

Wpłynęło 18.11.2013 r.
Zrecenzowano 11.12.2013 r.
Zaakceptowano 12.12.2013 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

OCENA ZAWARTOŚCI METALI CIĘŻKICH W WIEJSKICH OSADACH ŚCIEKOWYCH I KOMPOSTACH W ASPEKCIE ICH PRZYRODNICZEGO WYKORZYSTANIA

Agnieszka RAJMUND¹⁾ ACDEF, Marta BOŻYM²⁾ ABCDF

¹⁾ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Dolnośląski Ośrodek Badawczy we Wrocławiu

²⁾ Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Środowiska

Streszczenie

Osady ściekowe pochodzące z wiejskich oczyszczalni ścieków powinny być zagospodarowywane przyrodniczo z uwagi na małą zawartość metali ciężkich i dużą wartość nawozową tych osadów. Zbadano całkowitą zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych pochodzących z wiejskiej oczyszczalni ścieków i kompostach z tych osadów. Próbkę osadów i kompostów poddano mineralizacji mikrofalowej w systemie zamkniętym w wodzie królewskiej, a następnie zbadano obecność Cd, Pb, Cu, Zn, Cr i Ni z wykorzystaniem spektrometru absorpcji atomowej. Przeanalizowano wpływ procesu kompostowania na zmiany zawartości tych metali w osadach. Uzyskane wyniki porównano z wartościami dopuszczalnymi według obowiązującego prawa. Stwierdzono, że zawartość metali ciężkich w badanych osadach i kompostach była bardzo mała. Uzyskane wyniki były wielokrotnie niższe od granicznych zawartości metali ciężkich w osadach stosowanych rolniczo. Zawartość większości metali była podobna zarówno w osadach, jak i kompostach. Nie stwierdzono znaczących różnic w zawartości metali ciężkich w kolejnych latach. Zarówno badane osady, jak i komposty mogą być dopuszczone do wykorzystania przyrodniczego, w tym rolniczego.

Słowa kluczowe: kompost, metale ciężkie, osad ściekowy, wiejskie oczyszczalnie ścieków

WSTĘP

W Polsce w ostatnich latach zmodernizowano i wybudowano wiele oczyszczalni ścieków (OŚ) w związku z przyjęciem dyrektywy 91/271/EWG dotyczącej

Do cytowania For citation: Rajmund A., Bożym M. 2013. Ocena zawartości metali ciężkich w wiejskich osadach ściekowych i kompostach w aspekcie ich przyrodniczego wykorzystania. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 13. Z. 4(44) s. 103–113.

oczyszczania ścieków komunalnych, która zakłada wyposażenie wszystkich aglomeracji powyżej RLM = 2000 w sieci kanalizacyjne i oczyszczalnie ścieków i po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej (UE) jest obowiązującym aktem prawa w naszym kraju. Zastosowanie najnowszych technologii oczyszczania ścieków doprowadziło do znacznego zwiększenia ilości powstających osadów. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS), w 2011 r. w Polsce funkcjonowało 3143 oczyszczalni ścieków, z czego 2017 stanowiły OŚ o przepustowości do $500 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ [GUS 2012]. Szacuje się, że wszystkie OŚ obsługują ponad 25 mln mieszkańców naszego kraju. Zgodnie z danymi GUS, ilość wytworzonych osadów ściekowych w ciągu 10 lat (2000–2009) zwiększyła się prawie o połowę z 359,8 do 563,1 tys. Mg s.m. W 2011 r. wyniosła 519,2 tys. Mg s.m., z czego w rolnictwie i do rekultywacji terenu wykorzystano 170,6 tys. Mg s.m. (33%). Na przykład w 2009 r. przyrodniczo wykorzystano 200,9 tys. Mg s.m. osadów z wytworzonej ilości 563,1 tys. Mg s.m. (36%). Do tej pory dominującym kierunkiem zagospodarowania osadów było ich składowanie na terenie oczyszczalni lub na składowiskach odpadów. Należy wspomnieć, że od 1 stycznia 2013 r. obowiązują nowe kryteria dopuszczające składowanie odpadów na składowiskach [Rozporządzenie MG... 2007]. Według tych kryteriów większość osadów ściekowych nie spełnia norm pozwalających na ich deponowanie. Składowanie ich na terenie oczyszczalni jest coraz bardziej ograniczane, a od 2016 r. planuje się całkowity zakaz ich składowania [BIEŃ 2012]. Obecnie zwiększa się udział osadów przekształcanych termicznie [BIEŃ i in. 2011]. W 2010 r. w porównaniu ze stanem z 2000 r. nastąpiło znaczne zwiększenie ilości tych osadów (z 1,4 tys. Mg s.m. w 2004 r. do 19,8 tys. Mg w 2010 r.) [SADECKA 2013]. Szacuje się, że do 2018 r. aż 50% wytworzonych osadów zostanie zutylicowane w różnych procesach termicznego przekształcania, np. poprzez spalanie, współspalanie, pirolizę i inne [BIEŃ 2012]. Obecnie problemem jest mała ilość lub brak odpowiednich instalacji do termicznego przekształcania.

Według prognoz na lata 2015 i 2022 w Polsce nastąpi zwiększenie ilości osadów z 662 tys. Mg s.m. do 746 tys. Mg s.m. [Uchwała... 2010]. Największym producentem osadów będą duże oczyszczalnie obsługujące aglomeracje >100 000 RLM (56%). Dla tych OŚ powinny powstać odpowiednie systemy odwadniania, suszenia oraz termicznego przekształcania. Osady ściekowe z tych OŚ zawierają zwiększone ilości zanieczyszczeń, takich jak: metale ciężkie, szkodliwe związki organiczne i organizmy chorobotwórcze. Zanieczyszczenia te generowane są przez przemysł, laboratoria, jednostki ochrony zdrowia (szpitale) itp. Duża zawartość zanieczyszczeń dyskwalifikuje je do jakiegokolwiek wykorzystania [BOŻYM, WACŁAWEK 2000].

Małe OŚ (2 000–15 000 RLM), wytworzą jedynie 13% całkowitej ilości wytworzonych osadów w Polsce [SADECKA 2013]. Osady z tych OŚ znacznie częściej spełniają odpowiednie normy jakościowe określone w Rozporządzeniu MŚ 2010. Dzięki temu istnieje większa możliwość ich rolniczego zagospodarowania, np. pod

uprawy roślin na cele energetyczne. Mimo rosnącej tendencji do termicznego przekształcania osadów, należy zastanowić się, czy stosowanie tej metody jest słuszne w odniesieniu do osadów z wiejskich, małych OŚ, jeśli w pobliżu nie ma instalacji do termicznego przekształcania. Transport osadów na większe odległości będzie nieekonomiczny, nieekologiczny i racjonalnie nieuzasadniony. Wiejskie OŚ powinny być ukierunkowane w większym stopniu na przyrodnicze wykorzystanie osadów. W związku z tym należy skupić się na metodach stabilizacji i higienizacji, aby stosowanie tych osadów było bezpieczne dla środowiska.

Zaletą osadów z wiejskich OŚ jest duża wartość nawozowa oraz małe zanieczyszczenie metalami ciężkimi. Powstającą niewielką ilość osadów łatwiej zmagazynować i zagospodarować. Osady ściekowe przeznaczone do przyrodniczego wykorzystania powinny zostać zhigienizowane i przetworzone w taki sposób, aby w jak najmniejszym stopniu obniżyć ich wartość nawozową.

CZYŻYK [2012] sugeruje, że dobrym rozwiązaniem dla oczyszczalni o przepływie do $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ może być odwadnianie i przetwarzanie osadów ściekowych przed ich użyciem przyrodniczym, na poletkach hydrofitowych. Odpowiednim rozwiązaniem jest również kompostowanie osadów [BAUZA-KASZEWSKA i in., 2010; CZEKAŁA, SAWICKA 2006; CZYŻYK, KOZDRAŚ 2002; 2004]. Podczas procesów kompostowania dochodzi do: zmniejszenia uwodnienia, humifikacji substancji organicznej, poprawy stosunku C:N, a jednocześnie higienizacji i stabilizacji. Przeważa liczne badania, które potwierdziły przydatność osadów ściekowych i kompostów z osadów do celów nawozowych [AUGUSTYNOWICZ i in. 2010; CZYŻYK, KOZDRAŚ 2002; 2004; JAKUBUS 2006], jednak badane osady pochodziły głównie z większych komunalnych OŚ.

Celem pracy była ocena przydatności osadów ściekowych, pochodzących z wiejskiej oczyszczalni ścieków i wytworzonych z nich kompostów, do przyrodniczego wykorzystania na podstawie kryterium zawartości metali ciężkich.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Materiałem do badań był osad ściekowy i kompost pobrany w latach 2008–2012. Próbkę osadu ściekowego pobierano zgodnie z normą PN-EN ISO 5667-13:2004P, a próbki kompostu zgodnie z normą PN-Z-15011-1:1998P.

Osad ściekowy pochodził z typowej wiejskiej, mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków o przepustowości do $160 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, znajdującej się w Dobrzeńcu w woj. dolnośląskim. Do oczyszczalni odprowadzane są ścieki bytowe z trzech wsi: Dobrzeń, Dobra i Strzelce. Osady były stabilizowane, a następnie odwadniane. Kompost corocznie był przygotowywany z tych osadów i odpadów roślinnych (trawa, trociny). Kompostowanie odbywało się w przyzmiu, na specjalnie przygotowanej do tego płycie kompostowej na terenie Stacji Badawczej Dolnośląskiego

Ósrodka Badawczego. Osady i komposty stosowano do nawożenia roślin energetycznych w doświadczeniu lizymetrycznym.

Przed rozpoczęciem badań przyjęto założenie, że zawartość metali ciężkich w osadach z wiejskiej oczyszczalni ścieków oraz kompostach wytworzonych z tych osadów będzie mała. Skład osadów zależy od jakości doprowadzanych ścieków. Do wiejskich oczyszczalni zazwyczaj odprowadzane są tylko ścieki bytowe, które nie zawierają nadmiernych ilości metali ciężkich. Doprowadzane ścieki przemysłowe wnoszą natomiast znaczny ładunek metali ciężkich, co wpływa na zwiększoną zawartość metali ciężkich w osadzie.

W osadach i kompostach oznaczono zawartość metali ciężkich zgodnie z Rozporządzeniem MŚ... [2010] (oprócz rtęci). Wysuszone, rozdrobnione próbki osadów i kompostów poddano mineralizacji mikrofalowej w systemie zamkniętym w wodzie królewskiej zgodnie z normą PN-EN 13346:2002. Program temperatury pieca mikrofalowego (Milestone, Start D): 15 minut narost temperatury do 200°C, utrzymanie temperatury 200°C przez 15 minut, chłodzenie 20 minut. Mineralizaty zbadano na obecność Cd, Pb, Cu, Zn, Cr i Ni z wykorzystaniem spektrometru absorpcji atomowej Solaar 6M (Thermo) metodą płomieniową (FAAS). Parametry analizy metali, tzn. granicę oznaczalności oraz niepewność rozszerzoną oznaczania metali ciężkich w osadach ściekowych i kompostach, przedstawiono w tabeli 1. Próbkę przygotowano w trzech powtórzeniach.

Tabela 1. Granica oznaczalności (GO) oraz niepewność rozszerzona u dla $k = 2$ i przedziału ufności 95% oznaczania metali ciężkich w osadach ściekowych i kompostach

Table 1. Limit of quantification (LOQ) and expanded uncertainty u for $k = 2$ and confidence interval 95% of heavy metals determination in sewage sludge and composts

Wyszczególnienie Specification	Cd	Pb	Cu	Zn	Cr	Ni
GO, mg·kg ⁻¹ s.m.	0,2	1,2	0,5	0,2	0,4	0,5
LOQ, mg·kg ⁻¹ d.m.						
u , %	10	10	15	15	10	15

Objaśnienie: k – współczynnik rozszerzenia. Eksplanation: k – coverage factor.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

WYNIKI BADAŃ I DYKUSJA

Analizowano zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych i kompostach pobranych w latach 2008–2012 (tab. 2). Uśrednione wyniki badań obu materiałów opisano i porównano z dopuszczalnymi według obowiązujących przepisów.

Jednym z głównych źródeł podwyższonego poziomu zanieczyszczeń metalami ciężkimi w ściekach są ścieki dopływające z różnych gałęzi przemysłu [SIUTA, WASIAK 1991], ale również ujęcia wód opadowych i roztopowych w systemie ka-

Tabela 2. Zawartość ogólna metali ciężkich w badanych osadach ściekowych i kompostach**Table 2.** Total heavy metals content in analyzed sewage sludge and composts

Lata Years	Zawartość, mg·kg ⁻¹ s.m.			Content, mg·kg ⁻¹ d.m.		
	Pb	Cd	Ni	Zn	Cu	Cr
	Osad ściekowy			Sewage sludge		
2008	42,5±2,9	0,66±0,05	25,4±1,8	639±44	374±26	84,3±5,9
2009	24,2±1,6	0,85±0,06	19,4±1,4	543±38	140±10	24,8±1,8
2010	18,6±1,3	0,76±0,05	18,5±1,3	582±40	135±9	21,3±1,6
2011	30,0±2,0	1,82±0,10	24,0±1,7	549±39	212±12	26,5±1,8
2012	27,8±1,9	1,66±0,11	24,0±1,6	562±38	154±11	27,5±1,9
Avg ± SD	28,6±8,9	1,15±0,55	22,3±3,1	575±39	203±100	36,9±26,6
	Kompost			Compost		
2008	22,7±1,6	1,80±0,13	18,5±1,3	600±40	187±13	45,1±3,2
2009	24,0±1,7	1,78±0,13	18,9±1,2	568±39	179±12	40,5±2,8
2010	31,8±2,2	1,45±0,10	19,6±1,2	518±36	171±11	23,8±1,5
2011	25,2±1,7	1,51±0,11	20,2±1,4	507±35	157±11	24,8±1,7
2012	34,7±2,1	1,50±0,11	18,9±1,3	510±36	169±10	24,4±1,7
Avg ± SD	27,7±5,3	1,61±0,17	19,2±0,7	541±41	173±11	31,7±10,2

Objaśnienia: Avg – średnia z 5 lat, SD – odchylenie standardowe.

Explanation: Avg – average of 5 years, SD – standard deviation.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

nalizacyjnym. Dlatego też zawartość poszczególnych metali w osadach ściekowych może być zróżnicowana. Oddziaływanie tych metali na środowisko glebowe i roślinne jest też różne.

Ołów dostarczony do gleby w dużym stężeniu wpływa toksycznie na mikroorganizmy glebowe, co prowadzi do hamowania rozkładu materii organicznej. Zaburza też metabolizm i prawidłowy rozwój roślin [KABATA-PENDIAS, MUKHERJEE 2007]. Zawartość ołowiu według SIUTY [2003] w osadach z polskich OŚ może wynosić od 3 do 372 mg·kg⁻¹ s.m. W badanych osadach wyniosła ona od 18,6 mg·kg⁻¹ s.m. (2010 r.) do 42,5 mg·kg⁻¹ s.m. (2008 r.), a w kompostach 22,7–34,7 mg·kg⁻¹ s.m., czyli była zbliżona do zawartości w osadach. Zawartość ołowiu w osadach i kompostach była 25 razy mniejsza od dopuszczalnej podanej w Rozporządzeniu MŚ... [2010]. CZYŻYK i KOZDRAŚ [2004] także stwierdzili mniejszą jego zawartość w kompostach z osadów (7 mg·kg⁻¹ s.m.) w porównaniu z występującą w samych osadach (40 mg·kg⁻¹ s.m.). Inne wyniki uzyskała RONDEK [2003], która oznaczyła większą zawartość ołowiu w kompostach (27–41 mg·kg⁻¹ s.m.) niż w osadach (13–20 mg·kg⁻¹ s.m.). Na zawartość ołowiu w kompostach może wpływać jakość materiału strukturotwórczego (trawa i trociny).

Kadm należy do metali toksycznych. Po pobraniu z gleby przez rośliny jest kumulowany głównie w korzeniach i powoduje zakłócenia w przebiegu fotosyntezy [KABATA-PENDIAS, MUKHERJEE 2007]. Zawartość tego pierwiastka w osadach

z OŚ w Polsce może wynosić 0,3–83,8 mg·kg⁻¹ s.m., a z małych oczyszczalni 0,2–12,8 mg·kg⁻¹ s.m. [SIUTA 2003]. Jego zawartość w badanych osadach wahała się w granicach od 0,66 mg·kg⁻¹ s.m. (2008 r.) do 1,82 mg·kg⁻¹ s.m. (2011 r.). Zawartość kadmu w okresie badań zwiększyła się i była trzykrotnie większa w 2011 r. niż w 2008 r., natomiast w kompostach z osadów wynosiła od 1,45 mg·kg⁻¹ s.m. (2010 r.) do 1,80 mg·kg⁻¹ s.m. (2008 r.). Stwierdzono natomiast większy udział tego metalu w kompoście niż w osadzie. Może to wynikać z zanieczyszczenia materiału strukturotwórczego (trocin, trawy) tym pierwiastkiem. Podobną zależność stwierdzili CZYŻYK i KOZDRAŚ [2004] w osadach (1,6 mg·kg⁻¹ s.m.) i kompostach z osadów (2,0 mg·kg⁻¹ s.m.) z oczyszczalni wiejskiej w Dobroszycach. GONDEK [2003] natomiast zauważyła zmniejszenie zawartości kadmu w kompostach wytworzonych na bazie osadów ściekowych (0,3–0,6 mg·kg⁻¹ s.m.) w stosunku do zawartości w osadzie (0,4–1,0 mg·kg⁻¹ s.m.). Zawartość kadmu w kompostach nie wykazywała dużych wahań w kolejnych latach.

Nikiel, jako mikroelement, w śladowych ilościach jest niezbędny dla roślin, jednak jego nadmiar jest toksyczny. Pobrany przez rośliny blokuje dostęp innych pierwiastków potrzebnych do rozwoju [KABATA-PENDIAS, MUKHERJEE 2007]. SIUTA [2003] szacuje zawartość tego metalu w osadach z OŚ w Polsce w bardzo szerokim zakresie – od 2,2 do 358 mg·kg⁻¹ s.m. W badanych próbkach oznaczono go na podobnym poziomie zarówno w osadach, jak i kompostach. Zawartość w badanych osadach wahała się w granicach 18,5–25,4 mg·kg⁻¹ s.m., natomiast w kompostach – od 18,5 do 20,2 mg·kg⁻¹ s.m. Inni autorzy stwierdzili zmiany w zawartości tego pierwiastka w osadach poddanych kompostowaniu. CZYŻYK i KOZDRAŚ [2004] wykazali mniejszą jego zawartość w kompostach (5 mg·kg⁻¹ s.m.) niż w osadach (70 mg·kg⁻¹ s.m.), natomiast IGNATOWICZ i in. [2011] stwierdzili nieco większą jego zawartość w kompostach (19,4 mg·kg⁻¹ s.m.) niż w osadach (17,2 mg·kg⁻¹ s.m.).

Cynk należy do mikroelementów niezbędnych do vegetacji roślin, ale zarówno jego niedobór, jak i nadmiar jest niepożądany. Niedobór tego pierwiastka powoduje przede wszystkim zahamowanie wzrostu roślin (karłowatość). Pobierany w nadmiarze przez rośliny jest kumulowany w korzeniach roślin, zaburza fotosyntezę, metabolizm wiązania wapnia, miedzi i żelaza [KABATA-PENDIAS, MUKHERJEE 2007]. Zawartość cynku w osadach z OŚ w Polsce szacuje się na poziomie od 83 do 5124 mg·kg⁻¹ s.m. [SIUTA 2003]. Cynk jest metalem powszechnie występującym w środowisku. W badanych próbkach jego zawartość była największa spośród analizowanych metali. W osadach oznaczono go na poziomie od 543 do 639 mg·kg⁻¹ s.m., natomiast w kompostach od 507 do 600 mg·kg⁻¹ s.m. Badane osady i komposty zawierały pięciokrotnie mniej cynku w stosunku do wartości dopuszczalnych podanych w rozporządzeniu. W kolejnych latach różnice jego zawartości w osadach i kompostach były niewielkie. Nie stwierdzono też znacznych różnic w zawartości tego pierwiastka między badanymi materiałami. CZYŻYK i KOZDRAŚ [2004] stwierdzili znacznie mniejszą zawartość cynku w kompostach (480 mg·kg⁻¹

s.m.) niż w osadach ($2285 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.), natomiast IGNATOWICZ i in. [2011] stwierdzili niewielkie zmniejszenie tego pierwiastka w kompostach ($536,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) w porównaniu z występującą w osadach ściekowych ($655,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.).

Miedź jest ważnym składnikiem pokarmowym dla roślin, jej niedobór uniemożliwia normalny rozwój, ale jego nadmiar może prowadzić do zahamowania fotosyntezy [KABATA-PENDIAS, MUKHERJEE 2007]. Osady ze ścieków komunalnych zawierają zazwyczaj niewiele tego składnika. Dopływ ścieków przemysłowych może jednak spowodować znaczną jego koncentrację w osadach. SIUTA [2003] podaje bardzo duży rozrzut zawartości tego pierwiastka w osadach z OŚ w Polsce – w granicach $0,3\text{--}1340 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. W badanych osadach oznaczono miedź na poziomie $135\text{--}374 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., natomiast w kompostach – $157\text{--}187 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Jej zawartość w kompostach była nieco mniejsza niż w osadach ściekowych. Zawartość tego pierwiastka w kolejnych latach była znacznie większa w osadach niż w kompostach. Wahania jego zawartości, podobnie jak pozostałych metali w kompostach, są mniejsze niż w osadach, co może świadczyć o stabilności składu kompostów z osadów. CZYŻYK i KOZDRAŚ [2004] stwierdzili znacznie mniejszą zawartość miedzi w kompostach z osadów niż w osadach – odpowiednio $40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. i $530 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., natomiast GONDEK [2003] oraz IGNATOWICZ i in. [2011] stwierdzili odwrotną prawidłowość.

Chrom jest niepożądanym pierwiastkiem, ponieważ jego nadmierna dostępność dla roślin powoduje chlorozę, a to prowadzi do zaburzenia gospodarki wodnej, uszkodzenie stożków wzrostu oraz systemu korzeniowego [KABATA-PENDIAS, MUKHERJEE 2007]. SIUTA [2003] podaje szeroki zakres zawartości tego metalu w osadach z OŚ w Polsce – $5\text{--}1380 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. W badanych osadach jego zawartość wahała się od $21,3$ do $84,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., w kompostach było go mniej – od $23,8$ do $45,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Badane osady i komposty zawierały 15 razy mniej chromu od wartości dopuszczalnych podanych w rozporządzeniu. CZYŻYK i KOZDRAŚ [2004] stwierdzili znacznie mniejszą zawartość tego pierwiastka w kompostach z osadu ($44 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) niż w osadach ściekowych ($150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.), natomiast IGNATOWICZ i in. [2011] oznaczyli je na wyższym poziomie w kompostach ($18,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.) niż osadach ($12,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.).

Na podstawie wyników badań stwierdzono, że zawartość metali ciężkich we wszystkich badanych i opisanych powyżej próbkach osadu i kompostu nie przekraczała wartości dopuszczalnych dla osadów i kompostów stosowanych na cele rolnicze, były one nawet wielokrotnie mniejsze od wartości dopuszczonych w Rozporządzeniu MŚ... [2010]. Osady z wiejskich OŚ i komposty z tych osadów mogą być stosowane do rekultywacji terenów oraz do celów rolniczych (np. nawożenie roślin energetycznych i produkcji roślin z przeznaczeniem na biopaliwa).

Dostosowując polskie prawodawstwo do obowiązującego w UE, w 2010 r. w Polsce zwiększono dopuszczalne zawartości większości metali ciężkich, w tym w osadach stosowanych na cele rolnicze. Jedynie zawartość chromu i niklu pozostała na tym samym poziomie. Wydaje się jednak wątpliwe, czy działania te są ko-

rzystne. Możliwe, że liberalizacja przepisów miała na celu zwiększenie przyrodniczego wykorzystania osadów. Nie wiadomo tylko, czy przyniesie to pożądaný efekt, czy wpłynie jedynie na zwiększenie zagrożenia środowiska.

Uzyskane wyniki porównano z wartościami dopuszczalnymi zgodnie z Rozporządzeniem MŚ obowiązującym przed i po 2010 r., Dyrektywą 86/278/EEC oraz projektowanymi zmianami w normatywie ENV/E.3LM (tab. 3). Na tej podstawie można stwierdzić, że badane osady i komposty spełniają także bardziej rygorystyczne normy. Obecnie w UE pracuje się nad obniżeniem granicznych zawartości metali ciężkich w osadach stosowanych na cele rolnicze.

Tabela 3. Dopuszczalne zawartości metali ciężkich w osadach ściekowych stosowanych przyrodniczo w Polsce w latach 2002–2010, zgodnie z obowiązującym prawem UE oraz planowanymi normatywami UE

Table 3. Limit value of heavy metals in sewage sludge for agricultural use in Poland between 2002–2010, in UE law and by community law in force and planned UE law

Metal	Dopuszczalna zawartość metali ciężkich, mg·kg ⁻¹ s.m. Limit value of heavy metals, mg·kg ⁻¹ DM								
	według Rozporządzenia MŚ [2010] ¹⁾ by Rozporządzenia MŚ [2010] ¹⁾						w osadach ściekowych przeznaczonych do stosowania w rolnictwie ²⁾ in sewage sludge to agricultural use ²⁾		
	w rolnictwie in agriculture		do rekultywacji terenów na cele nierolne for land reclamation, non-agricultural		inne other		wg UE Dyrektywa 86/278/EEC by UE Directive 86/278/EEC	proponowane zmiany wg ENV/E.3/LM proposed changes by ENV/E.3/LM	
	2002	2010	2002	2010	2002	2010	–	2015	2025
Pb	500	750	1000	1000	1500	1500	720–1200	500	200
Cd	10	20	25	25	50	50	20–40	5	2
Hg	5	16	10	20	25	25	16–25	5	2
Ni	100	300	200	400	500	500	300–400	200	100
Zn	2500	2500	3500	3500	5000	5000	2500–4000	2000	1500
Cu	800	1000	1200	1200	2000	2000	1000–1750	800	600
Cr	500	500	1000	1000	2500	2500	–	800	600

Źródło: ¹⁾ Rozporządzenia MŚ [2010], ²⁾ LATOSIŃSKA [2011].

Source: ¹⁾ Rozporządzenia MŚ [2010], ²⁾ LATOSIŃSKA [2011].

WNIOSKI

1. Na podstawie wyników badań stwierdzono, że osady ściekowe z wiejskiej oczyszczalni ścieków i wytworzone z nich komposty ze względu na zawartość metali ciężkich nadają się do przyrodniczego wykorzystania. Uzyskane wyniki były wielokrotnie niższe od wartości granicznych określonych dla osadów stosowanych

rolniczo. Daje to możliwość wykorzystywania ich nie tylko do celów rekultywacyjnych, ale i na cele rolnicze. Komposty wytworzone na bazie osadów ściekowych również mogą być stosowane do celów rolniczych, pod warunkiem zastosowania w procesie kompostowania niezanieczyszczonego metalami ciężkimi materiału strukturotwórczego (odpadów roślinnych).

2. Zawartość cynku, chromu, ołowiu i niklu w osadach i kompostach kształtowała się na podobnym poziomie. Stwierdzono mniejszą zawartość miedzi i większą zawartość kadmu w kompostach niż w osadach. Wpływ na to mógł mieć dodany materiał roślinny (trawa i trociny).

3. Stwierdzono, że zawartość metali ciężkich, takich jak: miedź i cynk, w osadzie i kompoście była odpowiednia do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin.

4. Zawartość metali ciężkich w badanych próbkach osadu i kompostu nie ulegała większym zmianom w latach 2008–2012, co można tłumaczyć stabilnym składem jakościowym ścieków (pod względem zawartości metali ciężkich) dopływających do oczyszczalni.

5. Porównując zawartość metali ciężkich w badanych próbkach osadu ściekowego i kompostu z wartościami podanymi w planowanej normatywie mającej obowiązywać w latach 2015 i 2025, można stwierdzić, że spełniają one nawet te bardziej rygorystyczne normy.

LITERATURA

- AUGUSTYNOWICZ J., PIETKIEWICZ S., KALAJ M.H., RUSSEL S. 2010. Wpływ nawożenia osadem ściekowym na wybrane parametry aktywności biologicznej gleby oraz wydajności aparatu fotosyntetycznego słonecznika bulwiastego (*Helianthus tuberosus* L.). Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 10. Z. 2 (30) s. 7–18.
- BAUZA-KASZEWSKA J., PALUSZAK Z., SKOWRON K. 2010. Wpływ kompostowania osadów ściekowych na liczebność wybranych grup drobnoustrojów autochtonicznych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 10. Z. 2 (30) s. 19–27.
- BIEŃ J. D. 2012. Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi. Inżynieria i Ochrona Środowiska. T. 15. Nr 4 s. 439–449.
- BIEŃ J.D., NECZAJ E., WORWĄG M., GROSSER A., NOWAK D., MILCZAREK M., JANIK M. 2011. Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013. Inżynieria i Ochrona Środowiska. T. 14. Nr 4 s. 375–384.
- BOŻYM M., WACŁAWEK W. 2000. Problem zagospodarowania osadów ściekowych w Polsce, krajach Unii Europejskiej i USA. Chemia-Dydaktyka-Ekologia-Metrologia. Nr 5(1–2) s. 105–112.
- CZEKAŁA J., SAWICKA A. 2006. Przetwarzanie osadu ściekowego z dodatkiem słomy i trocin na produkt bezpieczny dla środowiska. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 6 Z. 2 (18) s. 41–50.
- CZYŻYK F. 2012. Zagospodarowanie osadów ściekowych z wiejskich oczyszczalni ścieków. W: Gospodarowanie odpadami komunalnymi w świetle nowych uwarunkowań prawnych [online]. Materiały Konferencji. Falenty 3.10.2012. [Dostęp 18.11.2013]. Dostępny w Internecie: <http://www.fict.pl/>
- CZYŻYK F., KOZDRAŚ M. 2004. Właściwości chemiczne i kompostowanie osadów z wiejskiej oczyszczalni ścieków. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 4. Z. 2a (11) s. 559–569.

- CZYŻYK F., KOZDRAŚ M., SIERADZKI T. 2002. Wartość nawozowa kompostów z osadów ściekowych i słomy. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 484 s. 117–124.
- Dyrektywa Rady 86/278/EEC z dnia 12 czerwca 1986 r. w sprawie ochrony środowiska, w szczególności gleby, w przypadku wykorzystywania osadów ściekowych w rolnictwie. *Dz. U. L 181*.
- Dyrektywa Rady 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych. *Dz. U. UE. L 91*.
- GONDEK K. 2003. Zawartości metali ciężkich w glebie nawożonej osadami garbarskimi i kompostami z tych osadów. *Inżynieria Ekologiczna*. Nr 9 s. 112–121.
- GUS 2012. *Ochrona środowiska*. Warszawa. ISSN 0867-3217 ss. 599.
- IGNATOWICZ K., GARLICKA K., BREŃKO T. 2011. Wpływ kompostowania osadów ściekowych na zawartość wybranych metali i ich frakcji. *Inżynieria Ekologiczna*. Nr 25 s. 231–241.
- JAKUBUS M. 2006. Ocena przydatności osadów ściekowych w nawożeniu roślin. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 6. Z. 2 (18) s. 87–97.
- KABATA-PENDIAS A., MUKHERJEE A.B. 2007. *Trace elements from soil to human*. Berlin-Heidelberg. Springer. Verl. ISBN 978-540-32713-4 ss. 550.
- LATOŚIŃSKA J., GAWDZIK J. 2011. Mobilność metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych z przykładowych oczyszczalni ścieków Polski centralnej. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*. Nr 50 s. 20–32.
- PN-EN 13346:2002 Charakterystyka osadów ściekowych – Oznaczanie pierwiastków śladowych i fosforu – Metody ekstrakcji wodą królewską.
- PN-EN ISO 5667-13:2004P Jakość wody – Pobieranie próbek – Cz. 13: Wytyczne dotyczące pobierania próbek osadów z oczyszczalni ścieków i stacji uzdatniania wody.
- PN-Z-15011-1:1998P Kompost z odpadów komunalnych – Pobieranie próbek.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu. *Dz. U.* 2013 Nr 0 poz. 38.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. *Dz. U.* 2010. Nr 137 poz. 924.
- SADECKA Z. 2013. Toksyczność w procesie beztlenowej stabilizacji komunalnych osadów ściekowych. *Monografia*. Nr 105. Zielona Góra. PAN, Kom. Inż. Środ. ISBN 978-8363714-04-8 ss. 114.
- SIUTA J. 2003. Uwarunkowania i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych. *Inżynieria Ekologiczna*. Nr 9 s. 7–42.
- SIUTA J., WASIAK G. 1991. *Zasady gospodarki odpadami bytowymi w środowisku przyrodniczym*. Warszawa. IOŚ. ISBN 83-85002-46-4 ss. 168.
- Uchwała nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r. w sprawie „Krajowego planu gospodarki odpadami 2014”. *MP* 2010. Nr 101 poz. 1183.
- Working document on sludge. 3rd Draft – EC DG XI, ENV/E.3/LM. 2000.

Agnieszka RAJMUND, Marta BOŻYM

AN ASSESSMENT OF THE CONTENTS OF HEAVY METALS IN SEWAGE SLUDGE FROM RURAL AREA AND COMPOSTS, IN THE ASPECT OF THEIR NATURAL USE

Key word: *composts, heavy metals, rural waste water treatment plants, sewage sludge*

S u m m a r y

Sewage sludge from rural sewage treatment plant should be naturally utilized due to the low content of heavy metals and high fertilizer value. The total content of heavy metals in sewage sludge from rural sewage treatment plants and composts from these deposits was examined in this study. Sediment and compost samples were subjected to microwave mineralization in a closed system in aqua regia, and then the presence of Cd, Pb, Cu, Zn, Cr and Ni using atomic absorption spectrometer was examined. The influence of the composting process on the changes of content of these metals in the sediment was analyzed. The results were compared against the limit values according to the applicable law. It was found that the content of heavy metals in sediments and composts was very small. The results were many times lower than the acceptable limits of heavy metals in sludge used for agricultural purposes. The content of most metals was similar in both sediments and composts. There were no significant differences in the content of heavy metals in the following years. Both, the studied sediments and composts may be admitted to the natural (including agricultural) use.

Adres do korespondencji: mgr inż. A. Rajmund, Dolnośląski Ośrodek Badawczy ITP we Wrocławiu, ul. Z. Berlinga 7, 51-209 Wrocław; tel. + 48 71 367-80-92 w. 5, e-mail: A.Rajmund@itep.edu.pl