

Jarosław Ireneusz Gawdzik

## Specjacja metali ciężkich w osadzie ściekowym na przykładzie wybranej oczyszczalni komunalnej

Komunalne osady ściekowe mają duże walory glebotwórcze i nawozowe. W Polsce, podobnie jak w pozostałych krajach Unii Europejskiej, ilość powstających osadów ściekowych wzrasta [1,2], m.in. na skutek zaostrzenia wymogów dotyczących jakości ścieków odprowadzanych do odbiorników [3]. Blisko połowę masy osadów powstających w komunalnych oczyszczalniach ścieków składa się, co nie jest właściwym rozwiązaniem [4].

Zawartość mikroelementów oraz związków biogenych w osadach ściekowych skłania do ich przyrodniczego wykorzystania [5–7]. Substancje organiczne zawarte w osadach poprawiają właściwości fizyczne gleby, zwiększając jej pojemność sorpcyjną, natomiast składniki pokarmowe (N, P, K) dostarczają substancji mineralnych niezbędnych do prawidłowego rozwoju roślin i mikroorganizmów glebowych. Taki sposób wykorzystania osadów ściekowych często ogranicza bądź uniemożliwia obecność w nich mikroorganizmów chorobotwórczych oraz metali ciężkich. Obecność metali ciężkich w osadach ściekowych, a zwłaszcza ich duże ilości, są wynikiem udziału ścieków przemysłowych (np. garbarskich, lakierniczych, hutniczych) w ogólnej masie ścieków miejskich [8]. Ponadto metale ciężkie obecne są także w ściekach bytowych, spływach powierzchniowych oraz występują w ściekach w następstwie korozji przewodów kanalizacyjnych [9]. Metale ciężkie w osadach ściekowych mogą występować w postaci rozpuszczonej, wytrąconej, współstrąconej z tlenkami metali, a także mogą być zaadsorbowane lub zasocjowane na cząstkach stałych. Mogą mieć formę tlenków, wodorotlenków, siarczków, siarczanów, fosforanów, krzemianów, a także połączeń organicznych w postaci kompleksów huminowych oraz związków z cukrami złożonymi [9,10].

Udział związków metali ciężkich jest największy w przefermentowanym osadzie odwodnionym [11], przy czym ich zawartość w suchej masie osadu wynosi na ogół 0,5–2,0%, może jednak osiągać wartość do 4% [12,13]. Metale ciężkie w ilościach śladowych są niezbędne do życia roślin i zwierząt, ale w większych ilościach są toksyczne i rakotwórcze oraz akumulują się w organizmach żywych [14]. Zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych, w aspekcie ich zastosowania przyrodniczego, reguluje w Polsce rozporządzenie [15], zgodne z dyrektywą w sprawie osadów ściekowych (Council Directive 86/278/EEC) [16] (tab. 1).

Obowiązujące przepisy prawa [15], podobnie jak zmiany projektowane od 2015 r. i 2025 r. [17] (tab. 1), dotyczą sumarycznej zawartości związków ołowiu, kadmu, rtęci, niklu, cynku, miedzi, chromu. Uogólnienie to nie służy pozyskaniu informacji o potencjalnym zagrożeniu środowiska gruntowo-wodnego emisją metali ciężkich, gdyż biodostępność i toksyczność metali ciężkich zależy od ich formy występowania. Najpopularniejszą metodą uzyskania próbek do badań specjacji metali jest ekstrakcja sekwencyjna, która polega na ługowaniu różnych form metali z próbki osadu przy pomocy specjalnych procedur. Istnieje kilka sposobów przeprowadzania tego procesu, różniących się rodzajem użytych odczynników, czasem reakcji czy też temperaturą dodawanych ekstrahentów. W tabeli 2 przedstawiono ogólne zalecenia dotyczące dwóch metod ekstrakcji, będących modyfikacjami opracowanej w 1979 r. metody Tessiera [18].

Techniki analityczne umożliwiają określenie zawartości mobilnych form metali ciężkich. Specjacja metali ciężkich w zależności od rodzaju ekstraktowanej matrycy może być przeprowadzona według różnych procedur [19–21]. W przypadku badania osadów ściekowych powszechnie stosowana jest procedura ekstrakcji sekwencyjnej – BCR (Community Bureau of Reference) [11, 18, 22]:

– etap I: ekstrakcja  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , mająca na celu zidentyfikowanie i pomiar zawartości metali przyswajalnych i związanych z węglanami (frakcja I),

– etap II: ekstrakcja  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ , w celu zidentyfikowania i pomiaru zawartości metali związanych z amorficznymi tlenkami żelaza i manganu (frakcja II),

– etap III: ekstrakcja  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{CH}_3\text{COONH}_4$ , w celu zidentyfikowania i pomiaru zawartości frakcji metaloorganicznej i siarczkowej (frakcja III),

– etap IV: mineralizacja frakcji rezydualnej mieszaniną stężonych kwasów ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HNO}_3$ ), w celu zidentyfikowania i pomiaru zawartości metali związanych z krzemianami (frakcja IV).

Celem przeprowadzonych badań była ocena mobilności jonów metali ciężkich zawartych w osadzie pochodzącym z komunalnej oczyszczalni ścieków.

### Materiały i metody

Do badań wykorzystano tlenowo ustabilizowany komunalny osad ściekowy pobrany z oczyszczalni ścieków Busko-Siesławice (woj. świętokrzyskie). Próbkę osadu o masie 8 g suszono przez 48 h w temperaturze  $20^\circ\text{C}$  do stanu powietrzno-suchego. Badania przeprowadzono według czterostopniowej ekstrakcji sekwencyjnej (BCR) [9, 16, 20]:

Tabela 1. Dopuszczalna zawartość jonów metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych przeznaczonych do stosowania przyrodniczego [15–18]

Table 1. Admissible heavy metal ion content of municipal sewage sludge intended for biological applications [15–18]

Metal	Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w suchej masie osadu, mg/kg					
	86/278/EEC [16] (obowiązujące)	ENV/E.3/LM [17] (proponowane zmiany)		Rozporządzenie Ministra Środowiska z 2002 r. [15]		
		2015 r.	2025 r.	w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne	do rekultywacji terenów na cele nierolne	dostosowanie gruntów do określonych potrzeb*
	w rolnictwie					
Ołów	750+1200	500	200	500	1000	1500
Kadm	20+40	5	2	10	25	50
Rtęć	16+25	5	2	5	10	25
Nikiel	300+400	200	100	100	200	500
Cynk	2500+4000	2000	1500	2500	3500	5000
Miedź	1000+1750	800	600	800	1200	2000
Chrom	–	800	600	500	1000	2500

\*wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach i zagospodarowaniu terenu, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i produkcji pasz

Tabela 2. Schemat ekstrakcji sekwencyjnej do rozdzielania próbek osadu [11, 18, 22]  
Table 2. Scheme of sequential extraction for the separation of sludge samples [11, 18, 22]

Frakcja/forma występowania	Wersja rozszerzona [8] (Kersten & Forstner, 1986)	Wersja EC/BCR
Jony wymienne	$\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (1 mol/dm <sup>3</sup> )	do 0,5 g osadu dodać 20 cm <sup>3</sup> $\text{CH}_3\text{COOH}$ (0,11 mol/dm <sup>3</sup> ), wytrząsać 16 h
Metale związane z węglanami	$\text{CH}_3\text{COONa}$ (1 mol/dm <sup>3</sup> ) w $\text{CH}_3\text{COOH}$ , pH=5	
Frakcje łatwo redukowalne (np. tlenki Mn)	$\text{NH}_2\text{OH HCl}$ (0,01 mol/dm <sup>3</sup> ) w $\text{HNO}_3$ (0,01 mol/dm <sup>3</sup> )	do pozostałości dodać 20 cm <sup>3</sup> $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ (0,1 mol/dm <sup>3</sup> ), $\text{HNO}_3$ (pH=2), wytrząsać 16 h
Frakcje średnio redukowalne (np. tlenki Fe)	(0,1 mol/dm <sup>3</sup> ) buforu szczawowego pH=3	
Siarczki/frakcja organiczna	(30%) $\text{H}_2\text{O}_2$ , pH=2, $\text{HNO}_3$ (0,02 mol/dm <sup>3</sup> ), ekstrakcja $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (1 mol/dm <sup>3</sup> ), $\text{HNO}_3$ (6%)	10 cm <sup>3</sup> $\text{H}_2\text{O}_2$ (8,8 mol/dm <sup>3</sup> ) (×2), 50 cm <sup>3</sup> $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (1 mol/dm <sup>3</sup> ), wytrząsać 16 h
Frakcja rezydualna	gorący stężony $\text{HNO}_3$	$\text{HNO}_3+\text{HCl}$

– krok pierwszy: ekstrakcja metali wymiennych i/lub związanych z węglanami (frakcja I); odważono 2 g osadu i przeniesiono do próbki wirnikowej o pojemności 100 cm<sup>3</sup>, następnie dodano 40 cm<sup>3</sup> kwasu octowego (0,11 mol/dm<sup>3</sup>); próbkę wytrząsano przez 16 h w temperaturze 20 °C, a następnie oddzielono ekstrakt od osadu poprzez wirowanie (4000 obr./min); w cieczy osadowej oznaczono zawartość metali rozpuszczalnych w wodzie,

– krok drugi: ekstrakcja frakcji redukowalnych (II); osad przemyto 20 cm<sup>3</sup> wody destylowanej (wytrząsano i wirowano), następnie dodano 40 cm<sup>3</sup> chlorowodoru hydroksyloaminy (0,1 mol/dm<sup>3</sup>) o pH=2; do korekty pH wykorzystano kwas azotowy; postępowano jak w pierwszym kroku (wytrząsano i wirowano); w cieczy osadowej oznaczono metale frakcji II,

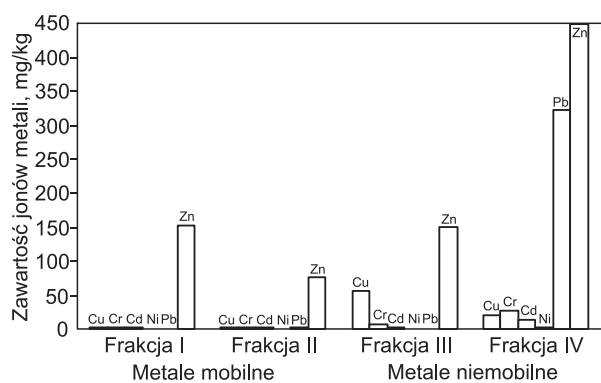
– krok trzeci: ekstrakcja frakcji utleniających (III); osad przeniesiono ilościowo do parownicy kwarcowych i dodano 10 cm<sup>3</sup> nadtlenu wodoru (30%), zawartość parownicy ogrzewano w łaźni wodnej w temperaturze 85 °C przez 1 h; czynność powtórzono dodając do osadu 10 cm<sup>3</sup> roztworu nadtlenu wodoru (8,8 mol/dm<sup>3</sup>), następnie po wystudzeniu próbkę osadu przeniesiono do próbek wirnikowych, po czym dodano 50 cm<sup>3</sup> roztworu octanu amonu (1 mol/dm<sup>3</sup>, pH=2); próbkę wytrząsano przez 16 h, a następnie oddzielono osad od ekstraktu; w roztworze oznaczono formy metali frakcji III,

– krok IV: identyfikacja zawartości frakcji rezydualnej (IV) [23]; osad przemyto i wysuszono do stałej masy, mineralizację frakcji rezydualnej przeprowadzono z udziałem wody królewskiej; do kolby stożkowej o objętości 300 cm<sup>3</sup> zawierającej 0,5 g osadu dodano ostrożnie 30 cm<sup>3</sup> stęż. HCl i 10 cm<sup>3</sup> stęż.  $\text{HNO}_3$ , zawartość kolby ogrzewano przez 30 min, a następnie odparowano do sucha; po ochłodzeniu dodano 25 cm<sup>3</sup> HCl (1+5), rozpuszczono osad, przeniesiono do kolby miarowej i uzupełniono wodą destylowaną do 50 cm<sup>3</sup>, a następnie wymieszano i przesączono zawartość kolby do suchego naczynia; w przesączu oznaczono formy metali frakcji IV.

Zawartość metali ciężkich w uzyskanych ekstraktach oznaczono zgodnie z ISO 9001:2000 na spektrofotometrze absorpcji atomowej Perkin-Elmer 3100 AAS-BG w czterech niezależnych próbkach osadów ściekowych.

## Interpretacja wyników badań

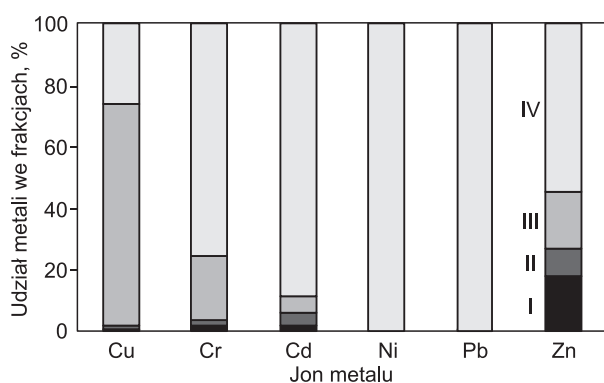
Uzyskane wyniki badań przedstawiono na rysunkach 1–3. Na rysunku 1 zilustrowano wyniki oznaczeń zawartości jonów metali w badanych frakcjach, które zostały przeanalizowane na suchą masę osadu.



Rys. 1. Zawartość metali ciężkich w poszczególnych frakcjach uzyskanych metodą analizy specjacyjnej

Fig. 1. Heavy metal content of particular fractions obtained by speciation analysis

Rysunek 2 przedstawia względną zawartość jonu wybranego metalu (% mas.) oznaczonego we frakcji BCR w stosunku do jego sumarycznej zawartości we frakcjach I-IV. Przeprowadzona analiza sekwencyjna wykazała, że w osadach ściekowych były obecne różne formy metali.



Rys.2. Średni udział procentowy metali ciężkich w poszczególnych frakcjach próbki osadu ściekowego

Fig. 2 Average percentage of heavy metals in particular fractions of the sewage sludge sample

W badanym osadzie ściekowym zawartość frakcji mobilnych (I i II) i frakcji warunkowo niemobilnej (III) w zestawieniu z frakcją rezydualną (IV) była mała (rys. 1). W przypadku metali ciężkich uzyskanych z frakcji I, rozpuszczalnych w wodzie i związanych z węglanami, istotny – jak się wydaje, bo ponad 18% udział – odnotowano w przypadku cynku (rys. 2). Nie wykryto niklu we frakcji związanej z amorficznymi tlenkami żelaza, a zawartość ołowiu była zaledwie śladowa – 0,1% (frakcja II). Nikiel i ołów nie występowały również pod postacią siarczków i w połączeniach metaloorganicznych (frakcja III). Pozostałe metale miały znaczną zawartość frakcji związanej z substancjami organicznymi (III). W przypadku frakcji III miedź stanowiła ok 72% i była to frakcja czasowo niemobilna, ponieważ jej zachowanie było uzależnione od mineralizacji przebiegającej w gruncie [16]. W przypadku frakcji IV ołów stanowił 99,9%, a nikiel już 100% (rys. 2). W mniejszej ilości wystąpiły odpowiednio chrom – 75,6% i kadm – 88,3%. Zawartość frakcji rezydualnej w przypadku cynku wynosiła 54,8%, ale w przypadku miedzi jej wartość zmniejszyła się już do 26%. Podobny udział poszczególnych frakcji miedzi w osadach ściekowych wykazano w pracy [18]. Nasuwa się wniosek, że formy miedzi w osadach ściekowych są cechą charakterystyczną tego pierwiastka.

Tabela 3. Zawartość pierwiastków w badanej próbce osadu  
Table 3. Elemental composition of the sewage sludge sample

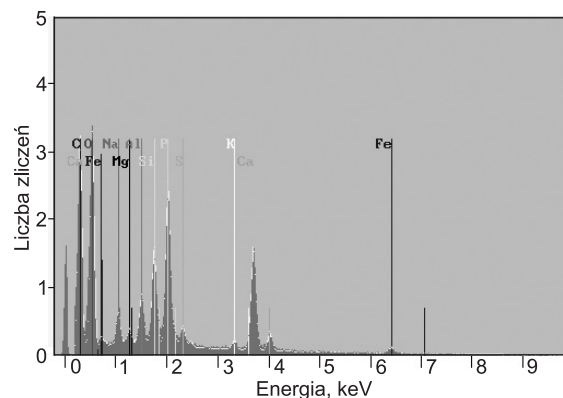
Składnik	Zawartość, %
Węgiel	32,73
Tlen	48,31
Sód	0,99
Magnez	0,31
Glin	1,28
Krzem	2,70
Fosfor	5,71
Siarka	0,96
Potas	0,44
Wapń	5,86
Żelazo	0,71

Tabela 4. Zawartość jonów metali ciężkich w suchej masie badanej próbki osadu  
Table 4. Heavy metal ion content of the sewage sludge sample

Metal	Zawartość, mg/kg
Ołów	322
Kadm	17
Rtęć	0
Nikiel	1
Cynk	841
Miedź	80
Chrom	35

Obecność związków węgla oraz siarki, tlenków żelaza, glinu i krzemu w osadzie ściekowym potwierdzono metodą mikroanalizy na analizatorze rentgenowskim Röntec GmbH (rys. 3).

Zawartość pierwiastków w badanej próbce osadów ściekowych przedstawiono w tabeli 3. Metodą mikroanalizy rentgenowskiej potwierdzono zasadność stosowania ekstrakcji sekwencyjnej. W badanym osadzie występowały połączenia metali ciężkich z substancjami organicznymi, tlenkami żelaza, siarczkami oraz glinokrzemianami (tab. 3) przy czym należy zaznaczyć, że frakcja II była związana jedynie z tlenkami żelaza. Nie wykryto obecności tlenków manganu, co może być jedną z przyczyn podwyższonej zawartości cynku we frakcji I. Sumaryczną zawartość metali ciężkich w osadzie ściekowym z oczyszczalni ścieków miejskich w Busku-Siesławicach przedstawia tabela 4. Oznaczenie rtęci wykonano metodą CVAAS.



Rys. 3. Widmo TRXRF próbki osadu ściekowego  
Fig. 3 TRXRF spectrum of the sewage sludge sample

Tabela 5. Średnia zawartość jonów metali ciężkich w suchej masie osadu ściekowego w poszczególnych frakcjach  
Table 5. Average heavy metal ion content of particular fractions in the sewage sludge

Frakcja	Zawartość jonu metalu, mg/kg					
	Cu	Cr	Cd	Ni	Pb	Zn
I	0,7±0,29	0,63±0,25	0,38±0,09	0,00±0,01	0,00±0,01	152,60±0,67
II	1,0±0,07	0,69±0,04	0,64±0,08	0,0±0,01	0,35±0,23	75,79±2,55
III	57,4±1,05	7,28±0,73	0,94±0,11	0,00±0,01	0,00±0,01	151,47±1,52
IV	20,73±0,73	26,64±0,72	14,75±0,82	1,31±0,28	322,05±9,43	460,79±1,32
Suma	79,83	35,24	16,71	1,31	322,40	840,65

Zawartość jonów metali ciężkich w badanym osadzie ściekowym nie przekroczyła wartości dopuszczalnych obowiązujących w Polsce w przypadku osadów przeznaczonych do wykorzystania przyrodniczego (tab. 1 i 4). Z powodu przekroczenia dopuszczalnej zawartości kadmu [15] nie można stosować w rolnictwie osadu z oczyszczalni ścieków Busko-Siestawice. Należy w tym miejscu podkreślić, że ponad 88% tego pierwiastka występowało w formach niemobilnych (frakcja IV), które nie mają istotnego znaczenia toksykologicznego. Osady ściekowe, ze względu na zawartość kadmu, mogą być wykorzystane do rekultywacji terenów na cele nierolne.

Wprowadzenie proponowanych zmian dopuszczalnej zawartości metali ciężkich (tab. 1) wykluczy wykorzystanie badanego osadu ściekowego, ponieważ zawiera ponadnormatywne ilości kadmu i ołowiu.

Szczegółowe wyniki analizy specyjacyjnej osadu ściekowego zebrano w tabeli 5.

## Wnioski

◆ Badania potwierdziły, że sumaryczna zawartość jonów danego metalu w osadzie ściekowym nie jest równoznaczna z możliwością jego uwolnienia do środowiska gruntowo-wodnego, natomiast bardzo ważna jest forma jego występowania.

◆ Potwierdzono, że zastosowanie analizy specyjacyjnej metali ciężkich w osadzie ściekowym pozwala na określenie zawartości form rozpuszczalnych w wodzie, w stosunku do ich sumarycznej ilości. Informacja ta jest pomocna przy ocenie zdolności migracji jonów metali z osadów ściekowych do środowiska gruntowo-wodnego.

◆ Otrzymane wyniki pozwalają stwierdzić, że udział frakcji mobilnych (I i II) metali ciężkich w badanym osadzie ściekowym był niewielki.

◆ Projektowane zmiany dopuszczalnej zawartości jonów metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych przeznaczonych do stosowania przyrodniczego powinny uwzględniać formy ich występowania. Uwzględnienie frakcji metali ciężkich w normatywach regulujących przyrodnicze wykorzystanie osadów ściekowych pozwoliłoby na rolnicze wykorzystanie właściwości nawozowych tlenowo ustabilizowanego osadu z oczyszczalni ścieków Busko-Siestawice.

## LITERATURA

1. D. FYTILI, A. ZABANIOTOU: Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2008, Vol. 12, pp. 116–140.
2. Eurostat: <http://ec.europa.eu/eurostat>.
3. Council Directive of 21 March 1991 concerning urban wastewater treatment, 91/271/EEC.
4. M. WOŹNIAK, M. ŻYGADŁO, J. LATOSIŃSKA: Ocena chemicznej stabilności osadów ściekowych składowanych w naturalnych warunkach środowiskowych. *Ochrona Środowiska* 2004, vol. 26, nr 1, ss. 25–31.
5. H.R. ROGERS: Sources, behaviour and fate of organic contaminants during sewage treatment and in sewage sludge. *The Science of the Total Environment* 1996, Vol. 185, pp. 3–26.
6. M.J. WANG: Land application of sewage sludge in China. *The Science of the Total Environment* 1997, Vol. 197, pp. 149–160.
7. J. LATOSIŃSKA, M. ŻYGADŁO: Effect of sewage sludge addition on porosity of lightweight expanded clay aggregate (LECA) and level of heavy metals leaching from ceramic matrix. *Environment Protection Engineering* 2009, Vol. 35, No. 2, pp. 189–196.
8. R.F. WEINER, R.A. MATTHEWS: *Environmental Engineering*. Elsevier Science, Burlington 2003.
9. J. WERTHER, T. OGADA: Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science* 1999, Vol. 25, pp. 55–116.
10. M. DE LA GUARDIA, A. MORALES-RUBIO: Modern strategies for the rapid determination of metals in sewage sludge. *Trends in Analytical Chemistry* 1996, Vol. 15, pp. 311–318.
11. E.A. ÁLVAREZ, M.C. MOCHÓN, J.C. JIMÉNEZ SÁNCHEZ, M.T. RODRÍGUEZ: Heavy metal extractable forms in sludge from wastewater treatment plants. *Chemosphere* 2002, Vol. 47, pp. 765–775.
12. H.W. RYU, H.S. MOON, E.Y. LEE, K.S. CHO, H. CHOI: Leaching characteristics of heavy metals from sewage sludge by *Acidithiobacillus thiooxidans* MET. *Journal of Environmental Quality* 2003, Vol. 32, pp. 751–759.
13. L. XIANG, L.C. CHAN, J.W.C. WONG: Removal of heavy metals from anaerobically digested sewage sludge by isolated indigenous iron-oxidizing bacteria. *Chemosphere* 2000, Vol. 41, pp. 283–287.
14. U. KROGMANN, L.S. BOYLES, W.J. BAMKA, S. CHAIRAPAT, C.J. MARTEL: Biosolids and sludge management. *Water Environment Research* 1999, Vol. 71, pp. 692–714.
15. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Dz. U. nr 134, poz. 1140.
16. Council Directive of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture, 86/278/EEC.
17. Working document on sludge. 3rd Draft – EC DG XI, ENV/E.3/LM, 2000.
18. C. MING, L. XIAO-MING, Y. QI, Z. GUANG-MING, Z. YING, L. DE-XIANG, L. JING-JIN, H. JING-MEI, G. LIANG: Total concentration and speciation of heavy metals in sewage sludge from Changasha, Zhuzhou and Xiangtan in middle-south region of China. *Journal of Hazardous Materials* 2008, Vol. 160, pp. 324–329.
19. E.R. HRISTENSEN: Metals, acid-volatile sulfides organics, and particle distributions of contaminated sediments. *Water Science and Technology* 1998, Vol. 37, pp. 149–156.

- 
20. R. PITT, S. CLARK, R. FIELD: Groundwater contamination potential from stormwater infiltration practices. *Urban Water* 1999, Vol. 1, pp. 217–236.
  21. K. YI-MING, L. TA-CHANG, T. PERNG-JY: Immobilization and encapsulation during vitrification of incineration ashes in a coke bed furnace. *Journal of Hazardous Materials* 2006, Vol. 133, pp. 75–78.
  22. C.L. DAHLIN, C.A. WILLIAMSON, W.K. COLLINS, D.C. DAHLIN: Sequential extraction versus comprehensive characterization of heavy metal species in brownfield soils. *Environmental Forensics* 2002, Vol. 3, pp. 191–201.
  23. EN ISO 15587:2002. Water quality. Digestion for the determination of selected elements in water. Part 1: Aqua regia digestion.
- 

**Gawdzik, J.I. Speciation of Heavy Metals in Sewage Sludge: A Case Study. *Ochrona Środowiska* 2010, Vol. 32, No. 4, pp. 15–19.**

**Abstract:** Samples of aerobically stabilized sewage sludge from the municipal sewage treatment plant in Busko-Sieslawice were analyzed for the presence of the following heavy metals: zinc, cadmium lead, nickel, chromium and copper. The form of heavy metal occurrence was determined by extraction analysis (BCR) according to the Tessier method. The results have revealed that in comparison to other municipal sewage treatment plants, the heavy metal content of the sludge from the Busko-Sieslawice plant was low. The results of sequential extraction have revealed the presence of heavy metal ions in all of the fractions, but metallo-organic compounds and aluminosilicates (fractions

III and IV) were found to be the dominant forms of heavy metal occurrence. The heavy metal content of the mobile fractions (I and II) was insignificant, since in no instance did any of the metals examined exceed 18.2% of the overall content. From those findings it can be inferred that the sewage sludge being analyzed was dominated by immobile forms of heavy metal occurrence. The study has also demonstrated that the overall heavy metal content of the sewage sludge fails to be a reliable criterion for assessing the potential risk to the soil and water environment. That is why the heavy metal ions belonging to fraction III are likely to pose environmental hazards if the sewage sludge is intended for use in soil recultivation.

**Keywords:** Sewage sludge, heavy metals, sequential extraction, metal speciation.