



Mobilność wybranych metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych

*Ewelina Wikarek-Paluch, Czesława Rosik-Dulewska,
Urszula Karwaczyńska
Uniwersytet Opolski*

1. Wstęp

Komunalne osady ściekowe obfitują w azot (w postaci związków łatwo przyswajalnych), fosfor i magnez oraz inne makro- i mikropierwiastki niezbędne dla prawidłowego wzrostu roślin i fauny glebowej, dlatego zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju większość składników w nich zawartych powinno być ponownie zwracane do gleby m.in. poprzez przyrodnicze wykorzystanie w rolnictwie, do rekultywacji terenów oraz w dostosowywaniu gruntów do różnych potrzeb (Czechowska-Kosacka i in. 2015, Rosik-Dulewska 2015).

Największą barierą związaną z wykorzystaniem osadów do celów przyrodniczych jest podwyższona zawartość metali ciężkich. Śladowe ilości metali są niezbędne dla prawidłowego wzrostu roślin, jednak nadmierne ich ilości (w zależności od stężenia w jakim występują, ich stopnia utlenienia oraz łatwości z jaką tworzą kompleksy) mogą stanowić czynnik silnie toksyczny i stać się zagrożeniem dla wszystkich organizmów (Brümmer i in. 1986, Carlson, Morrison 1992).

Zbyt duże zawartości metali ciężkich w osadach wykorzystywanych przyrodniczo mogą obniżać żyzność gleb oraz plonowanie roślin. Dlatego w momencie podjęcia decyzji o ich zagospodarowaniu należy dobrać dawkę, tak aby spełniała kryteria ich rolniczego wykorzystania, zgodnie z aktualnie obowiązującym rozporządzeniem (Rosik-Dulewska 2015).

Nie zawsze oznaczona całkowita zawartość metali ciężkich w całości uwalniana jest do środowiska. Określenie formy fizykoche-

micznej substancji zanieczyszczającej, jej biomagnifikacji oraz toksyczności jest możliwe dzięki zastosowaniu metod specjacyjnych. Analiza specjacyjna pozwala na uzyskanie informacji o wpływie danego pierwiastka na poszczególne elementy środowiska przyrodniczego (Atanassova i in. 2005, Bielicka i in. 2007, Dąbrowska, Papis 2006).

Dla ochrony środowiska określenie form, w jakich występują metale ciężkie, jest znacznie bardziej istotne niż oznaczenie ich zawartość całkowitej, która nie pozwala wnioskować o szybkości uwalniania się ich do ekosystemu. Formy w jakich metale występują w glebie w znacznym stopniu decydują o ich przyswajalności przez rośliny (Carlson, Morrison 1992, Jakubus, Czekala 2001).

W celu określenia mobilności podstawowych metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych wykonano ich badania jakościowe.

2. Metodyka badań

W badaniach zastosowano jedną z rzadziej stosowanych metodyk sekwencyjnej ekstrakcji chemicznej, a mianowicie metodę Brümmera. Stosując sekwencyjną ekstrakcję chemiczną wg metody Brümmera oznaczono niżej wymienione formy metali ciężkich (kadm, chrom, miedź, cynk, mangan, nikiel, ołów) w siedmiu frakcjach: I – wymiennej (łatwo rozpuszczalne sole metali), II – specyficznie zaadsorbowanej (metale wymienne), III – tlenkowej Mn (metale związane z tlenkami manganu), IV – organicznej (metale związane z materią organiczną), V – tlenkowej Fe (metale związane z amorficznymi tlenkami żelaza), VI – tlenkowej Fe (metale związane z krystalicznymi tlenkami żelaza), VII – pozostałość (metale związane z siecią krystaliczną) oraz obliczono zawartość całkowitą jako sumę ładunków frakcji I-VII.

W analizie sekwencyjnej ekstrakcji chemicznej metodą Brümmera 7-krotnie ekstrahowano pierwiastki z próbek osadu ściekowego w ściśle ustalonych warunkach za pomocą roztworów o wzrastającej sile ługowania.

Oznaczenie metali wykonano w trzech powtórzeniach. Dla lepszego zobrazowania uzyskanych wyników wyznaczono odchylenie standardowe. Dodatkowo w celu oceny możliwości przyrodniczego wykorzystania analizowanego osadu obliczono zawartość całkowitą metali jako sumę ładunków frakcji I-VII oraz oznaczono ich zawartość całkowitą.

tą po to aby odnieść się do dopuszczalnych zawartości określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych Dz.U. z 2015 r., poz. 257.

3. Omówienie wyników badań

Przeprowadzenie siedmio-stopniowej sekwencyjnej ekstrakcji chemicznej wg metody Brümmera pozwoliło na uzyskanie informacji o połączeniach, w jakich występują oznaczane metale w badanych komunalnych osadach ściekowych z MOŚ w Oławie (Barańkiewicz, Bulska 2009, Jeske, Gworek 2011, Rosik-Dulewska 2003).

Najwyższy udział procentowy (rys. 1):

kadmu (30,29%) oznaczono we frakcji VI, nieco niższy we frakcji III (20,87%), VII (19,22%), IV (17,57%), a najniższy we frakcji V (4,85%), II (3,98%) oraz I (3,20%);

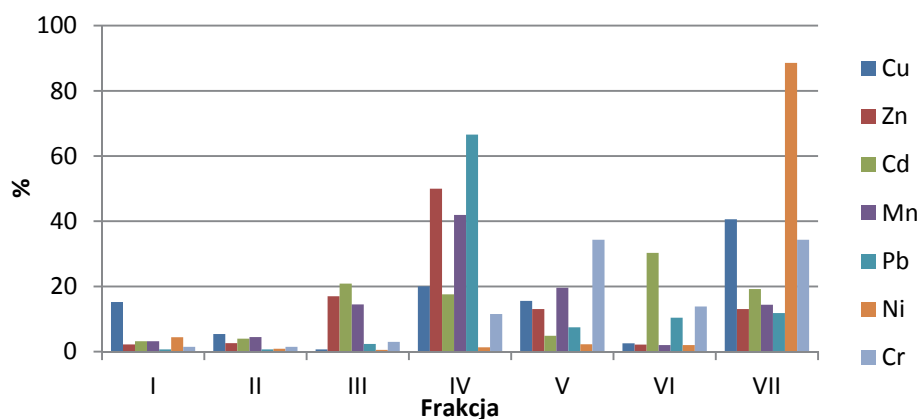
chromu oznaczono we frakcji V i VII (po 34,33%). Ponad dwukrotnie mniej jest go we frakcji VI (13,86%) i prawie trzykrotnie mniej we frakcji IV (11,54%). Najniższe ilości chromu oznaczono we frakcji III (2,98%) oraz we frakcjach I i II (po 1,48%);

miedzi oznaczono we frakcji VII (40,60%), stanowiącej w metodzie Brümmera tzw. pozostałość. Dwukrotnie mniejszą jej ilość (w stosunku do frakcji VII) oznaczono we frakcji IV (20,01%) a ponad dwu i półkrotnie mniejszą we frakcji V (15,57%) oraz we frakcji I (15,2%). Najmniejsze ilości oznaczono (w sekwencji malejącej) we frakcjach II, VI i III (5,38%, 2,55% i 0,67%);

cynku oznaczono we frakcji IV (49,97%), prawie trzykrotnie mniej (w stosunku do frakcji IV) oznaczono go we frakcji III (16,99%), a prawie czterokrotnie mniej we frakcji V i VII (po 13,04%). Znacznie mniejszą jego ilość oznaczono ((w sekwencji malejącej) we frakcjach II, I i VI (2,58%, 2,21% i 2,17%);

manganu oznaczono we frakcji IV (41,91%). Ponad dwukrotnie mniejszą jego ilość (w stosunku do frakcji IV) oznaczono we frakcji V (19,57%). Znacznie mniejszą ilość manganu oznaczono we frakcji III (14,48%) oraz we frakcji VII (14,37%) a najmniejsze jego ilości oznaczono (w sekwencji malejącej) we frakcjach II, I i VI (4,49%, 3,17% i 2,01%);

niklu oznaczono we frakcji VII (88,58%). Dwudziestokrotnie mniejszą jego ilość (w stosunku do frakcji VII) oznaczono we frakcji I (4,42%) a prawie czterdziestokrotnie mniejszą we frakcji V (2,28%) oraz we frakcji VI (2,01%). Najmniejsze ilości niklu oznaczono (w sekwencji malejącej) we frakcjach IV, II i III (1,32%, 0,88% i 0,53%); ołowiu oznaczono we frakcji IV (66,58%). Ponad pięciokrotnie mniej (w stosunku do frakcji IV) oznaczono go we frakcji VII (11,82%) oraz ponad sześciokrotnie mniej we frakcji VI (10,42%). Natomiast najmniejsze ilości ołowiu oznaczono (w sekwencji malejącej) we frakcjach V, III i II (7,45%, 2,34% i 0,70%).



Rys. 1. Zawartość procentowa metali we frakcjach I-VII w komunalnym osadzie ściekowym MOŚ w Oławie (sekwencyjna ekstrakcja chemiczna wg Brümmera)

Fig. 1. The percentage of heavy metals in the fraction I-VII of the municipal sewage sludge from the municipal sewage treatment plant in Oława (sequential chemical extraction according to Brümmer's method)

4. Dyskusja

Analizowane komunalne osady ściekowe pochodzą z mechaniczno-biologicznej Oczyszczalni Ścieków Komunalnych w Oławie, podobnie jak użyte do porównania osady z Wielkopolski (Jakubus, Czeakała 2001). Całkowitą zawartość poszczególnych metali ciężkich, w analizowanym osadzie ściekowym, przedstawiono jako sumę ładunków frakcji I-VII, która nie przekroczyła aktualnie obowiązujących wartości dopusz-

czalnych określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych Dz.U. z 2015 r., poz. 257.

W celu porównania udziału metali w poszczególnych połączeniach/frakcjach (od I do VII) w badanym osadzie ściekowym wykorzystano wyniki badań przeprowadzonych tą samą metodą, opublikowane przez Jakubusa oraz Czekalę (Jakubus, Czekala 2001, „*Heavy Metal Speciation in Sewage Sludge*”).

Porównując udział procentowy **miedzi** we frakcjach I do VII w osadzie z Oławy z osadami z ośmiu innych oczyszczalni przebadanych przez Jakubusa i Czekalę (Jakubus, Czekala 2001) stwierdza się, że jest on najwyższy (we wszystkich osadach) we frakcji VII – połączenia rezydualne (max osad nr 4 – 90,4%) .

Udział procentowy miedzi we frakcjach łatwodostępnych dla ekosystemu, największy jest w osadzie z Oławy (frakcja I – łatworozpuszczalna – 15,21%, frakcja II – wymienna – 5,37%) i odbiega znacząco od udziału tego pierwiastka w pozostałych ośmiu osadach.

We frakcji III (połączenia metali związanych z tlenkami manganu) podobnie jak we frakcji VI (metale związane z krystalicznymi tlenkami żelaza) najwyższy udział procentowy wykazuje osad nr 1 (kolejno: 2,6% i 4,9%) przebadany przez Jakubusa i Czekalę (Jakubus, Czekala 2001), natomiast w osadzie z Oławy udział ten jest znacznie niższy (kolejno: frakcja III – 0,67%, frakcja VI – 2,55%).

We frakcji IV – połączenia z substancją organiczną oraz we frakcji V – metali związanych z amorficznymi tlenkami żelaza, najwyższy udział procentowy miedzi zaobserwowano w osadzie nr 3 (kolejno: 34% i 25%), natomiast w badanym z Oławy wynosił kolejno: frakcja IV – 20% oraz frakcja V – 15,57% Cu.

Reasumując udział procentowy miedzi w Osadzie z Oławy, w porównaniu do zawartości tego metalu w ośmiu osadach badanych tą samą metodą przez Jakubusa i Czekalę (Jakubus, Czekala 2001), jest znacznie wyższy we frakcji I oraz we frakcji II. W pozostałych frakcjach od III do VII zawartość miedzi jest porównywalna.

Udział procentowy **kadm** w większości badanych osadów (nr 1 – 29,3%, nr 4 – 54%, nr 6 – 26,7%, nr 7 – 36,6% i nr 8 – 23,2%) był najwyższy we frakcji VII- rezydualnej, a więc praktycznie niedostępnej dla ekosystemu. W pozostałych próbkach najwyższy udział kadmu wska-

zywał na zróżnicowane jego połączenia, i tak: w osadzie z Oławy była to frakcja VI (metali związanych z krystalicznymi tlenkami żelaza – 30,39%), w osadach nr 3 i 5 frakcja IV – organiczna (osad nr 3 – 23,4% oraz osad nr 5 – 20,7%). Jedynie w osadzie nr 2 najwyższy udział kadmu przypada na frakcję III (metali związanych z tlenkami manganu – 20%).

Z analizy udziału kadmu w poszczególnych frakcjach wynika, że w osadzie z Oławy, w porównaniu do ośmiu osadów przebadanych przez Jakubusa i Czekalę (Jakubus, Czekala 2001), odnotowujemy jego większy udział we frakcjach łatwo dostępnymi dla ekosystemu, tj. frakcji I – łatwo rozpuszczalnej – 3,2%, frakcji II – wymiennej – 3,98% oraz frakcji V (metali związanych z amorficznymi tlenkami żelaza – 4,85%). We frakcji III (metali związanych z tlenkami manganu) udział metalu w osadzie z Oławy (20,87%) jest porównywalny do udziału w osadach: nr 2, 3, 6 i 8 (kolejno: 2 – 20%, 3 – 15,2%, 6 – 14,2% i 8 – 14,4%) i znacznie wyższy niż w osadach: nr 1, 4, 5 i 7 (kolejno: osad 1 – 8,5%, 4 – 3,3%, 5 – 11,9% oraz 7 – 6,9%). Z kolei ilość kadmu oznaczona we frakcji IV – organicznej (osad Oława – 17,57%) jest porównywalny do czterech osadów badanych przez Jakubusa i Czekalę (Jakubus, Czekala 2001) (osady: nr 2 – 17,3%, nr 5 – 20,7%, nr 7 – 19%, nr 8 – 19,5%). Natomiast ilości kadmu oznaczone we frakcji VI – (metali związanych z krystalicznymi tlenkami żelaza) w osadzie z Oławy były najwyższe (30,29%) i znacznie odbiegały od zawartości w pozostałych dyskutowanych osadach (Jakubus, Czekala 2001), gdzie wynosiły kolejno: nr 1 – 10,5%, nr 2 – 8%, nr 3 – 9%, nr 4 – 2,7%, nr 5 – 14,6%, nr 6 – 10,8%, nr 7 – 16,5% oraz nr 8 – 14,9%. We frakcji VII- rezydualnej zawartość kadmu w badanym osadzie (19,22%) jest porównywalna do jego udziału procentowego w osadzie nr 2, 3 i 5 (kolejno: nr 2 – 13,4%, nr 3 – 22,2% oraz nr 5 – 19,1%), nieznacznie niższa od udziału w osadzie nr 1 i 6 (kolejno: osad nr 1 – 29,3% oraz osad nr 6 – 26,7%) i znacznie niższa niż w osadzie nr 4 – 54% Cd oraz nr 7 – 36,6% Cd.

Reasumując w większości badanych osadów kadm występuje w połączeniach uznanych za mobilne (frakcje od I do III). W osadzie nr 1 (Jakubus, Czekala 2001) we frakcji I – 20,2% oraz we frakcji II – 14,7% (frakcje łatwo dostępne dla ekosystemu) stwierdzono znacznie większy udział kadmu niż we frakcjach trudno dostępnych od IV do VI (kolejno: we frakcji IV – 10,5%, frakcji V – 6,3% oraz we frakcji VI – 10,5%). Podobnie w osadzie nr 2 najwyższy procentowy udział kadmu oznaczono

we frakcjach łatwo dostępnych (frakcja I – 16%, frakcja II – 16% oraz frakcja III – 20%). Z kolei w osadzie nr 3 i 6 procentowy udział kadmu we frakcji III (kolejno: osad nr 3 – 15,2% oraz osad nr 6 – 14,2%) był nieco wyższy od udziału tego pierwiastka we frakcji IV (osad nr 3 – 23,4% oraz osad nr 6 – 23,6%) i jednocześnie w przypadku osadu nr 3 wyższy od jego udziału we frakcji V (12,6%) a w przypadku osadu nr 6 we frakcji VI – 10,8%. Również w osadzie nr 4 procentowy udział kadmu we frakcji II – 9,1% (łatwo dostępnej) jest nieco wyższy od jego udziału we frakcji VI – 2,7% (trudno dostępnej), a udział tego samego metalu w osadzie nr 8 we frakcji III – 14,4% był nieco wyższy od jego udziału we frakcji V – 14%. Podobnie w osadzie z Oławy procentowy udział kadmu we frakcji III (metali związanych z tlenkami manganu – 20,87%) jest wyższy od udziału tego pierwiastka we frakcji IV (17,57%), frakcji V (4,85%) oraz we frakcji VII (19,22%). Jedynie w osadzie nr 5 i 7 najwyższy procentowy udział kadmu oznaczono we frakcjach od IV do VII, a więc trudno dostępnych dla ekosystemu.

Najwyższy procentowy udział **cynku** w osadzie z Oławy (49,97%) oraz w czterech spośród ośmiu osadów z Wielkopolski przebadanych przez Jakubusa i Czekałę (Jakubus, Czekała 2001) (osad nr 1 – 43,9%, nr 3 – 46,2%, nr 6 – 43,4% i nr 8 – 35%) odnotowano w połączeniach organicznych (frakcja IV), natomiast w pozostałych czterech osadach w niedostępnej dla środowiska frakcji VII – rezydualnej (osad nr 2 – 38,2%, nr 4 – 65,2%, nr 5 – 44,3% oraz nr 7 – 52,9%).

Analizując udział cynku w poszczególnych powiązaniach/frakcjach (od I do VII) stwierdza się, że zawartość uzyskana we frakcji I (2,22%) w osadzie z Oławy jest porównywalna do ilości w osadzie nr 5 (2,3%), natomiast znacznie wyższa niż w pozostałych (osad nr 1 – 0,4%, nr 2 – 0,9%, nr 3 – 1,2%, nr 4 – 0,2%, nr 6 – 1,3%, nr 7 – 0,7% oraz nr 8 – 1%). We frakcji II – wymiennej udział cynku w osadzie z Oławy (2,58%) jest niewielki i nie odbiega znacząco od udziału w osadzie nr 1 (2,2%), nr 4 (1%), nr 5 (3,3%), ale znacznie niższy niż w osadzie nr 3 i 8 (kolejno – 13,3%, 25,3%).

We frakcji III udział cynku w osadzie z Oławy (16,98%) jest najwyższy i porównywalny do ilości w osadzie nr 2, 3 i 6 (kolejno: 16%, 13,8% , 12,2%), natomiast we frakcji IV także najwyższy (49,97%) ale porównywalny do wartości oznaczonych w osadach nr 1, 3, 6 i 8 (kolejno osad nr 1 – 43,9%, nr 3 – 46,2%, nr 6 – 43,4% i nr 8 – 35%).

We frakcji V (metali związanych z amorficznymi tlenkami żelaza) udział cynku w osadzie z Oławy (13,01%) plasuje się wśród wartości średnich jakie uzyskano w porównywanych osadach (Jakubus, Czekąła 2001) (min 5,4% – osad nr 8, max 20,8% – osad nr 2), natomiast we frakcji VI (metali związanych z krystalicznymi tlenkami żelaza) udział cynku w osadzie z Oławy (2,17%) jest najniższy, w porównaniu do wszystkich ww. osadów. We frakcji rezydualnej w osadzie z Oławy (13,01%) udział cynku jest niewielki w porównaniu do osadów z Wielkopolski (nieco wyższy niż w osadzie nr 1 i 3 (kolejno: 12,1% i 6,8%) i jednocześnie znacznie niższy niż w pozostałych w osadzie nr 2, 4, 5 i 7 (kolejno: 38,2%, 65,2%, 44,3% i 52,9%).

Reasumując biorąc pod uwagę najwyższy udział procentowy cynku o oznaczanych połączeniach można stwierdzić, że w trzech (osad nr 1, 4 i 5) z ośmiu badanych przez Jakubusa i Czekąłę (Jakubus, Czekąła 2001) osadach najwyższą kumulację cynku (kolejno) oznaczono we frakcjach trudnodostępnych dla ekosystemu (frakcje od IV do VII). W osadzie z Oczyszczalni Ścieków Komunalnych w Oławie procentowy udział cynku we frakcji III – łatwo dostępnej dla ekosystemu, podobnie jak w osadzie nr 6 i 7 (kolejno 16,98%, 12,2%, 9,6% Zn) był wyższy od jego udziału w niektórych frakcjach trudnodostępnych. Powyższa analiza pozwala stwierdzić większy udział form nie mobilnych cynku w badanych osadach ściekowych.

Analizując udział **chromu** w poszczególnych frakcjach w porównywanych osadach ściekowych można stwierdzić, że we frakcji I – łatwo rozpuszczalnej (min 0,1% osad nr 5, max 6,2% osad nr 1) udział tego metalu w osadach polskich był niewielki (1,48%).

We frakcji II (wymiennej – max 12,7% – osad nr 4) podobnie jak we frakcji III (metali związanych z tlenkami manganu – max 27,8% – osad nr 4) udział procentowy chromu w osadzie z Oławy (kolejno: 1,48% i 2,98%) był także niewielki. Generalnie udział chromu w powiązaniach oznaczanych w trzech pierwszych frakcjach, łatwo dostępnych dla ekosystemu, jest stosunkowo niski.

We frakcji IV (organicznej) oznaczono najwyższy udział chromu w osadzie z Oławy (11,54%), w porównaniu do pozostałych omawianych osadów z Wielkopolski (Jakubus, Czekąła 2001) (osad nr 1 – 3,8%, nr 2 – 5,9%, nr 3 – 3,1%, nr 4 – 7,5%, nr 5 – 2,6%, nr 6 – 3,1%, nr 7 – 6,9% oraz nr 8 – 8,4%). We frakcji V (metali związanych z amorficznymi

tlenkami żelaza) najwyższy udział chromu oznaczono w osadzie nr 3 (48,5%, w osadzie z Oławy 34,33%). W połączeniach związanych z krystalicznymi tlenkami żelaza (we frakcji VI) najwięcej chromu oznaczono w osadzie nr 6 (38,1% , 13,86%).

Biorąc pod uwagę najwyższy procentowy udział chromu we frakcjach od I do VII stwierdza się, że w osadzie z Oławy oraz w pięciu z ośmiu porównywanych osadów (osad nr 2, 5, 6, 7 i 8) najwyższy jego udział oznaczono we frakcjach od IV do VII, a więc frakcjach trudno dostępnych dla środowiska. W pozostałych osadach, tj. nr 1, 3 i 4 udział chromu we frakcjach łatwo dostępnych był nieznacznie wyższy niż we frakcjach trudnodostępnych dla ekosystemu. Porównując udział procentowy **niklu** w osadzie z Oławy z ośmioma osadami ściekowymi (Jakubus, Czeakała 2001) stwierdza się, że w połączeniach oznaczanych jako frakcja VII – rezydualna, najwięcej oznaczono go w osadzie z Oławy (88,58%).

We frakcji I (łatwo rozpuszczalnej) najwyższy udział niklu oznaczono w osadzie nr 2 – 25,1%, udział ten jest najwyższy w porównaniu do ilości oznaczonych w pozostałych ośmiu osadach badanych przez Jakubusa i Czeakałę (Jakubus, Czeakała 2001) oraz w osadzie z Oławy (4,42%). We frakcji II (wymiennej) podobnie jak we frakcji IV (organicznej) najwyższy jest udział niklu oznaczono w osadzie nr 6 (frakcja II – 22,6% Ni oraz frakcja IV – 22,7% Ni).

Obie wartości są znacznie wyższe od udziału w pozostałych osadach (w tym w osadzie z Oławy – odpowiednio 0,87% i 1,31%) i stanowią najwyższe wartości spośród wszystkich siedmiu frakcji.

We frakcji III (metali związanych z tlenkami manganu) najwyższy udział niklu stwierdzono w osadzie nr 4 (14,9%). Jest on bardzo wysoki w porównaniu do udziału tego metalu w osadzie z Oławy (0,52%), natomiast we frakcji V (metali związanych z amorficznymi tlenkami żelaza) najwyższą jego kumulację odnotowano w osadzie nr 3 (25,1%) i jest ona bardzo wysoka w porównaniu do osadu z Oławy (2,27%).

We frakcji VI (metali związanych z krystalicznymi tlenkami żelaza) najwyższą koncentrację niklu występuje w osadzie nr 1 (14,7%), natomiast najniższa w osadzie z Oławy .

5. Wnioski

Przeprowadzone badania własne pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Metale ciężkie w komunalnych osadach ściekowych występują w formach charakteryzujących się różną mobilnością, a co za tym idzie odmiennym oddziaływaniem na ekosystem. Wiedzę taką osiąga się dzięki zastosowaniu sekwencyjnej ekstrakcji chemicznej.
2. Suma ładunków frakcji I-VII Zn, Cd, Ni, Pb, Cr i Cu w badanym osadzie ściekowym, oznaczona metodyką sekwencyjnej ekstrakcji chemicznej wg Brümmera, jest niższa od ich zawartości całkowitej określonej w Rozporządzeniu Ministra Środowiska stanowiąc tym samym, że może on być wykorzystywany w rolnictwie, do rekultywacji gruntów na cele rolne i nierolne, do dostosowania gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu, do produkcji roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia oraz do produkcji pasz.
3. Szczegółowa interpretacja wyników badań komunalnych osadów ściekowych z MOŚ w Oławie pozwala wskazać, że w jednym z najbardziej mobilnych połączeń (frakcja I) najwięcej oznaczono miedzi. Pozostałe metale w połączeniach uznawanych za najbardziej mobilne (frakcja I-III) oznaczano w ilościach śladowych, co stanowi o mniejszym zagrożeniu dla środowiska.
4. Najwyższy procentowy udział metali w ww. osadach (wśród siedmiu frakcji) oznaczono we frakcjach od IV do VII (tj. w powiązaniach trudno dostępnych dla ekosystemu). Warto przy tym zaznaczyć, że trzy spośród siedmiu oznaczanych metali w największych ilościach jest połączonych z substancją organiczną (frakcją IV), tj.: Zn – 49,97%, Pb – 66,58%, Mn – 41,91%; trzy z frakcją VII – krzemianową, tj.: Cu – 40,60%, Ni- 88,58%, Cr – 34,33%; a tylko kadm (30,29%) z frakcją VI – tj. metale związane z krystalicznymi tlenkami żelaza.
5. Z porównania wyników badań własnych do literaturowych wynika, iż w połączeniach łatwo dostępnych dla ekosystemu (frakcje I-III) w osadach oznaczano Cd, Ni, Zn i Cr (max udział procentowy od 12,7-

27,8), natomiast w pozostałych ale trudniej dostępnych (frakcje IV-VII) w udziale 16-20% Cu, Cd, Cr i Ni; 20-36% Cd, Cr i Ni, a > 36% Cu, Cd, Zn i Ni. W połączeniach z substancją organiczną (frakcja IV) udział w zakresie 11-49% wykazywały Cu, Cd, Zn, Cr i Ni.

6. Przepisy regulujące możliwości dalszego zagospodarowania osadów ściekowych powinny uwzględniać formy występowania metali. Pozwoliłoby to na dużo większe bezpieczeństwo dla środowiska.

Literatura

- Atanassova, I., Marinova, S., Teoharov, M., Filcheva, E. (2005). Present status of past sewage sludge treated soils. Impacts on Cd and Pb mobility. In: *Proc. "Management, Use and Protection of Soil Resources" National Conf. with Inter. Particip. 15-19 May, Sofia*, 409-414.
- Barałkiewicz, D., Bulska, E. (2009). *Specjacja chemiczna problemy i możliwości*. Warszawa: Wyd. MALAMUT.
- Brümmer, G.W., Gerth, J., Hermus, U. (1986). Heavy metal species, mobility and availability in soils. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.*, 149, 382.
- Bielicka, A., Bojanowska, I., Świerk, K. (2007). Ekstrakcja sekwencyjna w ocenie mobilności metali ciężkich w układzie gleba/przemysłowy osad ściekowy. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 31, 74-78.
- Carlson, C.E.A., Morrison, G. M. (1992). Fractionation and toxicity of metals in sewage sludge. *Environmental Technology*, 13, 1.
- Czechowska-Kosacka, A., Cao, Y., Pawłowski, A. (2015). Criteria for Sustainable Disposal of Sewage Sludge. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)*, 17, 337-350.
- Dąbrowska, L., Papis, D. (2006). Specjacja metali ciężkich w kondycjonowanych osadach ściekowych stabilizowanych w procesie fermentacji metabolicznej. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 9(4), 365-377.
- Jakubus, M., Czekala, J. (2001). Heavy metals speciation in sewage sludge. *Polish Journal of Environmental Studies*, 10(4), 245-250.
- Jeske, A., Gworek, B. (2011). Methods used to assess bioavailability and mobility of heavy metals in soils. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 49, 209-218.
- Rosik-Dulewska, Cz. (2015). *Podstawy gospodarki odpadami*. Warszawa: Wyd. Naukowe PWN.
- Rosik-Dulewska, Cz. (2003). Analiza jakościowa metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych jako element oceny zagrożeń środowiska. W: *Obwałowania cieków wodnych i poboczy szlaków komunikacyjnych. Problemy przyrodniczo-techniczne*, 71-82.

Mobility of Selected Heavy Metals in Municipal Sewage Sludge

Abstract

The research was aimed at determining the interaction of municipal sewage sludge with the environment in the aspect of its potential for land applications in agriculture, land reclamation and land adaptation to different uses. Sequential extraction of heavy metals according to Brümmer's method was used in the study. A detailed interpretation of the data allowed to state that the highest content of copper was found in one of the most mobile bindings (fraction I). For other heavy metals only trace amounts were found in the bindings considered as the most mobile (fraction I-III) which proved less risk posed to the environment. The highest percentage share of heavy metals in the investigated sludge was determined in fractions IV to VII (i.e. in bindings rather unavailable to the ecosystem). It should be highlighted that three out of the seven determined metals were bound in the highest amounts with the organic matter (fraction IV): i.e. Zn 49.97%, Pb 66.58% , Mn 41.91%.; three with silicates (fraction VII): i.e.: Cu 40.60%, Ni 88.58%, Cr 34.33%; and only cadmium was found to be bound (30.29%) with crystalline iron oxides (fraction VI).

Słowa kluczowe:

metale ciężkie, komunalne osady ściekowe, sekwencyjna ekstrakcja chemiczna

Keywords:

heavy metals, municipal sewage sludge, sequential chemical extraction