

## ZAWARTOŚĆ RÓŻNYCH FORM METALI CIĘŻKICH W OSADACH ŚCIEKOWYCH I KOMPOSTACH

*Krzysztof Gondek*

Katedra Chemii Rolnej, Akademia Rolnicza, Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków  
e-mail: rrgondek@cyf-kr.edu.pl

**Streszczenie.** Określenie całkowitej zawartości metali ciężkich w osadach ściekowych i kompostach z substancji odpadowych nie pozwala na ocenę biologicznej przyswajalności tych pierwiastków. Dlatego celem podjętych badań było określenie zawartości mobilnych form metali ciężkich w tych materiałach. Ogólna zawartość metali ciężkich w badanych osadach ściekowych i kompoście z odpadów zielonych I nie wyklucza ich rolniczego wykorzystania. Przekroczenie dopuszczalnej zawartości ołowiu i kadmu w kompoście z odpadów komunalnych II oraz duża zawartość szkła i ceramiki uniemożliwia przyrodnicze wykorzystanie tego materiału. Zawartość badanych frakcji metali ciężkich w osadach ściekowych i kompostach wykazywała znaczne zróżnicowanie w zależności od badanego metalu i rodzaju analizowanego materiału organicznego. Uzyskane wyniki wskazują, że na ogół w badanych materiałach organicznych metale ciężkie występują w postaci związków trudniej dostępnych.

**Słowa kluczowe:** metale ciężkie, osady ściekowe, komposty

### WSTĘP

Głównymi czynnikami stanowiącymi zagrożenie dla czystości środowiska glebowego, oprócz związków węglowodorowych oraz pozostałości pestycydów i siarki, są metale ciężkie [7]. Do źródeł antropogenicznego zanieczyszczenia środowiska tymi pierwiastkami zalicza się między innymi nawozy i odpady stosowane do nawożenia. Ilość metali ciężkich wprowadzana do gleby w konwencjonalnych nawozach jest na ogół mała i w niewielkim stopniu zmienia ogólną ich zawartość w glebie. Sytuacja ulega zmianie przy stosowaniu substancji odpadowych takich jak osady ściekowe czy komposty [5].

Całkowita zawartość metali ciężkich w materiałach odpadowych pozwala określić przydatność tych substancji do wykorzystania w rolnictwie. Kryterium to nie ujmuje jednak biologicznej przyswajalności tych pierwiastków po wprowadzeniu substancji odpadowej do gleby. Według Kabaty-Pendias i in. [6], określenie tempa uruchamiania metali ciężkich z substancji odpadowych jest bardzo ważne dla praktyki rolniczej, pozwala bowiem ocenić szybkość przechodzenia tych pierwiastków do roztworu glebowego, a w efekcie ich pobranie przez rośliny.

Stosowanie do celów nawozowych substancji pochodzenia odpadowego powinno odbywać się zgodnie z zasadami dobrze rozumianej agrotechniki oraz przestrzeganiem zasad dotyczących ochrony środowiska. Określenie całkowitej zawartości metali ciężkich w substancjach odpadowych nie pozwala na ocenę biologicznej przyswajalności tych pierwiastków. Dlatego celem podjętych badań było określenie zawartości mobilnych form metali ciężkich w wybranych materiałach odpadowych – osadach ściekowych i kompostach.

#### MATERIAŁ I METODY

Osady ściekowe pobrano z 2 komunalnych oczyszczalni (mechaniczno-biologicznych) w Krzeszowicach (osad ściekowy I) i Niepołomicach (osad ściekowy II). Przed pobraniem próbek, osady ściekowe były stabilizowane, przy czym technologia i czas stabilizacji były różne. Próbki kompostów pochodziły z dwóch kompostowni, różniących się rodzajem kompostowanych odpadów oraz technologią kompostowania. Kompost z odpadów roślinnych (kompost I) pochodził z kompostowni zlokalizowanej w Krakowie, w której zastosowano system kompostowania Mut Kyberferm. Kompost z odpadów komunalnych (kompost II) pochodził z kompostowni zlokalizowanej w Katowicach, w której odpady kompostowane są według technologii Dano. Analizowany obornik i torf traktowano jako odniesienie porównywanych cech.

W materiałach organicznych o naturalnej zawartości wody oznaczono: pH w zawiesinie wodnej – potencjometrycznie, przewodność elektrolityczną – konduktometrycznie, zawartość suchej masy, po wysuszeniu próbek w 105°C przez 12 h [2]. W materiale wysuszonym i zmielonym oznaczono, zawartość materii organicznej metodą termiczną, azotu ogólnego metodą Kjeldahla z wykorzystaniem aparatu Kjeltec II Plus firmy Tecator. Zawartość potasu, fosforu i wapnia oraz metali ciężkich oznaczono po roztworzeniu wyżarzonych próbek (450°C przez 4 h) w kwasie azotowym(V) (1:2). Fosfor oznaczono kolorymetrycznie metodą wanadowo-molibdenową z wykorzystaniem spektrofotometru DU 640 firmy Beckman, potas i wapń metodą fotometrii płomieniowej (FES) za pomocą

spektrofotometru firmy Thermo, a zawartość metali ciężkich, zwanych dalej formami ogólnymi metodą ICP-AES na aparacie JY 238 Ultrace [2]. Do wyodrębnienia frakcji mobilnych metali ciężkich zastosowano wodę redestylowaną, roztwór  $\text{CaCl}_2$  (stężenie  $0,05 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) oraz  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (stężenie 2,5%) według metody McLarena i Crowforda w modyfikacji Bogacza [3]. Zawartość metali ciężkich w uzyskanych ekstraktach oznaczono metodą ICP-AES za pomocą aparatu JY 238 Ultrace firmy Jobin Yvon.

Przedstawione wyniki analiz stanowią średnią z 2 powtórzeń. Dla uzyskanych wartości obliczono odchylenie standardowe i współczynnik zmienności.

### WYNIKI I DYSKUSJA

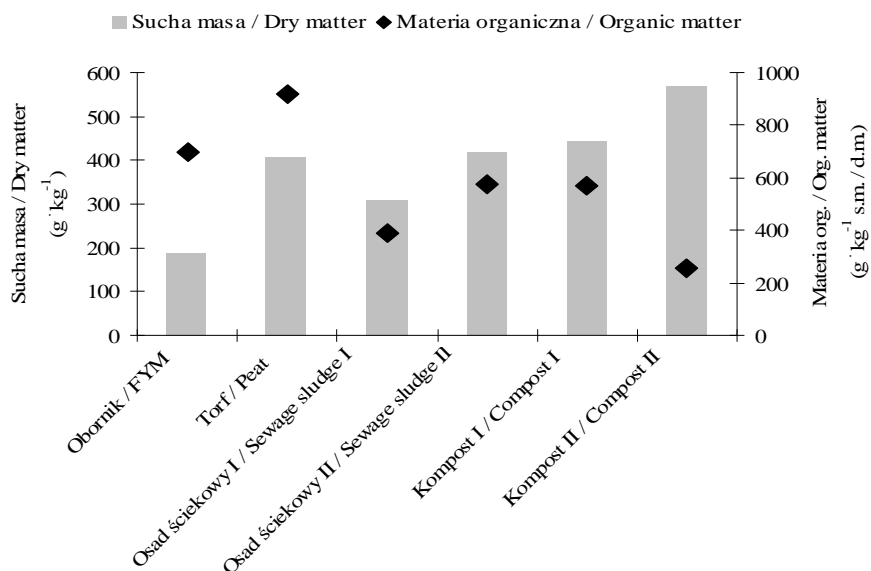
Zawartość suchej masy w badanych materiałach organicznych była zróżnicowana i zależała od rodzaju badanego materiału (rys. 1). Najmniej suchej masy zawierał obornik. Najwięcej suchej masy stwierdzono w kompostach. Większe zróżnicowanie dotyczyło zawartości materii organicznej w analizowanych materiałach. Najwięcej tego składnika oznaczono w torfie ( $916 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ) i w oborniku ( $700 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ). Porównywalne zawartości materii organicznej stwierdzono w obu osadach ściekowych i kompoście I. Najmniej materii organicznej zawierał kompost II z odpadów komunalnych ( $254 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ).

Odczyn jest jedną z najważniejszych cech fizykochemicznych substancji odpadowych. Na podstawie przeprowadzonych badań nie stwierdzono większych różnic w odczynie badanych substancji odpadowych w porównaniu do obornika i torfu (rys. 2).

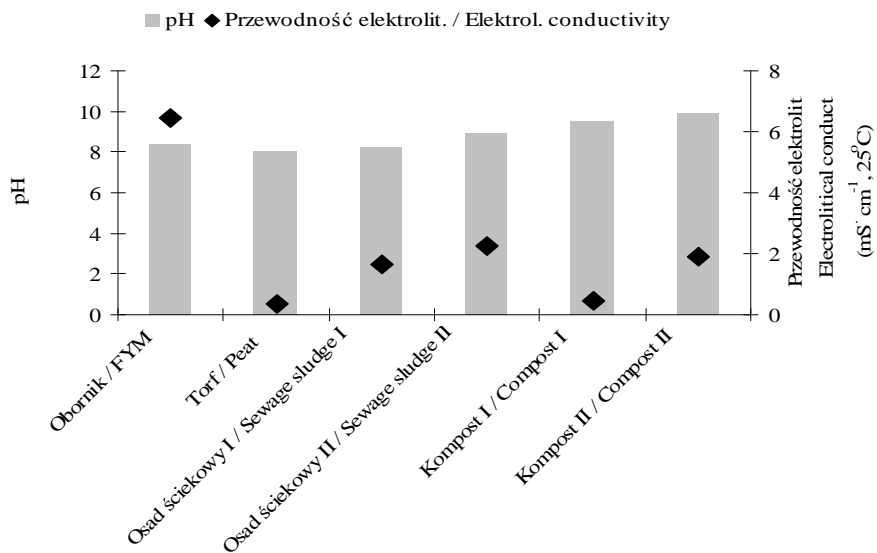
Dobłą miarą zasolenia odpadów jest ich przewodnictwo elektrolityczne [2]. Nadmiar rozpuszczalnych soli w odpadach, przy ich przyrodniczym wykorzystaniu, może być przyczyną całkowitego wypadania roślin bądź rozwoju wielu chorób. Przewodność właściwa roztworów wodnych zależy od rodzaju rozpuszczalnych substancji, ich stężenia i temperatury. Wartość przewodności elektrolitycznej w badanych materiałach odpadowych oraz torfie nie przekraczała  $2,5 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  (rys. 2). Największą wartość tego parametru oznaczono w oborniku.

Zawartość wybranych makroskładników (N, P, K i Ca) w badanych materiałach organicznych przedstawiono w tabeli 1.

Zawartość azotu w osadach ściekowych i kompostach była zróżnicowana (tab. 1). W przypadku osadów ściekowych więcej (ponad 2-krotnie) N ogólnego stwierdzono w osadzie II. Ponad 4-krotnie więcej azotu zawierał kompost z odpadów zielonych I, w porównaniu do zawartości oznaczonej w kompoście z odpadów komunalnych II. Zarówno osad ściekowy II, jak i kompost I zawierały więcej tego składnika niż obornik i torf.



**Rys. 1.** Zawartość suchej masy i materii organicznej w oborniku i materiałach organicznych  
**Fig. 1.** Dry matter and organic matter content in FYM and organic materials



**Rys. 2.** Odczyn i przewodność elektrolityczna w oborniku i materiałach organicznych  
**Fig. 2.** Reaction and electrolytic conductivity in FYM and organic materials

Zawartość fosforu wykazywała większe zróżnicowanie niż zawartość azotu ( $V\% = 102$ ) (tab. 1). Najmniej tego pierwiastka stwierdzono w osadzie ściekowym I i kompoście II, niemniej były to zawartości większe od zawartości oznaczonej w torfie.

Zawartość potasu była niewielka zwłaszcza w osadach ściekowych. Więcej tego składnika zawierały komposty, głównie kompost z odpadów zielonych I (tab. 1). Porównując uzyskane zawartości potasu w materiałach odpadowych z ilością tego składnika w oborniku stwierdzono od 28% do 96% potasu mniej w materiałach odpadowych. Najmniej tego pierwiastka oznaczono w torfie.

**Tabela 1.** Zawartość makroelementów w oborniku i materiałach organicznych  
**Table 1.** Macroelements in FYM and organic materials

Materiały organiczne Organic materials	N ogólny Total N	P	K	Ca
	g·kg <sup>-1</sup> suchej masy – dry matter			
Obornik Farmyard manure	29,23	25,44	33,92	16,15
Torf Peat	33,35	0,86	0,34	11,97
Osad ściekowy I Sewage sludge I	16,00	5,27	1,25	19,59
Osad ściekowy II Sewage sludge II	41,35	18,79	1,47	25,09
Kompost I Compost I	37,47	6,11	24,50	18,68
Kompost II Compost II	8,75	2,08	4,51	27,24
SD (V%)	12,74 46	9,99 102	14,49 132	5,64 29

SD – Odchylenie standardowe – Standard deviation,

V% – Współczynnik zmienności – Coefficient of variation,

Zawartość wapnia w badanych materiałach odpadowych była większa od oznaczonej w oborniku o 15% do 69% (tab. 1). Jeżeli za punkt odniesienia przyjmując zawartość wapnia w torfie to zawartość tego składnika w materiałach odpadowych była większa o 56% do ponad 127%.

Ogólna zawartość ołowiu w materiałach odpadowych była większa od oznaczonej w oborniku i torfie (tab. 2). Najwięcej ołowiu stwierdzono w kompoście z odpadów komunalnych II (293,83 mg·kg<sup>-1</sup> s.m.), była to zawartość dyskwalifikująca ten materiał pod kątem rolniczego wykorzystania [11]. Mobilność ołowiu

w badanych materiałach odpadowych niezależnie od zastosowanego ekstrahenta była niewielka i na ogół nie przekraczała 6% (suma trzech frakcji) zawartości ogólnej tego pierwiastka (rys. 3). Również Rosik-Dulewska [9], stwierdziła niewielkie ilości ołowiu we frakcji wymiennej i węglanowej wydzielonej z kompostów z odpadów komunalnych. Ołów był głównie związany z tlenkami żelaza i manganu oraz frakcji organicznej [9]. Podobne wyniki uzyskali Piotrowska i Dudka [8] badając zawartość poszczególnych frakcji ołowiu w osadach ściekowych.

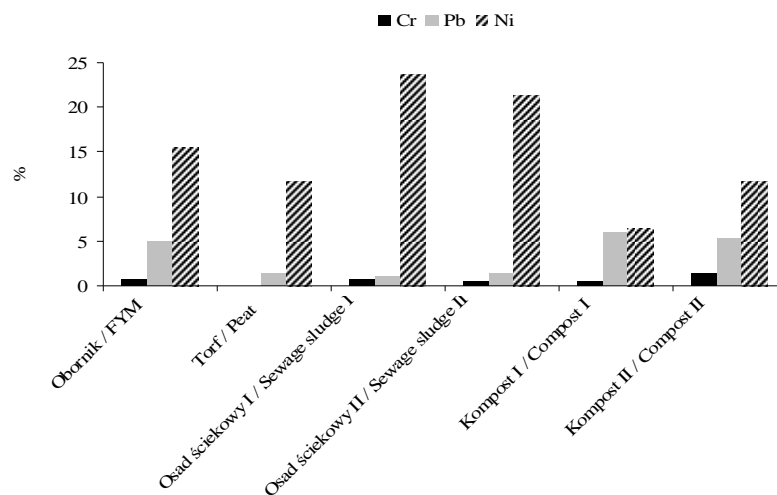
**Tabela 2.** Zawartość ołowiu w oborniku i materiałach organicznych ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s. m.)  
**Table 2.** Content of lead in FYM and organic materials ( $\text{mg kg}^{-1}$  d. m.)

Materiały organiczne Organic materials	Pb ogólny Total Pb	Pb-H <sub>2</sub> O	Pb-CaCl <sub>2</sub>	Pb-CH <sub>3</sub> COOH
Obornik Farmyard manure	4,94	0,10	0,07	0,07
Torf Peat	8,88	0,06	0,00	0,06
Osad ściekowy I Sewage sludge I	87,70	0,21	0,04	0,73
Osad ściekowy II Sewage sludge II	35,36	0,29	0,05	0,12
Kompost I Compost I	12,80	0,60	0,07	0,09
Kompost II Compost II	293,83	0,11	0,03	15,56
SD	112,0	0,20	0,03	6,27
(V%)	152	88	61	226

SD – Odchylenie standardowe – Standard deviation,

V% – Współczynnik zmienności – Coefficient of variation,

Ogólna zawartość chromu w materiałach organicznych wykazywała podobną tendencję, jak w przypadku ołowiu (tab. 3). Najwięcej tego pierwiastka oznaczono w osadzie ściekowym II i kompoście II. Były to zawartości odpowiednio 5- i 8-krotnie większe od zawartości oznaczonej w oborniku, nie mniej mieszczące się w dopuszczalnych granicach [10,11]. W kompoście I i osadzie ściekowym I stwierdzono więcej chromu wyekstrahowanego wodą niż kwasem octowym. Ilość wyekstrahowanego chromu (suma trzech frakcji) w odniesieniu do zawartości ogólnej była niewielka i nie przekraczała 3% ogólnej zawartości tego pierwiastka (rys. 3).



**Rys. 3.** Udział chromu, ołowiu i niklu wyekstrahowanego (suma trzech frakcji) w zawartości ogólnej  
**Fig. 3.** Share of chromium, lead and nickel extracted (sum of three fractions) in total content

**Tabela 3.** Zawartość chromu w oborniku i materiałach organicznych ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.)  
**Table 3.** Content of chromium in FYM and organic materials ( $\text{mg kg}^{-1}$  d.m.)

Materiały organiczne Organic materials	Cr ogólny Total Cr	Cr-H <sub>2</sub> O	Cr-CaCl <sub>2</sub>	Cr-CH <sub>3</sub> COOH
Obornik Farmyard manure	9,80	0,17	0,02	0,05
Torf Peat	3,17	0,01	0,00	0,00
Osad ściekowy I Sewage sludge I	27,61	0,05	0,02	0,16
Osad ściekowy II Sewage sludge II	50,18	0,23	0,07	0,13
Kompost I Compost I	18,52	0,51	0,00	0,07
Kompost II Compost II	85,19	0,06	0,02	0,14
SD	30,61	0,19	0,03	0,06
(V%)	94	108	118	67

SD – Odchylenie standardowe – Standard deviation.

V% – Współczynnik zmienności – Coefficient of variation.

Oznaczona niewielka ilość chromu we frakcjach najbardziej mobilnych znajduje potwierdzenie w badaniach Czeakały i in. [4]. Cytowani autorzy wykazali, że zarówno w osadzie ściekowym, jak i kompostach z udziałem tego osadu ilość chromu wodno-rozpuszczalnego i wymiennego była niewielka i stanowiła od 0,05% do 0,14% Cr ogólnego. Również Piotrowska i Dudka [8] stwierdzili śladowe ilości chromu we frakcji wymiennej wyekstrahowanej z osadów ściekowych, wskazując jednocześnie, że główna ilość tego pierwiastka (ponad 70%) zmagazynowana była we frakcji pozostałości. Frakcja ta obejmuje metale związane z siatką krystaliczną minerałów pierwotnych i wtórnych, niedostępne dla roślin. Z kolei Rosik-Dulewska [9], badając komposty z odpadów komunalnych stwierdziła znacznie większy udział chromu we frakcji wymiennej i węglanowej w stosunku do zawartości ogólnej. Należy podkreślić, że badane przez cytowaną autorkę [9] komposty charakteryzowała znacznie większa zawartość ogólna chromu, porównywalna z zawartością oznaczoną w kompoście II z odpadów komunalnych.

Ogólna zawartość niklu była największa w kompoście II wyprodukowanym z odpadów komunalnych (tab. 4). Blisko 4-krotnie mniej tego pierwiastka zawierał kompost z odpadów zielonych I, była to zawartość mniejsza od oznaczonej w oborniku. Również osady ściekowe zawierały zróżnicowane ilości niklu, więcej Ni zawierał osad ściekowy II. Pomimo największej ogólnej zawartości niklu w kompoście II, oznaczona ilość tego pierwiastka we frakcji wodno rozpuszczalnej była najmniejsza spośród analizowanych materiałów odpadowych i obornika – porównywalna z ilością wyekstrahowaną z torfu. Ilości niklu wyekstrahowane roztworem  $\text{CaCl}_2$  były największe w przypadku osadów ściekowych (tab. 4). Znacznie mniej niklu w tej frakcji stwierdzono w pozostałych materiałach. Od blisko 7- do ponad 8-krotnie więcej niklu wyekstrahowano roztworem kwasu octowego z osadów ściekowych i kompostu II, w porównaniu do ilości Ni wyekstrahowanej tym roztworem z obornika. Udział niklu wyekstrahowanego zastosowanymi roztworami, w stosunku do zawartości ogólnej był największy w osadach ściekowych (ponad 20%) (rys. 3). Znaczne zróżnicowanie ogólnej zawartości niklu w badanych materiałach organicznych znalazło również odzwierciedlenie w zróżnicowanych ilościach tego pierwiastka wyekstrahowanego poszczególnymi roztworami. Pomimo znacznie większej ogólnej zawartości niklu w kompoście II z odpadów komunalnych, nie wykazano jego największej dostępności w tym materiale. Również Rosik-Dulewska [9] stwierdziła, że niezależnie od sezonu, w którym wyprodukowano kompost najwięcej niklu zgromadzone jest we frakcji pozostałości, a więc są to formy niklu stabilne i biologicznie nieaktywne. Według Piotrowskiej i Dudki [8] również w osadach ściekowych główna ilość niklu (około 60%) zgromadzona jest we frakcji pozostałości.



**Tabela 4.** Zawartość niklu w oborniku i materiałach organicznych ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s. m.)  
**Table 4.** Content of nickel in FYM and organic materials ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  d. m.)

Materiały organiczne Organic materials	Ni ogólny Total Ni	Ni- $\text{H}_2\text{O}$	Ni- $\text{CaCl}_2$	Ni- $\text{CH}_3\text{COOH}$
Obornik Farmyard manure	16,98	1,94	0,14	0,56
Torf Peat	2,84	0,27	0,04	0,03
Osad ściekowy I Sewage sludge I	18,67	0,53	0,27	3,62
Osad ściekowy II Sewage sludge II	32,08	1,70	0,60	4,58
Kompost I Compost I	10,49	0,66	0,01	0,02
Kompost II Compost II	40,30	0,37	0,12	4,26
SD	13,81	0,72	0,22	2,19
(V%)	68	79	111	101

SD – Odchylenie standardowe – Standard deviation.

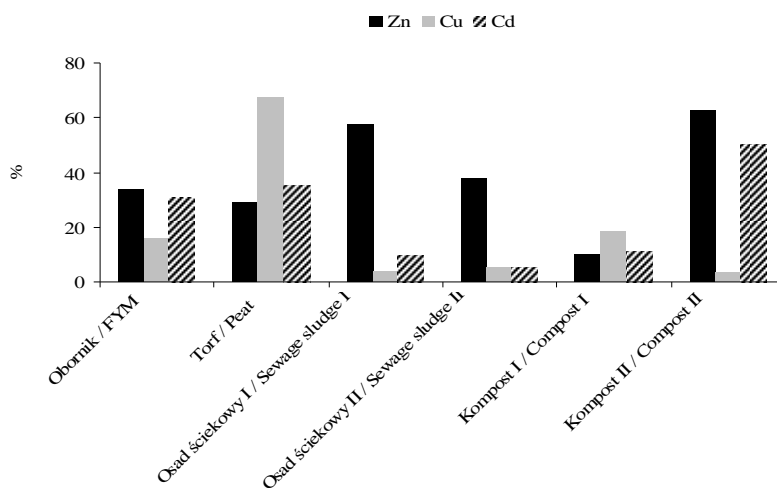
V% – Współczynnik zmienności – Coefficient of variation.

Ogólna zawartość cynku w materiałach organicznych pochodzenia odpadowego była porównywalna, poza kompostem I z odpadów zielonych, który zawierał średnio ponad 7-krotnie mniej tego pierwiastka (tab. 5). Oznaczona zawartość cynku ogólnego w kompoście I była mniejsza od oznaczonej w oborniku. Ilości cynku wyekstrahowane poszczególnymi roztworami były zróżnicowane, przy czym najwięcej cynku (poza torfem) wyekstrahowano kwasem octowym. Ilość cynku wyekstrahowana zastosowanymi roztworami (suma trzech frakcji), w stosunku do zawartości ogólnej była największa w przypadku osadu ściekowego I (57%) i kompostu II (62%) (rys. 4). Cynk należy do bardziej ruchliwych metali nie tylko w glebie, ale i w materiałach odpadowych. W badaniach Piotrowskiej i Dudki [9] nad osadami ściekowymi stwierdzono zaledwie 3% udział cynku we frakcji wymiennej, jednak ze względu na wysoką zawartość ogólną, zawartość bezwzględna Zn w tej frakcji była znacząca. Głównie cynk w osadach ściekowych był związany z tlenkami żelaza i manganu. Podobne wyniki uzyskała Rosik-Dulewska [9] analizując komposty z odpadów komunalnych.

**Tabela 5.** Zawartość cynku w oborniku i materiałach organicznych ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.)  
**Table 5.** Content of zinc in FYM and organic materials ( $\text{mg kg}^{-1}$  d.m.)

Materiały organiczne Organic materials	Zn ogólny Total Zn	Zn-H <sub>2</sub> O	Zn-CaCl <sub>2</sub>	Zn-CH <sub>3</sub> COOH
Obornik Farmyard manure	629	20,7	3,1	189,1
Torf Peat	16	0,8	1,1	2,8
Osad ściekowy I Sewage sludge I	1102	7,9	22,1	606,6
Osad ściekowy II Sewage sludge II	1819	30,3	27,3	626,6
Kompost I Compost I	177	13,2	0,6	4,6
Kompost II Compost II	1185	4,6	8,1	731,0
SD (V%)	697 83	10,9 85	11,5 111	332,4 92

SD – Odchylenie standardowe – Standard deviation,  
 V% – Współczynnik zmienności – Coefficient of variation,



**Rys. 4.** Udział cynku, miedzi i kadmu wyekstrahowanego (suma trzech frakcji) w zawartości ogólnej  
**Fig. 4.** Share of zinc, copper and cadmium extracted (sum of three fractions) in total content

Zawartość ogólna miedzi była największa w oborniku (368,2 mg·kg<sup>-1</sup>s.m.) – tabela. 6. W materiałach organicznych pochodzenia odpadowego stwierdzono od 1,5 do ponad 11-krotnie miedzi mniej. Tak duża koncentracja tego metalu w oborniku wynikała z jego pochodzenia, a najprawdopodobniej rodzaju żywienia trzody chlewnej. W gospodarstwie, z którego pochodził obornik zwierzęta były żywione intensywnie mieszankami treściwymi pochodzenia przemysłowego oraz dodatkowo żywienie było wspomagane koncentratami mineralno-witaminowymi w celu zaspokojenia potrzeb pokarmowych zwierząt. Analizując ilości miedzi wyekstrahowanej wodą stwierdzono również najwięcej tego metalu w ekstrakcie z obornika (48,81 mg·kg<sup>-1</sup> s.m.), przy czym udział tej formy miedzi w zawartości ogólnej nie przekraczał 13% i był porównywalny ze stwierdzonym w kompoście z odpadów zielonych I.

**Tabela 6.** Zawartość miedzi w oborniku i materiałach organicznych (mg·kg<sup>-1</sup> s.m.)  
**Table 6.** Content of copper in FYM and organic materials (mg kg<sup>-1</sup> d.m.)

Materiały organiczne Organic materials	Cu ogólny Total Cu	Cu-H <sub>2</sub> O	Cu-CaCl <sub>2</sub>	Cu-CH <sub>3</sub> COOH
Obornik Farmyard manure	368,20	48,81	3,93	5,44
Torf Peat	2,98	0,92	0,38	0,71
Osad ściekowy I Sewage sludge I	90,08	1,39	0,76	1,44
Osad ściekowy II Sewage sludge II	136,24	3,57	1,69	1,82
Kompost I Compost I	32,12	4,44	0,27	1,13
Kompost II Compost II	240,78	1,58	0,41	5,61
SD	137,84	19,00	1,42	2,23
(V%)	95	188	114	83

SD – Odchylenie standardowe – Standard deviation.

V% – Współczynnik zmienności – Coefficient of variation.

Ilości miedzi wyekstrahowane roztworami CaCl<sub>2</sub> i CH<sub>3</sub>COOH były znacznie mniejsze i mniej zróżnicowane pomiędzy badanymi materiałami. Procentowy udział mobilnych form miedzi (suma trzech frakcji) w stosunku do zawartości ogólnej był największy w torfie (rys. 4). W pozostałych materiałach wartość ta nie przekraczała

20%. W omawianych materiałach organicznych ilość miedzi zgromadzona we frakcjach najbardziej mobilnych nie przekraczała 20% w stosunku do zawartości ogólnej. Niewielkie ilości miedzi w osadach ściekowych zgromadzone w tych frakcjach stwierdzili Piotrowska i Dudka [8] oraz w kompostach Rosik-Dulewska [9]. Cytowani autorzy stwierdzili zgodnie, że znaczna zawartości tego pierwiastka była związana z tlenkami żelaza i manganu.

Całkowita zawartość kadmu była najmniejsza w torfie i wynosiła  $0,33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 7). Najwięcej tego pierwiastka zawierał kompost II z odpadów komunalnych ( $5,88 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.), co uniemożliwia stosowanie tego materiału do celów nawozowych [11]. Zawartość kadmu wyekstrahowana wodą była największa w oborniku i kompoście z odpadów zielonych I. Udział tej formy kadmu w zawartości ogólnej stanowił odpowiednio ponad 7% i ponad 8%. Zawartość frakcji wymiennej kadmu (wyekstrahowanej  $0,05 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$   $\text{CaCl}_2$ ) na ogół była niewielka, a najwięcej kadmu w tej frakcji stwierdzono w kompoście z odpadów komunalnych.

**Tabela 7.** Zawartość kadmu w oborniku i materiałach organicznych ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s. m.)  
**Table 7.** Content of cadmium in FYM and organic materials ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  d. m.)

Materiały organiczne Organic materials	Cd ogólny Total Cd	Cd- $\text{H}_2\text{O}$	Cd- $\text{CaCl}_2$	Cd- $\text{CH}_3\text{COOH}$
Obornik Farmyard manure	1,61	0,12	0,02	0,36
Torf Peat	0,33	0,06	0,02	0,04
Osad ściekowy I Sewage sludge I	3,41	0,02	0,01	0,30
Osad ściekowy II Sewage sludge II	2,71	0,03	0,01	0,10
Kompost I Compost I	1,41	0,12	0,01	0,03
Kompost II Compost II	5,88	0,02	0,08	2,88
SD	1,95	0,05	0,03	1,12
(V%)	76	77	110	181

SD – Odchylenie standardowe – Standard deviation,

V% – Współczynnik zmienności – Coefficient of variation,

Ilość kadmu wyekstrahowana  $\text{CH}_3\text{COOH}$  o stężeniu 2,5% mieściła się w granicach od  $0,03 \text{ mg}$  do  $2,88 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m. i wykazywała największe zróżnicowanie

pomiędzy analizowanymi materiałami organicznymi ( $V\% = 181$ ). Największy udział kadmu wyekstrahowanego zastosowanymi roztworami, w stosunku do zawartości ogólnej stwierdzono w kompoście z odpadów komunalnych II (50%), dla porównania w oborniku udział tej formy kadmu w zawartości ogólnej stanowił 41% (rys. 4). Zarówno w badaniach Barana i in. [1] jak i Rosik-Dulewskiej [9] nad kompostami z odpadów komunalnych stwierdzono zdecydowanie więcej kadmu we frakcjach wymiennej i węglanowej. Należy jednak podkreślić zdecydowanie większą ogólną zawartość tego pierwiastka w analizowanych materiałach organicznych przez cytowanych autorów. Oznaczona ilość kadmu we frakcjach najbardziej mobilnych w badanych osadach ściekowych była mniejsza od stwierdzonej przez Piotrowską i Dudkę [8], przy czym główna część kadmu była związana z tlenkami żelaza i manganu.

#### WNIOSKI

1. Ogólna zawartość metali ciężkich w badanych osadach ściekowych i kompoście z odpadów zielonych I nie wyklucza ich rolniczego wykorzystania.
2. Przekroczenie dopuszczalnej zawartości ołowiu i kadmu w kompoście z odpadów komunalnych II oraz duża zawartość szkła i ceramiki uniemożliwia przyrodnicze wykorzystanie tego kompostu.
3. Zawartość badanych frakcji metali ciężkich w osadach ściekowych i kompostach wykazywała znaczne zróżnicowanie w zależności od badanego metalu i rodzaju analizowanego materiału organicznego.
4. Uzyskane wyniki wskazują, że w badanych materiałach organicznych metale ciężkie na ogół występują w postaci związków trudniej dostępnych dla roślin.

#### PIŚMIENNICTWO

1. **Baran S., Martyn W., Wójcikowska-Kapusta A.:** Zawartość różnych form kadmu w kompostach wytworzonych z odpadów komunalnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 467, 499-504, 1999.
2. **Baran S., Turski R.:** Ćwiczenia specjalistyczne z utylizacji odpadów i ścieków. Wyd. AR w Lublinie, ss. 136, 1996.
3. **Bogacz W.:** Badania nad formami mikroelementów w glebach Belgii. Cz. I i II. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 434, 1011-1023, 1996.
4. **Czekała J., Jakubas M., Mocek A., Owczarzak W.:** Frakcje chromu w kompostach z udziałem osadu garbarskiego i różnych dodatków organicznych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 437, 117-122, 1996.
5. **Gorlach E., Gambuś F.:** Potencjalnie toksyczne pierwiastki śladowe w glebach (nadmiar, szkodliwość i przeciwdziałanie). Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 472, 275-296, 2000.
6. **Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Lekan Sz., Winiarska Z., Gałczyńska B., Dudka S., Kacperk K.:** Rolnicza przydatność odpadów przemysłowych i komunalnych. Wyd. IUNG Puławy, S(58), ss. 182, 1987.

7. **Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E.:** Współczesne kryteria oceny zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi. *Post. Nauk Roln.*, 5, 29-46, 2002.
8. **Piotrowska M., Dudka S.:** Frakcje metali śladowych w osadach ściekowych jako kryterium ich przydatności w rolnictwie. *Arch. Ochr. Środ.*, 1/2, 67-72, 1987.
9. **Rosik-Dulewska Cz.:** Zawartość składników nawozowych oraz metali ciężkich i ich frakcji w kompostach z odpadów komunalnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 477, 467-477, 2001.
10. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 1 sierpnia 2002 w sprawie komunalnych osadów ściekowych. *Dz. U.* Nr 134, poz. 1140.
11. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dn. 1 czerwca 2001 w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. *Dz. U.* Nr 60, poz. 615.

## CONTENTS OF VARIOUS HEAVY METALS FORMS IN SEWAGE SLUDGES AND COMPOSTS

*Krzysztof Gondek*

Department of Agricultural Chemistry, Agricultural University  
Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków  
e-mail: rrgondek@cyf-kr.edu.pl

**Abstract.** Determining total heavy metal content in sewage sludges and composts produced of waste substances does not allow for an assessment of the bioavailability of those elements. Therefore the investigations were conducted to determine the concentrations of mobile heavy metal forms in such materials. Total heavy metal content in the analysed sewage sludges and compost made of green wastes grade I does not exclude their agricultural use. Exceeding the permissible concentrations of lead and cadmium in the compost made of municipal wastes grade II and high content of glass and ceramics make biological utilization of this material impossible. Heavy metal concentrations in individual fractions extracted from the analysed sewage sludges and composts were highly diversified depending on the investigated metal and kind of analysed organic material. The obtained results show that heavy metals in the studied organic materials occur generally in the form of more hardly available compounds.

**Key words:** heavy metals, sewage sludge, compost