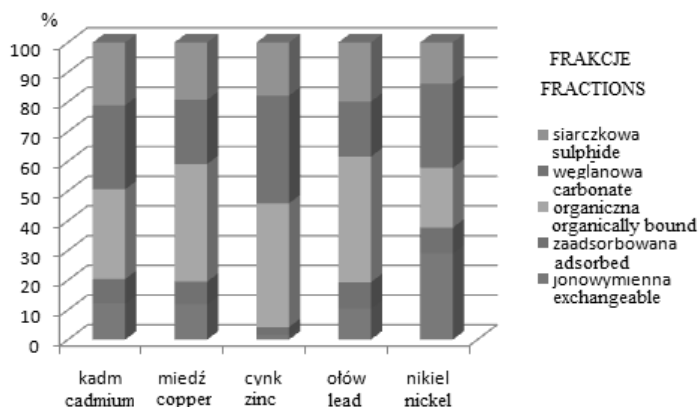


TABELA 1. Zawartość makro- i mikroelementów w surowym osadzie pofermentacyjnym i po 3 miesiącach od wysiewu mieszanek traw stosowanych do produkcji trawników rolowanych (wartości średnie arytmetyczne)

TABLE 1. Macro- and micronutrients content in the raw post-fermentation sediment and after 3 months of growth-cultures of two different grass mixtures used in the roll-out grass production

Wskaźnik Index	Jednostka Unit	Osad pofermentacyjny Sludge post-fermentation	Osad po 3 miesiącach wzrostu mieszanki Super Sport Sludge after 3 months compound growth Super Sport	Redukcja [%] Reduction	Osad po 3 miesiącach wzrostu mieszanki Uniwersalna Sludge after 3 month compound growth Uniwersalna	Redukcja [%] Reduction
Azot og. Nitrogen	% s.m.	1,96	1,49	24,00	1,44	26,30
Fosfor og. Phosphorus	% s.m.	2,40	2,32	3,30	2,26	5,85
Wapń Calcium	% s.m.	5,30	4,41	16,80	4,55	14,10
Magnez Magnesium	% s.m.	0,84	0,65	22,60	0,51	39,30
Żelazo og. Iron	mg·(kg s.m.) ⁻¹	8408,0	5667,0	32,60	5884,0	30,50
Mangan Manganese	mg·(kg s.m.) ⁻¹	636,6	417,0	34,40	448,0	29,60
Miedź Copper	mg·(kg s.m.) ⁻¹	181,5	131,6	27,50	172,0	5,22
Cynk Zinc	mg·(kg s.m.) ⁻¹	814,0	744,3	8,50	791,3	2,80
Chrom Chrome	mg·(kg s.m.) ⁻¹	131,9	99,4	24,60	126,8	3,80
Kadm Cadium	mg·(kg s.m.) ⁻¹	11,0	10,5	3,93	9,37	15,40
Ołów Lead	mg·(kg s.m.) ⁻¹	228,0	195,0	14,50	206,0	9,60
Nikiel Nickel	mg·(kg s.m.) ⁻¹	89,6	81,1	8,84	78,9	11,20

Wyniki badań osadu przeprowadzone po okresie 3-miesięcznej hodowli trawników rolowanych wykazały bardzo zbliżony procent redukcji makroskładników dla obu rodzajów mieszanek traw. Natomiast istotne różnice wystąpiły w biokumulacji niektórych metali ciężkich. Najwyższy stopień redukcji w podłożu, na którym wyrosła mieszanka trawy

boiskowej, wyniósł dla miedzi 27,5%, chromu 24,6%, ołowiu 14,5% (tab. 2).

Wyniki badań zawartości makro- i mikroelementów w roślinach mieszanek traw wysianych na osadzie pofermentacyjnym wskazują, że makro- i mikroelementy oraz metale ciężkie kumulowane były głównie w korzeniach. Ponad 90% metali ciężkich przeniesionych

TABELA 2. Zawartość makro- i mikroelementów oraz metali ciężkich w roślinach mieszanki Super Sport wysianej na osadzie pofermentacyjnym

TABLE 2. Content of macro- and micronutrients and heavy metals in the sport grass grown on the post-fermentation sludge

Wskaźnik Index	Jednostka Unit	Pędy traw Grass shoots	Korzenie Roots	Zawartość w pędach traw [%] Content in shoots of grass	Zawartość w korzeniach traw [%] Content in roots of grass
Azot og. Nitrogen	% s.m.	1,40	0,78	64,20	35,7
Fosfor og Phosphorus	% s.m.	0,89	1,12	44,20	55,7
Wapń Calcium	% s.m.	1,82	5,02	26,60	73,3
Magnez Magnesium	% s.m.	0,29	0,81	26,30	73,6
Żelazo Iron	mg·(kg s.m.) ⁻¹	1155,6	2264,8	33,70	66,2
Mangan Manganese	mg·(kg s.m.) ⁻¹	164,4	1074,0	13,20	86,7
Miedź Copper	mg·(kg s.m.) ⁻¹	20,1	184,3	9,80	90,1
Cynk Zinc	mg·(kg s.m.) ⁻¹	97,5	1147,0	7,80	92,1
Chrom Chrome	mg·(kg s.m.) ⁻¹	9,47	150,6	5,90	94,0
Kadm Cadium	mg·(kg s.m.) ⁻¹	0,17	1,17	12,6	87,3
Ołów Lead	mg·(kg s.m.) ⁻¹	14,0	177,4	7,32	92,6
Nikiel Nickel	mg·(kg s.m.) ⁻¹	7,43	105,8	6,56	93,4

z osadu pofermentacyjnego do roślin zostało zdeponowane w korzeniach roślin mieszanki Super Sport (tab. 2), a trochę mniej, bo od 82,14%, w korzeniach mieszanki Uniwersalna (tab. 3).

Wyznaczone doświadczalnie współczynniki translokacji, przenoszenia zawartości metalu z gleby do pędów rośliny, przedstawione w tabeli 4, miały wartości bardzo zbliżone dla obu mieszanek

traw. Współczynniki translokacji były niewielkie, takie jak dla gleb niezanieczyszczonych metalami ciężkimi. Istotne różnice wystąpiły w biokumulacji metali w korzeniach traw (tab. 5). W korzeniach roślin mieszanki trawy boiskowej Super Sport biokumulacja metali ciężkich była ponaddwukrotnie większa niż w korzeniach roślin mieszanki Uniwersalna.

TABELA 3. Zawartość makro- i mikroelementów oraz metali ciężkich w roślinach traw mieszanki Uniwersalna

TABLE 3. Content of macro- and micronutrients and heavy metals in leaves and roots of lawn grass grown on the post-fermentation sludge

Wskaźnik Index	Jednostka Unit	Pędy shoots	Korzenie Roots	Zawartość w pędach traw [%] Content in shoots of grass	Zawartość w korzeniach traw [%] Content in roots of grass
Azot og. Nitrogen	% s.m.	1,12	0,70	61,50	38,50
Fosfor og Phosphorus	% s.m.	0,67	0,63	51,50	48,50
Wapń Calcium	% s.m.	1,93	5,07	27,40	72,60
Magnez Magnesium	% s.m.	0,33	0,73	31,10	68,90
Żelazo Iron	mg·(kg s.m.) ⁻¹	1086,7	1346,3	44,60	55,40
Mangan Manganese	mg·(kg s.m.) ⁻¹	182,0	639,1	22,10	77,90
Miedź Copper	mg·(kg s.m.) ⁻¹	18,8	112,3	14,20	85,80
Cynk Zinc	mg·(kg s.m.) ⁻¹	111,8	514,0	17,80	82,20
Chrom Chrome	mg·(kg s.m.) ⁻¹	8,83	126,8	6,96	93,04
Kadm Cadium	mg·(kg s.m.) ⁻¹	0,14	0,65	17,70	82,30
Ołów Lead	mg·(kg s.m.) ⁻¹	11,9	206,0	5,46	94,54
Nikiel Nickel	mg·(kg s.m.) ⁻¹	6,75	59,9	10,00	90,00

TABELA 4. Zestawienie współczynników przenoszenia metali ciężkich z osadu pofermentacyjnego do roślin mieszanek traw

TABLE 4. Summary of heavy metals translocation coefficients from the post-fermentation sludge to the grass

Pierwiastek Element	Dane według Dziadek i Waclawek (2005) Literature data	Mieszanka Uniwer- salna Compound Universal	Mieszanka Super Sport Compound Super Sport
Kadm Cadium	1–10	0,012	0,015
Chrom Chrome	0,01–0,1	0,06	0,07
Miedź Copper	0,01–0,1	0,10	0,11
Nikiel Nickel	0,1–1	0,07	0,08
Ołów Lead	0,01–0,1	0,05	0,06
Cynk Zinc	1–10	0,14	0,12

TABELA 5. Biokumulacja metali ciężkich w korzeniach roślin rosnących na osadzie pofermentacyjnym

TABLE 5. Bioaccumulation of heavy metals in roots of plants grown on the post-fermentation sludge

Pierwiastek Element	Osad przed hodowlą [mg·(kg s.m.) ⁻¹] Sludge before breeding	Współczynnik bioku- mulacji w korzeniach roślin mieszanek Super Sport Factor bioaccumula- tion in roots Plant mix Super Sport	Współczynnik bioku- mulacji w korzeniach roślin mieszanek Uni- wersalna Factor bioaccumula- tion in roots Plant mix Uniwersalna
Kadm Cadium	11,0	0,59	1,06
Chrom Chrome	131,9	0,96	1,14
Miedź Copper	181,5	0,67	1,02
Nikiel Nickel	89,6	0,67	1,18
Ołów Lead	228,0	0,90	0,78
Cynk Zinc	814,0	0,63	1,41

Wnioski

1. Przeprowadzone fizyczno-chemiczne badania osadu pofermentacyjnego wykazały, że zawartość azotu ogólnego, fosforu, wapnia, magnezu, żelaza i manganu jest bardzo duża, porównywalna ze stężeniami tych pierwiastków zazwyczaj spotykanych w oborniku naturalnym.

2. Wyniki badań podłoża po produkcji traw wykazały dość dużą redukcję zawartości metali, wynoszącą: dla żelaza i manganu ponad 30%, natomiast dla miedzi i chromu odpowiednio 27,5 i 24,6%.

3. Uzyskane wyniki badań pędów wykazały, że w różniących się składem mieszkankach traw zawartość makro- i mikroskładników jest bardzo zbliżona.

4. Współczynniki biokumulacji w pędach traw nie przekroczyły dla wszystkich badanych metali ciężkich wartości 0,14, więc kształtowały się na bardzo niskim poziomie. Istotne różnice wystąpiły natomiast w biokumulacji metali ciężkich w korzeniach badanych traw. Dla mieszanki trawy boiskowej współczynniki biokumulacji mieściły się w granicach 0,78–1,41, natomiast dla trawy trawnikowej, z wyjątkiem chromu i ołowiu, były dwukrotnie mniejsze.

5. Wykorzystanie procedury specjacji opracowanej przez Stovera pozwoliło na określenie udziałów procentowych dwóch najbardziej labilnych form metali ciężkich – jonowymiennej i zaadsorbowanej, które są najłatwiej pobierane przez rośliny z podłoża.

6. Specjacja metali ciężkich w osadach pofermentacyjnych stosowanych do produkcji trawników rolowanych może być przydatną procedurą ana-

lityczną, pozwalającą na określenie mobilności metali w układzie podłoże – roślina.

Literatura

- ALLOWAY B.J., AYRES D.C. 1999: Chemiczne podstawy zanieczyszczenia środowiska. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- BARAN S., TURSKI R. 1995. Wybrane zagadnienia z utylizacji i unieszkodliwiania odpadów. Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Lublin.
- BRZESKI W., KANIUGA Z. 1957: Ćwiczenia z biochemii roślin. PWN, Warszawa – Wrocław.
- DOMAGAŁA-ŚWIĄTKIEWICZ I., SADY W. 2001: Jak ograniczyć nadmierną akumulację metali ciężkich w warzywach? *Owoce. Warzywa. Kwiaty* 15: 27–28.
- DZIADEK K., WACŁAWEK W. 2005: Metale w środowisku. Cz. I. Metale ciężkie (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd) w środowisku glebowym. *Chemia. Dydaktyka. Ekologia. Metrologia* 10, 1–2: 33–44.
- GRUCA-KRÓLIKOWSKA S., WACŁAWEK W. 2006: Metale w środowisku. Cz. II. Wpływ metali ciężkich na rośliny. *Chemia. Dydaktyka. Ekologia. Metrologia* 11, 1–2: 41–56.
- GRYS R., SADY W. 1999: Czynniki ograniczające bioakumulację kadmu w warzywach. *Hasło Ogrodnicze* 10: 11–13.
- GWÓZDŹ E.A., KOPYRA M. 2003: Reakcje komórek na metale ciężkie – aspekty biotechnologiczne. *Biotechnologia Środowiska* 3: 107–123.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1993: Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- KALISZ L., NECHAY A., KAZIMIERCZUK M. i inni 2004: Fizyczno-chemiczne i biologiczne referencyjne metody badań komunalnych osadów ściekowych. Inspekcja Ochrony Środowiska. Biblioteka Monitoringu, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2002a r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Dz.U. nr 134, poz. 1140.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002b r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. Dz.U. nr 165, poz. 1359.

STOVER R.C., SOMMERS L.E., SILVIERA D.J. 1976: Evaluation of metals in wastewater sludge. *Journal WPCF* 48, 9: 2165–2170.

ŻUREK G., MAJTKOWSKI W. 2009: Rośliny alternatywne w fitoekstrakcji metali ciężkich z obszarów skażonych. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 3: 83–89.

metals in the roots of grasses tested, which were in the range: 0.78–1.41. Speciation of heavy metals in sediments of post-fermentation for production of rolling lawns, determined the shares of labile forms of heavy metals that are most easily retrieved from the ground. Speciation of heavy metals developed by Stover can be a useful analytical procedure that allows the determination of the mobility of metals in the system: substrate – plant.

Summary

Application of heavy metals speciation in assessing suitability of municipal post-fermentation sludge for producing roll-out grass. The paper presents results of studies to assess the possibility of heavy metal speciation and the extent of their translocation from the sediment to the shoots postfermentation and the setting of their bioaccumulation in roots. Coefficients of bioaccumulation in the shoots of grass were at a very low level and have not exceeded for all heavy metals tested value 0.14. Significant differences occurred in the bioaccumulation of heavy

Authors' addresses:

Dariusz Dmochowski, Lidia Gajkowska-Stefańska
Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Środowiska
ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa
Poland
e-mail: darek.dmochowski@is.pw.edu.pl
lidia.stefanska@wp.pl

Anna Dmochowska
Szkoła Główna Służby Pożarniczej
Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego
ul. J. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa
Poland
e-mail: anna_dmochowska@is.pw.edu.pl