



Fracjonowanie wybranych metali ciężkich w osadach ściekowych przetwarzanych metodami niskonakładowymi

Dariusz Boruszko
Politechnika Białostocka

1. Wstęp

Wynikający z Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych rozwój systemów oczyszczalni ścieków wwiąże się ze wzrostem ilości powstających osadów. Osady ściekowe należy traktować jako surowiec o dobrej wartości nawozowej i energetycznej [1]. Dla wielu eksploatatorów oczyszczalni ścieków wykorzystujących osad do celów rolniczych i przyrodniczych głównym problemem jest brak możliwości ich zagospodarowania zimą. W tym okresie osadów nie wolno wykorzystywać rolniczo, ponieważ gleby są zmarznięte i pokryte śniegiem, co uniemożliwia wymieszanie ich z glebą, a wiosenne roztopy mogą spowodować przedostawanie się odcieków do wód powierzchniowych [2].

Pierwiastki śladowe, które występują w nadmiernych ilościach w środowisku mogą wykazywać pewną szkodliwość [3]. Metale ciężkie kumulują się w osadach i dzięki temu mogą uniemożliwić ich przyrodnicze wykorzystanie. Dostępność metali dla organizmów żywych jest uwarunkowana ich mobilnością, która zależy od odczynu środowiska. Najbardziej mobilne są metale występujące w połączeniach rozpuszczalnych w wodzie i związane z węglanami, natomiast niedostępne są związane z glinokrzemianami. Ogólna zawartość metali ciężkich nie jest miarodajnym wskaźnikiem oceny biodostępności metali ciężkich. Takiej oceny można dokonać przez określenie ilości metali związanych przez poszczególne składniki (frakcje) osadów ściekowych. W celu określenia

biodostępności metali ciężkich wykonuje się analizę specyficzną oraz frakcjonowanie [4].

Wyróżnia się 5 frakcji, w jakich metale są związane w osadach ściekowych:

- 1) *Frakcja I* (metale wymienne) – jest to frakcja najłatwiej dostępna, w której metale są związane z powierzchnią osadów za pomocą adsorpcji fizycznej i chemisorpcji.
- 2) *Frakcja II* (metale związane z węglanami) – jest to frakcja zawierająca metale w formie węglanów albo współstrącane z węglanami. Metale te mogą być uwalniane w wyniku obniżenia odczynu.
- 3) *Frakcja III* (metale związane z uwodnionymi tlenkami żelaza i manganu) – jest to frakcja obejmująca metale zaadsorbowane, bądź strącane z tlenkami i wodorotlenkami żelaza i manganu, dość wrażliwa na zmiany potencjału oksydacyjno-redukcyjnego.
- 4) *Frakcja IV* (metale związane z materią organiczną) – są to metale związane ze związkami organicznymi oraz uwalniane w wyniku ich mineralizacji.
- 5) *Frakcja V* (pozostałe połączenia) – jest to frakcja obejmująca metale wbudowane w sieć krystaliczną minerałów pierwotnych i wtórnych (kwarcu i glinokrzemianów) oraz związane z innymi trwałymi związkami.

Celem prowadzonych badań było rozpoznanie frakcjonowania metali ciężkich w osadach ściekowych komunalnych i mleczarskich przetwarzanych metodami niskonakładowymi. Celem badań było również rozpoznanie występowania frakcji metali ciężkich w różnych materiałach organicznych powstałych przy przetwarzaniu osadów ściekowych.

2. Obiekty badawcze, stosowane technologie

Próby osadów ściekowych do badań pobierano z komunalnej oczyszczalni ścieków we wsi Nagórki Jabłoń (zlokalizowanej koło Zambrowa) oraz z instalacji badawczych własnego projektu (fot. 1).

Celem intensyfikacji przetwarzania osadów ściekowych w instalacjach zastosowano Efektywne Mikroorganizmy. Dodatkowo każdą insta-

lację (jedną obsadzoną wierzbą, jedną obsadzoną trzcina i jedną z wermikulturą zasilano preparatem EM-A. Zasilanie w odstępach około 2 tygodniowych w rozcieńczeniu preparatu z wodą 1–100 powierzchniowo na powierzchnię poletek i w postaci oprysków.



Fot. 1. Instalacja badawcza w połowie okresu wegetacyjnego – 1-szy rok (Boruszko)

Photo 1. Installation of the research in the middle of the growing season – first year

Instalacje badawcze charakteryzują się następującymi parametrami:

- wymiary pojedynczego poletka badawczego 2 m długości i 2 m szerokości,
- ilość poletek badawczych 6 szt. w układzie 2 poletka obsadzone wierzbą energetyczną, 2 poletka obsadzone trzcina pospolita, 2 poletka z wermikulturą,
- wysokość wypełnienia poletek obsadzonych trzcina i wierzbą 60 cm (trzy frakcje wypełnienia),
- poletka zostały zdrenowane i wykonano instalację odprowadzającą odcieki oraz doprowadzającą osad ściekowy zagęszczony [5].

Zasilanie instalacji osadami ściekowymi mleczarskimi rozpoczęto w maju 2010 r. Ustabilizowane osady mleczarskie zasilające instalacje pochodzą z oczyszczalni ścieków mleczarskich Mlekovita w Wysokiem Mazowieckiem.

Oczyszczalnia miejska w Zambrowie produkuje około 1 tony s.m./dobę osadu nadmiernego surowego. Gospodarka osadowa została rozwiązana w oparciu o laguny osadowe, laguny trzcinowe oraz poletka z dżdżownicami.



Fot. 2. Poletka kompostowe (wermikultura) w Zambrowie

Photo 2. Vermicompost processed by earthworms California in Zambrow

W sezonie letnim osad z KSO (komory stabilizacji tlenowej osadu) odprowadzany jest bezpośrednio na 2 trzcinowiska o powierzchni 5500 m² każde. Osad ten stanowi 50–60% osadu powstającego w ciągu roku. W 2005 r. dokonano nasadzeń trzciny na kolejnej drugiej lagunie o powierzchni 5500 m². Zapewniło to skuteczność i powtarzalność cykli przeróbki osadu w następnych latach bez nakładów inwestycyjnych przy minimalnych kosztach eksploatacyjnych. Czas zatrzymania osadu na lagunach trzcinowych wynosi ok. 10–15 lat.

W sezonie zimowym osad z KSO kierowany jest do 2 lagun osadowych wyposażonych w drenaż pionowy, zapewniający wysoką skuteczność odwadniania osadu w trakcie napełniania laguny. Pojemność lagun

zwiększono, z 1500 m³ do 2500 m³ każda, poprzez zwiększenie napelnienia do 2 m. W okresie letnim, tj. maj–czerwiec, 60–70% osadu zgromadzonego w lagunach osadowych jest przepompowywane na poletka z dżdżownicami o powierzchni 2000 m². Pozostały osad z lagun osadowych w okresie jesiennym (po żniwach) wykorzystywany jest rolniczo m.in. do rekultywacji [6].



Fot. 3. Laguny trzcinowe w oczyszczalni ścieków w Zambrowie
Photo 3. Reed bed systems in Zambrow

3. Metodyka badań

Osady ściekowe do badań pobierano w czerwcu 2012 roku.

Do badań pobrano próbki: osadów mleczarskich przetwarzanych od 2010 r. w instalacji w skali technicznej oraz z osadów komunalnych przetwarzanych w skali rzeczywistej w oczyszczalni ścieków w Zambrowie.

Fracjonowanie metali ciężkich pozwala na rozróżnienie źródeł emisji metali ciężkich oraz umożliwia przewidywanie ich przemian i migracji w środowisku wodnym. Zdolność poszczególnych ekstrahentów do uwalniania jonów metalu z badanej próbki zależy od formy che-

micznej jonu metalu i reaktywności danego odczynnika z poszczególnymi frakcjami osadu. Stwierdzono, że metoda ekstrakcji sekwencyjnej pozwala określić względny udział poszczególnych frakcji danego pierwiastka, a także można ocenić ich „ekoszkodliwość”. Posługując się analizą sekwencyjną, można określić ilość danego pierwiastka, który może zostać włączony do łańcucha osad – gleba – roślina – człowiek. Badanie frakcji metali ciężkich pozwala także na określenie ich toksyczności i biologicznej przyswajalności [7].

Zawartość metali (cynku i niklu) w osadach ściekowych oznaczono techniką ASA. W tym celu zastosowano spektrometr Varian Spectra AA 100.

W zastosowanej do badań procedurze sekwencyjnej ekstrakcji BRC wyróżnić można następujące frakcje:

- frakcję wymienialną, rozpuszczalną w kwasach F1, związaną z węglanami – acid soluble – ekstrahowaną w następujący sposób: 1,0 g powietrznie suchych osadów zalano roztworem kwasu octowego o stężeniu 0,1 M i ekstrahowano za pomocą ultradźwięków przez 7 min. (moc 20 W) w temperaturze $22 \pm 5^\circ\text{C}$,
- frakcję redukowalną F2, związaną z tlenkami Fe/Mn – reducible – Do pozostałości osadu z etapu I dodano roztwór chlorowodoru hydroksyloaminyo stężeniu 0,5 M i pH=1,5. Ekstrahowano za pomocą ultradźwięków przez 7 min. (moc 20 W) w temperaturze $22 \pm 5^\circ\text{C}$,
- frakcję utleniającą F3, związaną z materią organiczną i siarczkami; ekstrahowaną w następujący sposób: do pozostałości osadu z etapu II dodano 30% nadtlenku wodoru 30% i ekstrahowano za pomocą ultradźwięków przez 2 min. (moc 20 W) w temperaturze $22 \pm 5^\circ\text{C}$. Następnie zredukowano objętość H_2O_2 do około 1 ml. Do wilgotnej pozostałości dodano roztwór octanu amonu o stężeniu 1M i pH= 2. Ekstrahowano za pomocą ultradźwięków przez 6 min. (moc 20W) w temperaturze $22 \pm 5^\circ\text{C}$,

W celu oznaczenia *zawartości ogólnej* metali ciężkich oraz frakcji rezydualnej F4 osadów wykonano mineralizację osadów ściekowych. Mineralizacja w mieszaninie stężonego HNO_3 i 30% H_2O_2 .

4. Wyniki badań i dyskusja

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w postaci tabel i wykresów, w których badane próby osadów i kompostów zostały oznaczone odpowiednio numerami:

- ✓ Osady mleczarskie przetwarzane z wykorzystaniem wierzby energetycznej
 - próbka I – bez udziału Efektywnych Mikroorganizmów
 - próbka II – z dodatkiem Efektywnych Mikroorganizmów
- ✓ Osady mleczarskie przetwarzane z wykorzystaniem trzciny pospolitej
 - próbka III – bez udziału Efektywnych Mikroorganizmów
 - próbka IV – z dodatkiem Efektywnych Mikroorganizmów
- ✓ Osady mleczarskie przetwarzane z wykorzystaniem wermikultury (dżdżownicy kalifornijskiej)
 - próbka V – bez udziału Efektywnych Mikroorganizmów
 - próbka VI – z dodatkiem Efektywnych Mikroorganizmów
- ✓ Komposty wyprodukowane na bazie osadów komunalnych:
 - próbka VII – osad przetwarzany na lagunie trzcinowej 3 lata
 - próbka VIII – osad przetwarzany przez wermikulturę 2 lata
 - próbka IX – osad przetwarzany przez wermikulturę 3 lata

W tabeli 1 przedstawiono wyniki zawartości całkowitej cynku oraz związanej w poszczególnych frakcjach w różnych próbkach osadów i kompostów.

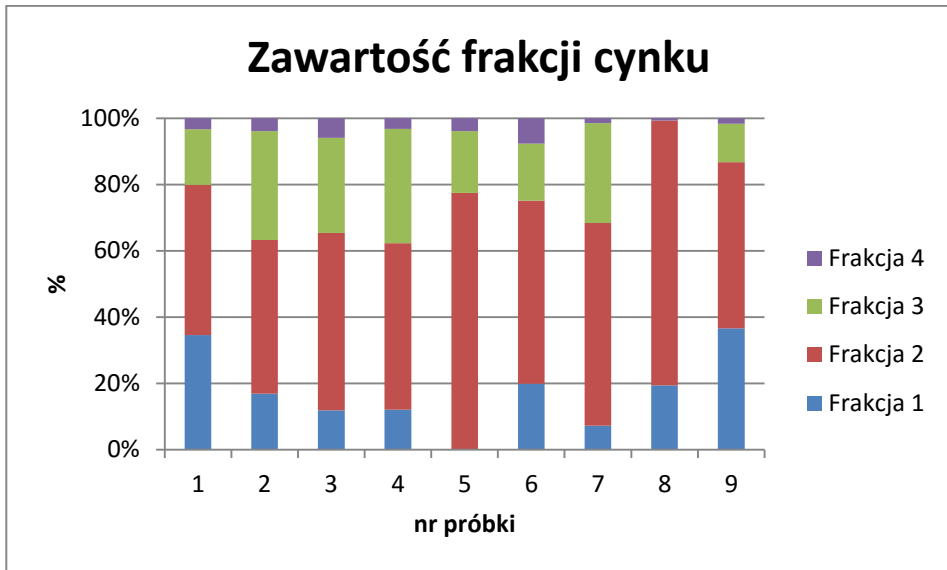
Całkowita zawartość cynku w badanych próbkach osadów i kompostów wahała się w granicach 169,4–1223,5 mg/kg s.m. Najwyższą jej wartość odnotowano w próbce osadu komunalnego przetwarzanego przez wermikulturę przez okres 2 lat, a najniższą w osadach mleczarskich z wierzwą energetyczną z zastosowaniem efektywnych mikroorganizmów. Analiza poszczególnych frakcji cynku pozwala stwierdzić, że we wszystkich próbkach osadów cynk w największym stopniu jest związany z frakcją F2, czyli związanej z tlenkami Fe i Mn (rys. 1, rys. 2). Cynk w tych próbkach był związany na poziomie od 30,9% dla osadu mleczarskiego z poletka trzcinowego do 57,2% dla 2-letniego wermikompostu z osadów komunalnych. W przypadku próbek nr II, III i VII zauważa się również wysoki stopień połączenia cynku z frakcją F3 związaną z mate-

rią organiczną, natomiast próbki o nr I i IX wykazują duży stopień połączenia cynku z frakcją 1, która jest rozpuszczalna. We wszystkich próbkach osadów ściekowych zauważono najsłabsze połączenia cynku z frakcją F4, tzw. rezydualną. Najniższą zawartość cynku związanego z frakcją F4 stwierdzono w próbce nr VIII odpowiadającej 0,5% w wermikulturze 2 letniej z kompostów wyprodukowanych na bazie osadów komunalnych, natomiast największą 6,2% w wermikulturze na bazie osadów mleczarskich.

Tabela 1. Zawartość cynku w poszczególnych frakcjach w badanych próbkach
Table 1. The zinc content in the various fractions in the studied samples

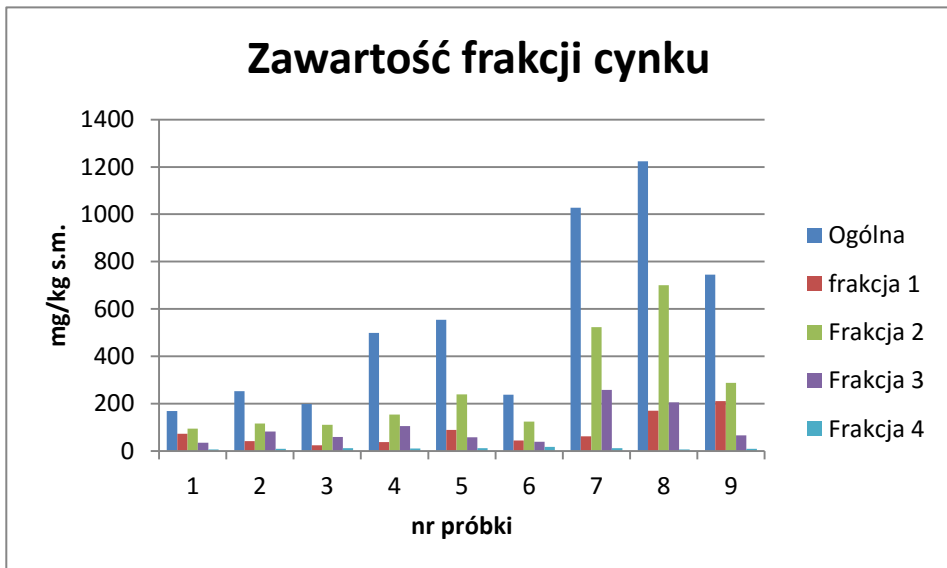
Nr próbki	Zn ogólny	Zawartość poszczególnych frakcji cynku							
		F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
	mg/kg s.m.				%				
I	169,4	72,1	94,3	35,1	7,0	42,6	55,7	20,7	4,1
II	253,2	42,1	115,4	82,0	9,5	16,6	45,6	32,4	3,8
III	198,6	24,5	110,7	59,1	12,3	12,3	55,7	29,8	6,2
IV	499,1	37,0	154,4	105,7	10,1	7,4	30,9	21,2	2,0
V	554,2	88,5	239,6	57,8	12,5	16,0	43,2	10,4	2,2
VI	238,2	44,5	123,7	38,7	17,1	18,7	51,9	16,2	7,2
VII	1027,1	61,9	523,2	258,3	12,0	6,0	50,9	25,1	1,2
VIII	1223,5	170,2	700,7	205,6	6,3	13,9	57,2	16,8	0,5
IX	745,2	210,7	287,9	66,4	9,7	28,2	38,6	8,9	1,3

Źródło: badania własne



Rys. 1. Zawartość cynku w osadach ściekowych w [%]

Fig. 1. The zinc content in sewage sludge in [%]



Rys. 2. Zawartość cynku w osadach ściekowych w [mg/kg s.m.]

Fig. 2. The zinc content in sewage sludge in [mg/kg s.m.]

W badaniach osadów ściekowych pochodzących z oczyszczalni ścieków w Sokółce wynika, że ogólna zawartość cynku w kompostach wynosi 536,3 mg/kg s.m [8]. Porównując wyniki badanych próbek osadów można stwierdzić, że tylko w przypadku trzech prób osadów komunalnych uzyskano wyższą wartość, natomiast osady mleczarskie charakteryzują się niższą zawartością tego pierwiastka, a w przypadku kompostu z wierzbą energetyczną z zastosowaniem EM jest ponad 2-krotnie niższa. Z badań Mazura i Wojtasa wynika, że ogólna zawartości cynku w osadach pochodzących z oczyszczalni ścieków w Olsztynie wynosi 2055 mg/kg s.m [9]. Wartość ta jest zdecydowanie wyższa niż całkowita zawartość cynku w badanych osadach ściekowych we wszystkich próbkach. W porównaniu z wynikami Kalembasy zawartość cynku w osadach komunalno-przemysłowych z oczyszczalni w Siedlcach wynosi 33 000 mg/kg s.m. i jest to kilkanaście razy więcej od całkowitej zawartości cynku w kompostach pochodzących z Zambrowa [10]. Tak wysoka zawartość cynku w osadach z oczyszczalni w Siedlcach wynikała z dużego udziału ścieków przemysłowych. Według Maćkowiaka średnia zawartość metali ciężkich w osadach z 8 oczyszczalni spółdzielni mleczarskich wynosi dla cynku – 448mg/kg s.m. [11]. Jest to wartość zbliżona do uzyskanych w badaniach osadów mleczarskich przetwarzanych metodami niskonakładowymi.

Zawartość ogólna cynku w badanych osadach i kompostach również jest zdecydowanie niższa od wartości podanych dla osadów z wybranych oczyszczalni ścieków w Polsce, bowiem cynk występuje w nich na poziomie kilku tysięcy [12]. Natomiast zawartość ogólna cynku w kompostach produkowanych wg technologii DANO w Katowicach w latach 1993–2001 wahała się w granicach 988–2726mg/kg s.m. [13]. Porównując z tymi wartościami można stwierdzić, że badane komposty mleczarskie odznaczają się niskimi zawartościami tego metalu w porównaniu z osadami komunalnymi.

Z badań podanych przez Rosik-Dulewską, Karwaczyńską i Głowała dotyczących kompostów pochodzących z oczyszczalni ścieków z 8 miast (Opole, Zabrze-Rokitnica, Zawiercie, Zabrze-Mikulczyce, Piotrków Trybunalski, Puławy, Kozienice, Miechowice i Dąbrowa G) wynika, iż cynk najlepiej jest związany z III i IV frakcją. Najmniej przyswajalna jest frakcja I, bowiem występuje na poziomie zaledwie kilku procent we wszystkich kompostach z 8 oczyszczalni ścieków [13].

Wyniki badań osadów w Strawczyniu wskazują na mobilność cynku związanego z I frakcją w ok. 18%, a we frakcji II tylko w ok. 5%. Za niemobilne uważa się frakcje III i IV, które odpowiednio są związane z cynkiem: ok. 17% i 62% [14]. Porównując powyższe wartości należy uznać, że cynk wykazuje zupełnie odmienny efekt mobilności metalu w badanych kompostach z osadów komunalnych i mleczarskich. Z badań przeprowadzonych przez Jakubusa w kompostach stwierdzono największy udział cynku związanego z frakcją II, a najmniejszy z frakcją IV, podobnie jak w kompostach z Zambrowa [15].

Wyniki badań dotyczące zawartości cynku związanego z frakcjami w kompostach z oczyszczalni ścieków w Tunezji przedstawione przez Walida dla poszczególnych frakcji wynoszą: frakcja I – 0,40 mg/kg, frakcja II – 4,60 mg/kg, frakcja III – 3,90 mg/kg i frakcja IV – 65,8 mg/kg. Z powyższych badań wynika znaczne związanie cynku z frakcją IV, a najmniejsze z frakcją I [16]. Zupełnie odmienne związanie cynku uzyskano w badanych osadach i kompostach.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki zawartości całkowitej niklu oraz związanej w poszczególnych frakcjach w różnych próbkach osadów i kompostów.

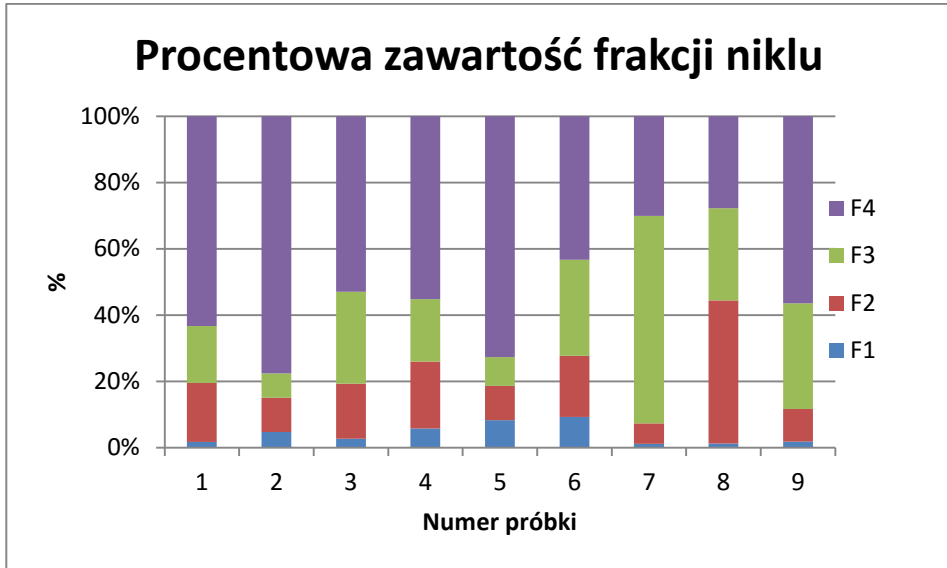
Całkowita zawartość niklu w badanych próbkach kompostów wahała się w granicach 37,5–150,3 mg/kg s.m. Najwyższą jej wartość odnotowano w próbce kompostu wyprodukowanego na bazie osadu komunalnego z wermikulturą 2 lata, a najniższą w kompostach z osadów mleczarskich z trzciną z zastosowaniem efektywnych mikroorganizmów. Analiza frakcji metali ciężkich pozwala stwierdzić, że we wszystkich próbkach osadów nikiel w największym stopniu jest związany z frakcją F4 (rys. 3 i 4). Nikiel w tych próbkach był związany na poziomie od 29,1% dla osadu komunalnego przetwarzanego na lagunie trzcinowej 3 lata do 83,8% dla osadów mleczarskich przetwarzanych przez wermikulturę. W przypadku próbek nr VII zauważa się również wysoki stopień połączenia niklu z frakcją F3 związaną z materią organiczną (60,4%). Natomiast próbka nr VIII wykazują duży stopień połączenia cynku z frakcją F2 w stosunku do połączenia z frakcją F3. We wszystkich próbkach osadów ściekowych zauważono najmniejsze połączenia niklu z I frakcją, tzw. rozpuszczalną. Najniższą zawartość niklu związanego z I frakcją stwierdzono w próbce nr VII odpowiadającej 1,1% w osadzie z laguny trzcinowej 3 lata z osadów komunalnych, natomiast największą 11,0% w wermikulturze z kompostów z osadów mleczarskich.

Tabela 2. Zawartość niklu w poszczególnych frakcjach w badanych próbkach
Table 2. The nickel content in the various fractions in the studied samples

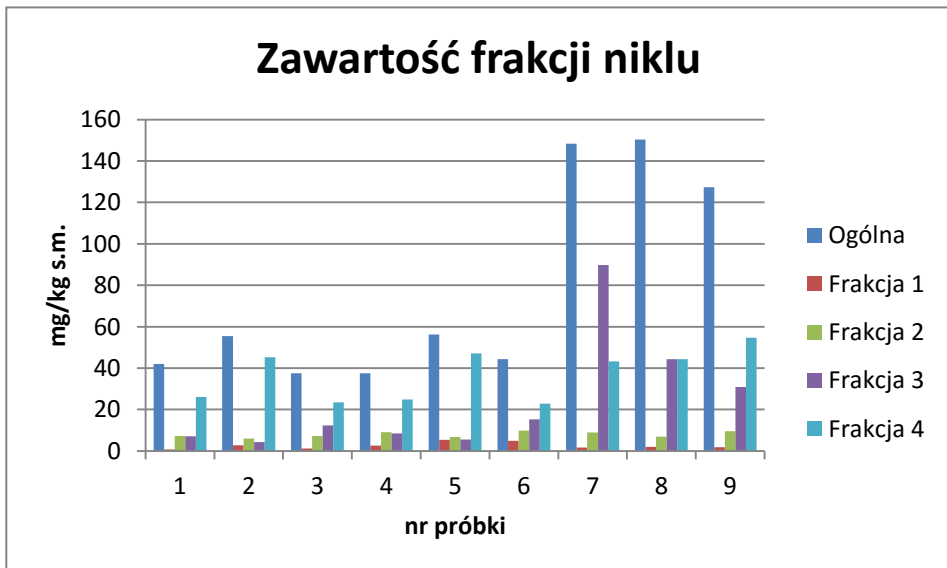
Nr próbki	Ni ogólny	Zawartość poszczególnych frakcji niklu							
		F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
	mg/kg s.m.				%				
I	42,0	0,7	7,3	7,1	26,1	1,7	17,4	16,9	62,0
II	55,4	2,8	6,0	4,3	45,2	5,0	10,8	7,8	81,6
III	37,5	1,2	7,3	12,3	23,4	3,2	19,5	32,8	62,4
IV	37,6	2,6	9,1	8,5	24,9	6,9	24,2	22,6	66,2
V	56,2	5,4	6,7	5,6	47,1	9,6	11,9	10,0	83,8
VI	44,3	4,9	9,8	15,3	22,9	11,0	22,1	34,5	51,7
VII	148,4	1,7	9,0	89,7	43,2	1,1	6,0	60,4	29,1
VIII	150,3	1,9	6,9	44,4	44,3	1,3	45,9	29,5	29,5
IX	127,3	1,8	9,5	30,9	54,7	1,4	7,5	24,3	43,0

Źródło: badania własne

Otrzymane zawartości całkowite niklu w badanych osadach i kompostach są niższe w odniesieniu wartości podanych dla osadów komunalnych pochodzących z oczyszczalni ścieków ze Szwajcarii w 1989r. [12]. Wyniki badań przedstawionych przez Kołecką dotyczących zawartości niklu w osadach z duńskich miejscowości (Rudkobing 16,77–25,08 mg/kg s.m., Naskov 18,54–24,34 mg/kg s.m., Vallo 24,32–28,57 mg/kg s.m., Helseince 18,93–27,37 mg/kg s.m.) w odniesieniu do analizowanych osadów i kompostów wykazują niższe wartości [17].



Rys. 3. Zawartość niklu w osadach ściekowych w [%]
Fig. 3. The nickel content in sewage sludge in [%]



Rys. 4. Zawartość niklu w osadach ściekowych w [mg/kg s.m.]
Fig. 4. The nickel content in sewage sludge in [mg/kg s.m.]

Z badań Mazura i Wojtasa wynika, że zawartość niklu w osadach pochodzących z oczyszczalni ścieków w Olsztynie wynosi 15,8 mg/kg s.m. Porównując zawartość całkowitą niklu w badanych kompostach należy stwierdzić, że są one znacznie wyższe, w szczególności osady komunalne z Zambrowa [9]. Wyniki Kalemby dotyczące zawartości niklu w osadach komunalno-przemysłowych z oczyszczalni w Siedlcach (35 mg/kg s.m.) oraz w osadach komunalno-przemysłowych z oczyszczalni w Sokołowie Podlaskim (44 mg/kg s.m.) dowodzą o znacznie przewyższonej zawartości tego metalu w kompostach komunalnych z Zambrowa [10]. W badaniach Maćkowiaka średnia zawartość niklu w osadach z 8 oczyszczalni spółdzielni mleczarskich wynosi 7,4 mg/kg s.m., to jest zdecydowanie mniej w porównaniu z badanymi osadami z mleczarni w Wysokim Mazowieckiem [11].

Podobne zawartości niklu uzyskano w badaniach prowadzonych w latach 1996–1998 dla osadów pochodzących z lagun osadowych z oczyszczalni ścieków w Goleniowie, średnia zawartość tego metalu wyniosła 55mg/kg s.m., co wielkością odpowiada zawartości niklu w osadach mleczarskich z Wysokiego Mazowieckiego [18]. Również zawartość formy całkowitej niklu w kompostach produkowanych wg technologii DANO w Katowicach w latach 1993–2001 (31,8–63,2 mg/kg s.m.), Głowała) była zbliżona do uzyskanych w badaniach własnych [13].

Analogiczne wyniki badań dla niklu uzyskano w osadach ściekowych z oczyszczalni w Tunezji, gdzie również metal ten jest najbardziej związany z IV frakcją [16]. Takie same proporcje wiązania niklu przez frakcje uzyskano we wszystkich badanych kompostach powstałych z osadów mleczarskich i komunalnych. Natomiast nikiel jest najlepiej związany z III frakcją (związaną z materią organiczną) w kompostach z oczyszczalni w Sokółce [8].

Wyniki badań osadów w Strawczyni wskazują na mobilność niklu związanego z I frakcją w ok. 28%, a we frakcji II w ok. 30%. Za niemobilne uważa się frakcje III i IV, które odpowiednio są związane z nikiem: ok. 1% i 42% [14]. Odmienne wyniki prezentuje w swoich badaniach Jakubus, przedstawia on większy udział niklu w połączeniu z frakcją III, niż frakcją IV w badanych kompostach [15].

5. Podsumowanie i wnioski

Badania zawartości i rozpuszczalności metali ciężkich (cynku i niklu) przeprowadzono w osadach i kompostach, powstałych z osadów komunalnych oczyszczalni ścieków w Zambrowie oraz przetwarzanych we własnych instalacji badawczych dla osadów mleczarskich, pochodzących z oczyszczalni SM Mlekovita w Wysokiem Mazowieckiem.

Z przeprowadzonych badań i obserwacji można wysunąć następujące wnioski:

- Zawartość badanych frakcji metali ciężkich w kompostach wykazywała znaczne zróżnicowanie w zależności od tego czy komposty pochodziły od osadów mleczarskich czy komunalnych.
- Komposty z osadów mleczarskich wykazują niższą zawartość niklu i cynku w odniesieniu do osadów komunalnych z Zambrowa.
- Wyniki badań frakcjonowania cynku w badanych osadach i kompostach pozwalają stwierdzić, że udział frakcji F2 tego pierwiastka jest dominujący (frakcja mobilna związana z tlenkami żelaza i manganu), natomiast najmniejszą zawartością odznacza się cynk związany z frakcją F4 (tzw. rezydualną).
- Nikiel w badanych osadach i kompostach jest najsilniej związany z frakcją F4. W znacznej ilości jest również połączony z frakcją F3 związaną z materią organiczną. W najmniejszych ilościach nikiel jest połączony z frakcją F1, która jest rozpuszczalna.
- Zawartości cynku i niklu w kompostach powstałych z osadów ściekowych komunalnych i mleczarskich nie przekraczają wartości dopuszczalnych do stosowania w rolnictwie.

Badania sfinansowano z Grantu realizowanego w Katedrze Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska Politechniki Białostockiej - Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy Nr N N523 558138

Literatura

1. **Bień J.B.:** *Osady ściekowe. Teoria i praktyka.* Wydanie drugie poprawione i uzupełnione. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.
2. **Heidrich Z. (red. nauk.):** *Kierunki przeróbki i zagospodarowania osadów ściekowych.* Wydawnictwo Seidel-Przywecki sp. z o.o., Bydgoszcz 2010.

3. **Kabata-Pendias A., Pendias H.:** *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wydawnictwo PWN, Warszawa 1993.
4. **Dąbrowska L.:** *Specjacja metali ciężkich w osadach ściekowych po wybranych procesach przeróbki osadów; Oczyszczanie ścieków i przeróbka osadów ściekowych*. Tom 1. Wydawnictwo Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2007.
5. **Boruszko D.:** *Intensyfikacja niskonakładowych metod przeróbki komunalnych osadów ściekowych*. Inżynieria Ekologiczna Nr 25, 189–201, (2011).
6. **Boruszko D.:** *Doświadczenia z zastosowania niskonakładowych metod przetwarzania osadów ściekowych*. Inżynieria i Ochrona Środowiska Tom 13 Nr 1, 29–42 (2010).
7. **Bień J.B., Chlebowska-Ojrzyńska M., Zabochnicka-Świątek M.:** *Ekstrakcja sekwencyjna w osadach ściekowych*. Vol. 5, No. 1. Instytut Inżynierii Środowiska, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2011.
8. **Ignatowicz K., Garlicka K., Breńko T.:** *Wpływ kompostowania osadów ściekowych na zawartość wybranych metali i ich frakcji*. Inżynieria Ekologiczna Nr 25, 231–240 (2011).
9. **Mazur T., Wojtas A.:** *Charakterystyka chemiczno-rolnicza osadów ściekowych miasta Olsztyna*. Zesz. Prob. Post. Nauk. Rol. 409: 9–12, (1993).
10. **Kalembasa S.:** *Osady ściekowe z oczyszczalni w Siedlcach, Sokołowie Podlaskim i Łukowie – potencjalne źródło składników pokarmowych roślin*. Zeszyt Naukowy WSRP 31; 169–179, Siedlce 1993.
11. **Maćkowiak Cz.:** *Nawozowa użyteczność osadów ściekowych w świetle badań IUNG*. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. Materiały Terenowej Konferencji Naukowo-Technicznej, Puławy-Lublin-Jeziórko: 35–40 (1996).
12. **Bernacka J., Pawłowska L.:** *Substancje potencjalnie toksyczne w osadach z komunalnych oczyszczalni ścieków*. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 2000.
13. **Rosik-Dulewska Cz., Karwaczyńska U., Głowala K.:** *Przyrodnicze wykorzystanie osadów ściekowych i kompostów z odpadów komunalnych – wartość nawozowa a zagrożenia dla środowiska*. VIII Ogólnopolska Konferencja Naukowa. Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Zabrze.
14. **Latośńska J., Gawdzik J.:** *Mobilność metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych z przykładowych oczyszczalni ścieków Polski Centralnej*. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych Nr 50, 2011.
15. **Jakubus M.:** *Zmiany specjacji i bioprzyswajalności mikroelementów podczas kompostowania osadów ściekowych z różnymi bioodpadami*. Rozprawy naukowe 405. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Poznań 2010.

16. **Walid Ben Achiba, Nouredine Gabteni, Abdelbasset Lakhdar, Gijs Du Laing, Marc Verloo, Naceur Jedidi, Tahar Gallali:** *Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil.* Agriculture, Ecosystems and Environment 130: 156–163 (2009).
17. **Kolecka K.:** *Długookresowe zmiany specjacji metali ciężkich w osadach ściekowych utylizowanych w złożach trzcinowych.* Rozprawa doktorska. Gdańsk 2007.-17
18. **Krzywy E., Wołoszyk Cz., Iżewska A.:** *Produkcja i rolnicze wykorzystanie kompostów z osadu ściekowego z dodatkiem różnych komponentów.* Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej. Oddział Szczeciński, Szczecin 2002.

Fractionation of Heavy Metals in Sewage Sludge Processed by Low-input Methods

Abstract

In Poland, more and more often to the processing of sewage sludge is used low-input methods: composting, vermicomposting, reed bed, willow energy, solar driers. Also in the north-eastern part of Poland operate for many years successfully objects using these methods.

The article presents the experience of the use of low-cost methods of sludge treatment in wastewater treatment plant located in Zambrów, Podlaskie province. The results of studies of sewage sludge on the speciation of nickel and zinc content after treatment by low-input methods.

Sludge samples were collected in June 2012. The study samples were: dairy sludge processed by 2010. to install on a technical scale and municipal sludge processed in real scale in wastewater treatment plants in Zambrów. The total zinc content in samples of sediment and composts ranged 169,4–1223,5 mg / kg DM The highest value was recorded in the sample of municipal sludge processed by earthworm fields for a period of 2 years, and the lowest in sediments dairy willow using Effective Micro-organisms. Analysis of the individual fractions of zinc leads to the conclusion that all zinc sediment is mostly associated with the fraction F2, which is associated with oxides of Fe and Mn.

The total nickel content of compost samples tested ranged 37,5–150,3 mg/kg DM The highest value was recorded in the sample of compost produced on the basis of municipal sludge processed by earthworm fields for a period of 2 years, and the lowest in composts from sewage dairy reed using Effective Microorganisms. Analysis of the fractions of heavy metals to the conclusion that all sediment nickel is mostly associated with the fraction F4.