



Ability of using stabilized and dehydrated sewage sludge from municipal sewage treatment plant in Recz for environmental purposes

Elżbieta DUSZA¹, Edyta SARAN², Aleksandra Monika KUPKA³

¹ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. J. Słowackiego 17, 71-434 Szczecin, tel.: 91 449 6353, e-mail: elzbieta.dusza@zut.edu.pl

² Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. J. Słowackiego 17, 71-434 Szczecin, tel.: 512379391, e-mail: edyta.saran@zut.edu.pl

³ autor zewnętrzny

Abstract

Sewage sludge from the wastewater treatment process, depending on the composition, may be considered as a waste for storage or a product for environmental purposes. Fertilizers characterized by high fertilizer value can be used for fertilization or for recultivation of degraded land. However, before introducing the sludge into the soil, its characteristics should be known, especially in terms of harmful substances such as pathogenic bacteria and viruses, parasite eggs and heavy metals. The aim of this work was to evaluate the possibility of using stabilized and dehydrated sewage sludge from the Urban Waste Water Treatment Plant in Recz. The concentration of heavy metals in them (mercury, cadmium, nickel, lead, chromium, copper, zinc) was the main criterion for the use of sludge. The possibility of using them in relation to the existing legal norms contained in the Ordinance of the Minister of the Environment of 6 February 2015 on municipal sewage sludge, which contains acceptable levels of heavy metals in sewage sludge depending on how they might be used.

Keywords: sewage plant, sewage sludge, reclamation

Streszczenie

Możliwość wykorzystania ustabilizowanych i odwodnionych osadów ściekowych z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Reczu na cele przyrodnicze

Osady ściekowe pochodzące z procesu oczyszczania ścieków, w zależności od składu, stanowią odpad do składowania lub produkt do wykorzystania przyrodniczego. Osady charakteryzujące się wysoką wartością nawozową mogą być wykorzystywane do nawożenia lub do rekultywacji terenów zdegradowanych. Jednak przed wprowadzeniem osadu do gleby należy poznać jego charakterystykę, zwłaszcza pod kątem zawartości substancji szkodliwych takich jak: chorobotwórcze bakterie i wirusy, jaja pasożytów oraz zawartość w nich metali ciężkich. Celem niniejszej pracy była ocena możliwości wykorzystania ustabilizowanych i odwodnionych osadów ściekowych pochodzących z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Reczu na cele przyrodnicze. Jako główne kryterium zezwalające na wykorzystanie osadów ściekowych przyjęto stopień koncentracji w nich metali ciężkich (rtęć, kadm, nikiel, ołów, chrom, miedź, cynk). Oceniono także możliwości ich wykorzystania w odniesieniu do obowiązujących norm prawnych zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 roku w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. 2015 poz. 257), zawierającym dopuszczalne poziomy stężenie metali ciężkich w osadach ściekowych w zależności od sposobu ich wykorzystania.

Słowa kluczowe: oczyszczalnia ścieków, osady ściekowe, rekultywacja

1. Wstęp

Zgodnie z Ustawą z dnia 14 grudnia 2012 roku o odpadach przez komunalne osady ściekowe rozumie się pochodzący z oczyszczalni ścieków osad z komór fermentacyjnych oraz innych instalacji służących do oczyszczania ścieków komunalnych oraz innych ścieków o składzie zbliżonym do ścieków komunalnych [1]. Osad ściekowy stanowi układ dyspersyjny, w którym fazą rozpraszającą jest woda z rozpuszczonymi w niej związkami, a rozproszoną cząstką stałą osadu [2]. Zawartość wody w osadzie jest jednym z głównych parametrów decydujących o jego właściwościach. Wodą osadową nazywa się ciecz osadową, składającą się z wody wolnej, wody związanej w koloidach, wody kapilarnej oraz wody związanej biologicznie [2].

Obowiązującym aktem prawnym, który reguluje gospodarkę osadami ściekowymi jest Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach [1]. Zgodnie z nią, komunalne osady ściekowe mogą być stosowane:

- w rolnictwie, rozumianym jako uprawa wszystkich płodów rolnych wprowadzanych do obrotu handlowego, wraz z uprawami przeznaczonymi do produkcji pasz.
- do rekultywacji terenów, w tym gruntów na cele rolne,
- w celu dostosowania gruntów do określonych potrzeb, które wynikają z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu,
- do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu; do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i do produkcji pasz.

Komunalne osady ściekowe można wykorzystywać na cele przyrodnicze wyłącznie wtedy, gdy są ustabilizowane i poddane odpowiedniej obróbce, która obniża podatność osadu ściekowego na zagniwanie i eliminuje zagrożenie dla środowiska oraz zdrowia ludzi [1]. Zagęszczenie osadu ściekowego polega na zmniejszeniu jego objętości oraz ma na celu poprawę efektów pracy następných urządzeń. Rozumie się przez to zmniejszenie w osadzie ilości wody z ok. 99% do 94%. Dzięki usunięciu głównej części wody wolnej, zwiększa się zawartość suchej masy z 1% do 6% [3]. Natomiast stabilizacja osadu ściekowego polega na pozbawieniu osadu tendencji do zagniwania, hamuje emisję odorów w wyniku rozkładu substancji organicznych oraz prowadzi do zmniejszenia jego masy. Podczas stabilizacji zmniejsza się również liczba bakterii i organizmów chorobotwórczych [4]. Odwadnianie osadu prowadzi do dalszego zmniejszenia jego objętości, w wyniku czego powstaje osad o zawartości od 17% do 40% suchej masy [3].

W ostatnich latach obserwuje się zwiększenie ilości wytwarzanych osadów ściekowych, co wiąże się z budową nowych oczyszczalni ścieków, jak również modernizacją tych już istniejących [6]. W zależności od morfologii wydzielonych osadów mogą być one wykorzystywane na cele przemysłowe lub nieprzemysłowe (przyrodnicze) [7]. W Polsce w roku 2015 w procesie oczyszczalni ścieków komunalnych i przemysłowych powstało 951,5 tys. ton suchej masy osadów, z czego zaledwie około 3,3% przeznaczonych zostało na cele rekultywacyjne. Największą ilość osadów ściekowych wytworzono w Województwie Mazowieckim (128,8 tys. ton s.m.), ale do celów rekultywacji terenów zdegradowanych przeznaczono jedynie 2,7%. Dla porównania w województwie lubelskim, gdzie wytworzono ich kilkukrotnie mniej (37,4 tys. ton s.m.), niemalże 15% (5,6 tys. ton s.m.) znalazło zastosowanie w procesie przywracania wartości użytkowej gleb zniszczonych [8].

Analizie poddane zostały osady ściekowe wytworzone w Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Reczu. Gmina Recz leży na Pojezierzu Ińskim, w południowej części województwa zachodniopomorskiego, w powiecie choszczeńskim. System kanalizacji ma charakter sieci ogólnospławnej, który obejmuje powierzchnię zamieszkałą przez prawie 80% ludności miasta Recz, oraz około 60% pozostałych terenów gminy. Ścieki wytwarzane na terenie miasta oraz przyległych mu obszarach (koloniach, przysiółkach), zarówno bytowo-gospodarcze, deszczowe oraz przemysłowe, oczyszczane są w mechaniczno – biologicznej oczyszczalni ścieków. Podstawowymi urządzeniami mechaniczno – biologicznej oczyszczalni ścieków w Reczu są:

- piaskownik pionowy,
- rów cyrkulacyjny napowietrzany za pomocą aeratorów,
- dwa osadniki wtórne,
- komora stabilizacji osadu nadmiernego,
- zadaszone poletka osadowe.

2. Materiał i metody

W październiku 2010 i 2011 roku pobrano próbki ustabilizowanych i odwodnionych osadów ściekowych z pięciu kwater odwadniających. Próbki o masie ok. 1 kg pobrano losowo z głębokości 0 – 20 cm do pojemników z tworzywa sztucznego, przy użyciu laski glebowej Egnera (tabela 2.1).

Tabela 2.1. Charakterystyka ogólna analizowanych w pracy osadów ściekowych

Nr próbki	Okres deponowania osadów, numer kwatery, dodatkowe składniki
1	Osady ściekowe zgromadzone w latach 2007 – 2008, zlokalizowane na kwaterze osadowej nr 18
2	Osady ściekowe zgromadzone w latach 2008 – 2009, zlokalizowane na poletku osadowym nr 19
3	Osady ściekowe zgromadzone w latach 1997 – 2006 z dodatkiem zrębków drewna oraz opadłych liści (materiał strukturotwórczy rozcieńczający) oraz poddane procesowi kompostowania w latach 2005 – 2006, zlokalizowane na kwaterze osadowej nr 22
4	Osady ściekowe zgromadzone w latach 2000 – 2007, zlokalizowane na kwaterze osadowej nr 2
5	Osady ściekowe zgromadzone w 2010 roku, zlokalizowane na kwaterze osadowej nr 1

Próbki ustabilizowanych i odwodnionych osadów ściekowych pobrano z pięciu zadaszonych kwater odwadniających osad ściekowy zlokalizowanych na terenie Komunalnej Oczyszczalni Ścieków w Reczu (Rys. 2.1).



Rys. 2.1. Kwatery osadowe na terenie Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Reczu

W pobranych próbkach osadów ustabilizowanych oznaczono:

- wartości pH – potencjometrycznie przy pomocy miernika wielopomiarowego z użyciem kombinowanej elektrody szklanej,
- wilgotność – metodą wagosuszarkową przy użyciu miernika z bezpośrednim odczytem wilgotności w świeżych próbkach,
- zawartość substancji organicznej – określając wagę pozostałości po spalaniu w 450°C w piecu muflowym,
- zawartości makroelementów: węgla, azotu i siarki - wykorzystując analizator elementarny CHNS – O,
- zawartości rtęci - za pomocą spektrometru absorpcji atomowej AMA 254, przez bezpośrednie spalanie próbki w tlenie.

Następnie próbki osadów poddane zostały mineralizacji na mokro w mieszaninie stężonych kwasów: azotowego (HNO_3) oraz nadchlorowego (HClO_4), w stosunku 3:1 z dodatkiem 10 cm^3 nadtlenu wodoru (H_2O_2). W tak przygotowanych próbkach analizowano następujące parametry:

- zawartość metali ciężkich: kadmu, niklu, ołowiu, chromu, miedzi i cynku oraz mikropierwiastków: sodu, potasu, magnezu i wapnia - metodą absorpcji atomowej ASA przy pomocy spektrofotometru UNICAM SOLAAR 929,
- zawartość fosforu - metodą kolorymetryczną przy długości fali 470 nm.

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Parametry ogólne osadów ściekowych

Analizując wilgotność poszczególnych osadów ściekowych stwierdzono, iż badane osady ściekowe charakteryzują się silnym uwilgotnieniem. Próbka nr 5 (osad najmłodszy) charakteryzuje się najwyższą wartością tego parametru (94%), natomiast próbka nr 3 (osad najstarszy) cechuje się zdecydowanie niższym poziomem wilgotności – zaledwie 50,1%. W przypadku substancji organicznej, również najwyższą wartością cechuje się osad najmłodszy (próbka nr 5) – 74,5%, z kolei osad najdłużej składowany (próbka nr 3) ma najniższą zawartość substancji organicznej – 54,8% (tabela 3.1.1.) Wieczorek i in. [9] ocenili w swoich badaniach, że substancja organiczna osadu ściekowego pochodzącego z Krzeszowic wynosiła 55,20%, natomiast z Niepołomic 27,7%.

Tabela 3.1.1. Parametry ogólne osadów ściekowych z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Reczu

Parametr	Próbki osadów ściekowych (numeracja zgodna z tabelą 2.1)				
	1	2	3	4	5
Wilgotność [%]	84,00	86,80	50,10	72,30	94,00
Substancja organiczna [% s.m.]	59,00	64,80	54,80	55,10	74,50
Substancja mineralna [% s.m.]	41,00	35,20	45,20	44,90	25,50
pH	7,40	7,30	5,70	7,30	7,20
Przewodność elektrolityczna [μ S]	527,80	430,50	1200	952,00	274,80

Biorąc pod uwagę wartości pH badanych osadów najniższą wartość (pH=5,7), stwierdzono w osadzie najstarszym (próbka nr 3), wskazując na potencjalne ryzyko uwalniania się metali ciężkich do środowiska. W pozostałych próbkach osadów nie zaobserwowano znacznego zróżnicowania wartości pH między stanowiskami – wartości te wynoszą od 7,20 do 7,40. Podobne zakresy uzyskali w swoich badaniach Drab i in. [10], którzy wynik pH w komunalnych osadach ściekowych oceniają na poziomie 7,5. Kołodziej i in. [11] w przeprowadzonych badaniach uzyskali zakres pH od 5,5 do 8,3. W badaniach przeprowadzonych przez Duszę i in. [12] pH osadów pochodzących z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Reczu składowanych w latach 1994 – 2003 kształtowało się w granicach od 5,6 do 7,0.

Wyniki analizy przewodności elektrolitycznej wskazują natomiast na duże zróżnicowanie między poszczególnymi próbkami osadów ściekowych. Najniższą wartość posiada charakteryzował się osad najmłodszy (próbka nr 5) – 274,80 [μ S], z kolei osad najstarszy (próbka nr 3) charakteryzuje się najwyższą przewodnością elektrolityczną 1200 [μ S].

3.2. Zawartość makropierwiastków w osadach ściekowych

Osady ściekowe zawierają szereg składników pokarmowych niezbędnych dla życia roślin. Zestawienie zawartości makropierwiastków (azotu, fosforu, potasu, węgla i siarki) w badanych osadach ściekowych przedstawiono w tabeli 3.2.1.

Tabela 3.2.1. Zawartość makropierwiastków w próbkach osadów ściekowych z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Reczu [%]

Badany pierwiastek	Próbki osadów ściekowych (numeracja zgodna z tabelą 2.1)				
	1	2	3	4	5
N	3,60	4,00	2,90	3,00	5,10
P	0,014	0,014	0,016	0,015	0,014
K	0,22	0,26	0,21	0,20	0,30
C	28,40	30,40	24,60	26,30	32,70
S	1,30	1,40	0,70	1,30	1,20

Oceniając zawartość w osadach ściekowych jednego z najważniejszych składników nawozowych, jakim jest azot, można zauważyć, że najwyższa ilość tego pierwiastka określona została w osadzie najmłodszym (próbka nr 5) – 5,10%. Osad najstarszy charakteryzował się zaś najmniejszą ilością przedmiotowego makropierwiastka – 2,90%. W pozostałych próbkach osadów ściekowych wartości kształtują się od 3,00% do 4,00%. Z badań przeprowadzonych przez Maćkowiaka [13] wynika, że średnie zawartości azotu z oczyszczalni ścieków komunalnych wynoszą 3,53%, z wahaniami od 0,12% do 8,75%. Autor ten uznaje osady o takiej zawartości składnika jako zasobne w azot. Rodowicz i in. [14] w osadach ściekowych z białostockiej oczyszczalni ścieków, stwierdzili 3,80% azotu. Porównując zawartości azotu w osadach ściekowych z Miejskiej Oczyszczalni ścieków w Reczu z danymi podawanymi w literaturze, można stwierdzić, że osady te są zasobne w azot, szczególnie osad najmłodszy (próbka nr 5).

Zawartość fosforu w poszczególnych osadach ściekowych wskazuje na niewielkie zróżnicowanie pomiędzy stanowiskami. We wszystkich przypadkach wartości te nie przekraczają 0,016 % suchej masy. Siuta i in. [5] w osadach ściekowych z oczyszczalni w Jeleniej Górze określili zawartości fosforu na poziomie od 0,20% do 0,26%. Dla porównania Filipek – Mazur i Gondek [15] w badaniach nad osadami ściekowymi pochodzącymi z zakładów garbarskich podają zakres zawartości fosforu od 0,22 % do 0,34 %.

Z kolei analizując zawartość węgla w badanych próbkach, stwierdzono najwyższy odsetek (32,70%) w osadzie najmłodszym (próbka nr 5), natomiast najniższy w osadzie najstarszym (próbka nr 3) – 24,60%. W pozostałych osadach wartości wynoszą od 26,30% do 30,40%. Siuta i in. [5] ocenili zawartość węgla w osadach ściekowych na 31,10%. Z badań dotyczących osadów ściekowych pochodzących z oczyszczalni ścieków w Wielkopolsce przeprowadzonych przez Czekałę [16] wynika, że zawartość węgla kształtuje się w granicach od 12,40% do aż 46,00%. Analiza zawartości węgla w osadach z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Reczu wskazuje na wysoką zawartość tego pierwiastka i nie odbiega znacząco od danych podanych w literaturze. Ostatnim z badanych makropierwiastków w osadach ściekowych była siarka, której zawartość oscyluje od 0,70% do 1,40%. Najniższą zawartość notuje się w osadzie najstarszym. Podobne wyniki uzyskali w swoich badaniach Siuta i in. [5]. Zawartość siarki wynosiła od 0,84% do 1,20%.

3.3. Zawartość pozostałych składników nawozowych i metali ciężkich w osadach ściekowych

Osady ściekowe charakteryzują się również zasobnością w składniki nawozowe takie jak: magnez, wapń i sól. Zestawienie wymienionych kationów zasadowych przedstawiono w tabeli 3.3.1.

Tabela 3.3.1. Zawartość kationów zasadowych [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$] w próbkach osadów ściekowych z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Reczu

Badany pierwiastek	Próbki osadów ściekowych (numeracja zgodna z tabelą 2.1)				
	1	2	3	4	5
Mg	1559,00	1580,60	1425,00	1852,20	1457,60
Ca	19257,09	18862,59	13159,01	25938,35	16116,10
Na	1149,65	1146,61	446,16	665,56	955,42

Analiza zawartości magnezu w badanych osadach ściekowych pozwala stwierdzić, iż jego najwyższa ilość występuje w osadzie zgromadzonym w latach 2000 – 2007 (próbka nr 4) 1852,20 mg·kg⁻¹, z kolei najmniejszą zawartością charakteryzuje się osad najstarszy (próbka nr 3) 1425,00 mg·kg⁻¹. Również analiza zawartości sodu wykazuje, że najmniejsza ilość znajduje się w osadzie najstarszym (próbka nr 3), natomiast najbardziej zasobny w sód jest osad ściekowy zgromadzony w latach 2007 – 2008 (próbka nr 1). Jak wynika z powyższej analizy, osady ściekowe charakteryzują się wysoką zasobnością w omawiane składniki nawozowe. Osady te charakteryzują się wysokimi stężeniami azotu, węgla, magnezu, wapnia i sodu, natomiast mniejsze ilości dotyczą fosforu, potasu i siarki.

Badane osady ściekowe charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami fizycznymi oraz stosunkowo wysoką zawartością podstawowych składników pokarmowych. Pod względem nawozowym mogą one być wykorzystywane w rolnictwie, jednakże podstawowym ograniczeniem w ich zastosowaniu jest ponadnormatywna zawartość w nich metali ciężkich, które mogą znacznie ograniczyć lub nawet uniemożliwić ich wykorzystanie (tabela 3.3.2).

Tabela 3.3.2. Koncentracja metali ciężkich [mg·kg⁻¹] w próbkach komunalnych osadów ściekowych z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Reczu

Badany pierwiastek	Próbki osadów ściekowych (numeracja zgodna z tabelą 2.1)				
	1	2	3	4	5
Hg	0,46	0,39	3,15	3,32	0,34
Cd	0,75	0,69	2,99	1,57	0,39
Ni	34,15	34,55	758,08*	145,58	30,00
Pb	35,48	33,65	153,39	62,64	24,36
Cr	64,20	61,18	1251,91*	482,41	62,66
Cu	471,42	455,53	2768,87*	913,06	520,58
Zn	942,55	977,95	3396,60*	1971,76	829,56

*wartości nie spełniające norm wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. [17]

Wyniki zestawione w tabeli 4.4 wskazują, że najniższe zawartości metali ciężkich występują w osadzie najświeższym (próbka nr 5). Wartości te nie przekraczają dopuszczalnych zawartości metali ciężkich określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 roku w sprawie komunalnych osadów ściekowych [17], z czego wynika, że osad ten może być stosowany do wszystkich celów wymienionych w ww. Rozporządzeniu. Natomiast najwyższa zawartość metali ciężkich występuje w osadzie najstarszym (próbka nr 3). Osad ten zawierał materiał strukturotwórczy w postaci zrębków drewna i opadłych liści oraz został poddany procesowi kompostowania w latach 2005 – 2006. Mimo kompostowania osadu z materiałem strukturotwórczym, które miało na celu rozcieńczenie zawartości metali ciężkich, stężenie takich metali ciężkich jak: nikiel, chrom, miedź oraz cynk przekraczają dopuszczalne zawartości tych mikropierwiastków określonych w Rozporządzeniu [17], uniemożliwiając wykorzystanie osadu ściekowego na cele przyrodnicze. Zawartość metali ciężkich w badanych osadach ściekowych kształtuje się w następującym szeregu: Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > Cd > Hg, przy czym wartości rtęci nie przekraczają dopuszczalnych norm [17], jako że dozwolony poziom tego pierwiastka dla osadów wykorzystywanych w rolnictwie i rekultywacji na cele rolne wynosi 16 mg·kg⁻¹.

Wartości rtęci w badanych osadach ściekowych nie przekraczają dopuszczalnych norm [17]. Dozwolony poziom tego pierwiastka dla osadów wykorzystywanych w rolnictwie i rekultywacji na cele rolne wynosi 16 mg·kg⁻¹.

Najwyższa zawartość rtęci w osadach ściekowych z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Reczu wynosi 3,32 mg·kg⁻¹ w osadach zgromadzonych w latach 2000 – 2007 (próbka nr 4), a następnie w osadzie najstarszym (próbka nr 3) 3,15 mg·kg⁻¹. Pozostałe osady ściekowe zawierają od 0,34 mg·kg⁻¹ do 0,46 mg·kg⁻¹ rtęci. W badaniach przeprowadzonych przez Jakubus [18] na osadach ściekowych z oczyszczalni ścieków zlokalizowanych na terenie Wielkopolski wynika, że średnia zawartość rtęci wynosiła 1,2 mg·kg⁻¹. Z kolei Dusza

[19] analizując koncentrację metali ciężkich w osadach ściekowych pochodzących z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Reczu zgromadzonych w latach 1994 – 2003 uzyskała zakres zawartości rtęci od $0,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $3,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Stwierdzona zawartość omawianego pierwiastka śladowego w osadach ściekowych z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Reczu jest zbliżona do danych literaturowych.

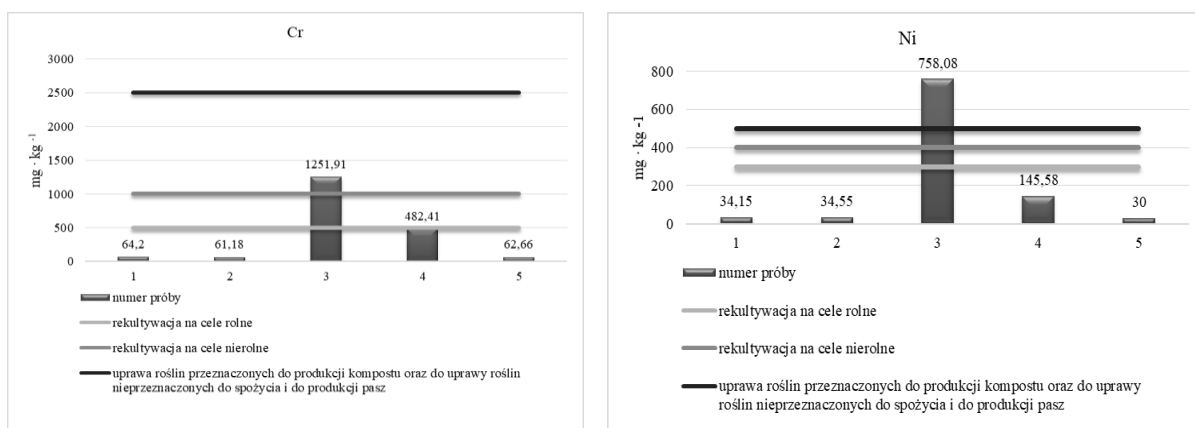
Analizując zawartość kadmu w badanych osadach ściekowych można zauważyć, iż jego najwyższą zawartością charakteryzuje się osad najstarszy (próbka nr 3) – $2,99 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. W pozostałych próbkach osadów ściekowych wartości kształtują się na poziomie od $0,39 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $1,57 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Zawartości kadmu w poszczególnych próbkach osadów mieszczą się w normie zezwalającej na użytkowanie ich w rolnictwie i rekultywacji na cele rolne, bowiem poziom dopuszczalny wynosi $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zbliżone wartości podawane są w literaturze. Z badań przeprowadzonych przez Filipek – Mazur i in. [15] nad osadami ściekowymi pochodzącymi z Krakowskich Zakładów Garbarskich wynika, że zawartość kadmu mieści się w granicach od $0,27 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $0,78 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Z kolei Siuta i in. [5] uzyskali zakres zawartości kadmu w osadach ściekowych od $0,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $1,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Natomiast Kołodziej i in. [11] ocenili zawartość omawianego mikropierwiastka w badaniach nad osadami ściekowymi na $3,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Najwyższa zawartość kadmu w analizowanym osadzie ściekowym (próbka nr 3, $2,99 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) jest 1,4 krotnie mniejsza od danych uzyskanych przez Scancar i in. [20], którzy badali zawartość metali ciężkich w próbkach osadów ściekowych pobranych z oczyszczalni ścieków w Domzale na Słowenii. Średnią zawartość kadmu stwierdzono na poziomie $2,78 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ – najwyższa wyniosła $4,22 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, natomiast najniższa $1,50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Najwyższą zawartość ołowiu (tabela 3.3.2.) zidentyfikowano w osadzie najstarszym (próbka nr 3) i wynosi $153,39 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Wartość ta nie przekracza jednak obowiązujących poziomów dopuszczalnych. Dopuszczalna zawartość ołowiu w osadach służących do wykorzystania w rolnictwie oraz na cele rolne wynosi bowiem $750 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Jak widać zawartość pierwiastka w badanym osadzie jest prawie 5 krotnie mniejsza niż podaje norma. Natomiast wartości ołowiu w pozostałych osadach ściekowych kształtują się na poziomie od $24,36 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ w osadzie najmłodszym (próbka nr 5) do $62,64 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Maćkowiak [13] otrzymał w komunalnych osadach ściekowych zakres zawartości ołowiu od $47,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $143 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Podobne wyniki uzyskali również Siuta i in. [5] w przeprowadzonych badaniach nad osadem ściekowym z Oczyszczalni „Fregata”, którzy oceniają zakres ołowiu od $59,40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $93,80 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Jak widać badany osad ściekowy z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Reczu ma podobny zakres zawartości ołowiu jak podają dane literaturowe. Natomiast Tao i in. [21] badając osady ściekowe pobrane z oczyszczalni ścieków „Jinan Guanda” w Chinach, uzyskali zdecydowanie niższą zawartość ołowiu w porównaniu do wyników badań z oczyszczalni ścieków w Reczu. Dane zaprezentowane przez Tao i in. [21] wskazują, że wartość ołowiu w tamtejszych ściekach wyniosła $36 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, co jest wynikiem 4 krotnie niższym od najwyższej zawartości Pb w badanych osadach ściekowych z oczyszczalni w Reczu ($153,39 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Jednakże porównując wyniki uzyskane przez Tao i in. [21] do zawartości ołowiu w pozostałych próbkach osadu można zauważyć znacznie mniejsze zróżnicowanie.

Stężenia niklu (tabela 3.3.2.) kształtują się od $30,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ w osadzie najmłodszym (próbka nr 5) do $758,08 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ w osadzie najstarszym (próbka nr 3), gdzie zawartość niklu jest ponad 25 razy większa niż w osadzie najmłodszym (próbka nr 5). Wysoka zawartość mikropierwiastka w osadzie najstarszym $758,08 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dyskwalifikuje wykorzystanie go do jakichkolwiek celów wymienionych w obowiązującym Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2015 roku [17]. Dopuszczalny poziom zezwalający na wykorzystanie osadów w rolnictwie i do rekultywacji na cele rolne wynosi $300 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Rys. 3.3.1). Norma ta została przekroczona ponad 2,5 krotnie. Osad ściekowy powinien zostać poddany zabiegom mającym na celu rozcieńczenie lub usunięcie tak wysokiej zawartości metali ciężkich.

Porównując najwyższą zawartość niklu w osadach ściekowych z oczyszczalni w Reczu ($758,08 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) do danych przedstawionych przez Scancar i in. [20] można stwierdzić, że są one zbliżone. Średnia wartość tego pierwiastka w osadzie ściekowym pobranym z jednej z oczyszczalni ścieków na Słowenii wyniosła $621 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, najwyższa zaś $995 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Natomiast wyniki uzyskane w trakcie badań próbek nr 1, 2, 4 i 5 pobranych z oczyszczalni ścieków w Reczu znacznie odbiegają od danych zaprezentowanych przez Scancar i in. [20], gdyż są one średnio 10 krotnie niższe. Tao i in. [21] określili zawartość niklu w badanych osadach ściekowych na poziomie $51 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, co jest wynikiem 1,7 krotnie wyższym od najniższej wartości niklu uzyskanej w trakcie badań osadów z oczyszczalni w Reczu ($30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).



Rys. 3.3.1. Zawartość chromu i niklu w próbkach osadów ściekowych z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Reczu

Analizując zawartość chromu (tabela 3.3.2) w badanych próbkach osadu ściekowego można stwierdzić, iż najniższe jego stężenie kształtuje się od 61,18 mg·kg⁻¹ do 64,20 mg·kg⁻¹. Wartości te nie przekraczają poziomów dopuszczalnych i mogą być stosowane do wszystkich celów wymienionych Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2015 roku [17]. Wyższą zawartość chromu notuje się w osadzie ściekowym składowanym w latach 2000 – 2007 (próbka nr 4) – 482,41 mg·kg⁻¹. Jednak wartość ta nie przekracza dopuszczalnego poziomu na wykorzystanie osadów w rolnictwie i do rekultywacji na cele rolne wynoszącego 500 mg·kg⁻¹. Z kolei największa zawartość omawianego pierwiastka po raz kolejny występuje w osadzie ściekowym najstarszym (próbka nr 3) i wynosi 1251,91 mg·kg⁻¹. Zawartość chromu w tym osadzie przekracza normy podane w przywołanym Rozporządzeniu [17] na wykorzystanie osadu w rolnictwie i rekultywacji na cele rolne oraz do rekultywacji na cele nierolne (Rys. 3.3.1). Jak wynika z badań najstarszy osad ściekowy mieści się jedynie w granicy dopuszczalnej na wykorzystanie osadu w celu dostosowywania gruntów do określonych potrzeb, które wynikają z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu oraz do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i do produkcji pasz.

Kolejnym badanym pierwiastkiem była miedź (tabela 3.3.2.), której najmniejszą zawartość zanotowano w próbce nr 2 i wynosi ona 455,53 mg·kg⁻¹ oraz w próbce nr 5, gdzie zawartość miedzi kształtuje się na poziomie 520,58 mg·kg⁻¹. Osady te mogą być wykorzystywane do wszystkich celów określonych w Rozporządzeniu [17], ponieważ nie przekraczają dopuszczalnych norm. Wyższa zawartość miedzi występuje w osadzie ściekowym składowanym w latach 2000 – 2007 (próbka nr 4) i wynosi 913,06 mg·kg⁻¹. Jednak wartość ta mieści się jeszcze w granicy 1000 mg·kg⁻¹ zezwalającej na wykorzystanie osadów w rolnictwie i do rekultywacji na cele rolne. Natomiast najwyższa zawartość miedzi stwierdzona w osadzie najstarszym (próbka nr 3), wynosząca 2768,87 mg·kg⁻¹ uniemożliwia jakiegokolwiek wykorzystanie tego osadu do celów wymienionych w obowiązującym Rozporządzeniu [17]. Scnacar in. [20] w trakcie badań osadów ściekowych uzyskali podobne wartości miedzi do wyników badanych próbek nr 1, 2 i 5, gdyż najwyższą średnią zawartość określili na poziomie 433 mg·kg⁻¹. Natomiast największe stwierdzone stężenie miedzi wyniosło 695 mg·kg⁻¹, co sprawia, że jest ono 4 krotnie niższe od najwyższej zawartości Cu wyznaczonej w próbce nr 3 w osadzie z oczyszczalni w Reczu.

Ostatnim z analizowanych metali ciężkich w badanych osadach ściekowych był cynk (tabela 3.3.2). Najwyższa zawartość tego pierwiastka występuje w osadzie najstarszym (próbka nr 3) i wynosi 3396,60 mg·kg⁻¹, natomiast najmniejsza w osadzie najmłodszym (próbka nr 5) - 829,56 mg·kg⁻¹. Pozostałe osady zawierają od 942,55 mg·kg⁻¹ do 1971,76 mg·kg⁻¹. Zawartość cynku w osadzie najstarszym (próbka nr 3) przekracza dopuszczalną normę 2500 mg·kg⁻¹ zezwalającą na stosowanie osadu w rolnictwie i rekultywacji na cele rolne. Jak zaprezentowano na rysunku nr 4.3.4, zawartości pierwiastka zbliża się do granicy normy zezwalającej na wykorzystanie osadu do rekultywacji na cele nierolne. Podobne wyniki uzyskali Siuta i in. [21] w osadzie z oczyszczalni „Fregata”, którzy ocenili przedział zawartości cynku od 992,0 mg·kg⁻¹ do 1588 mg·kg⁻¹. Ponadto w swoich badaniach Maćkowiak [13] otrzymał zawartości składnika oscylujące od 1083 mg·kg⁻¹ do 1827 mg·kg⁻¹. Z badań nad osadami z Białostockiej Oczyszczalni Ścieków przeprowadzonych przez Rodowicz i in. [14] również obserwuje

się wysokie, nawet ponadnormatywne wartości cynku wynoszące $3293,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Równie wysokie zawartości cynku uzyskali Scancar i in. [20], którzy wskazują na średnią zawartość tego pierwiastka w badanych osadach ściekowych na poziomie $2032 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Wyniki badań literaturowych oraz badań przeprowadzonych na osadach z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Reczu wskazują na wysokie stężenia cynku w osadach ściekowych.

5. Podsumowanie

Jak podkreśla Kabata – Pendias i in. [22] metale ciężkie stanowią największe zagrożenie dla życia organizmów, ze względu na ich podatność na bioakumulację. Odpad z procesu oczyszczania ścieków, jakim jest osad ściekowy zawiera często ponadnormatywne zawartości tych szkodliwych związków, co zazwyczaj ściśle związane jest z rodzajem oczyszczanych ścieków. Koncentracja metali ciężkich w osadach ściekowych jest najczęściej największą przeszkodą w wykorzystaniu osadów na cele przyrodnicze, głównie ze względu na możliwość zanieczyszczenia nimi środowiska glebowego. Dlatego istotne jest, aby dawki i formy stosowania osadów ściekowych były zgodne z normami regulowanymi Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 roku w sprawie komunalnych osadów ściekowych [17].

Uzyskane wyniki wskazują, iż ustabilizowane i odwodnione osady ściekowe charakteryzują się wysoką zasobnością w składniki pokarmowe dla roślin, a szczególnie osad ściekowy najmłodszy zgromadzony w 2010 roku (próbka nr 5), natomiast najniższą zawartość makroskładników w osadach ściekowych posiada osad ściekowy najstarszy, zgromadzony w latach 1997 – 2006 (próbka nr 3). Dodatkowo osad ściekowy zgromadzony w latach 1997 – 2006 (próbka nr 3), zawiera ponadnormatywne zawartości metali ciężkich: cynku, miedzi, chromu oraz niklu, które dyskwalifikują dalsze wykorzystanie osadu. Wysokie zawartości tych pierwiastków związane były z udziałem ścieków pochodzących z galwanizerni w sieci kanalizacji miejskiej. Mimo tego, iż do osadu dodano materiał strukturotwórczy w postaci zrębków drewna oraz opadłych liści, , podejmując próbę jego rozcieńczenia w procesie kompostowania w latach 2005 – 2006, nadal stężenia cynku, miedzi, chromu oraz niklu przekraczają dopuszczalny poziom. Ze względu na ponadnormatywne stężenia niklu oraz miedzi w osadzie ściekowym najstarszym zgromadzonym w latach 1997 – 2006 (próbka nr 3), nie jest możliwe wykorzystanie ich w żaden sposób określony w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 roku w sprawie komunalnych osadów ściekowych [17].

Pozostałe osady ściekowe składowane w kwaterach odwadniających na obszarze oczyszczalni ścieków w Reczu można wykorzystać na cele przyrodnicze, po uprzednim przebadaniu każdej z partii osadów przeznaczonych do zagospodarowania.

Bibliografia

1. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2013 poz. 21)
2. Kutera J. (1988). Wykorzystanie ścieków w rolnictwie. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, ss. 509.
3. Oleszkiewicz J. (1998). Gospodarka osadami ściekowymi. Poradnik decydenta. LEM s. c., Kraków, ss. 284.
4. Bernacka J., Pawłowska L. (1997). Odwadnianie jednym z głównych procesów przeróbki i przygotowania osadu do zagospodarowania. II Konferencja Naukowo – Techniczna na temat przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych w dniach 26 – 28.05.1997. Wydawnictwo Ekoinżynieria. Puławy – Lublin – Jeziórko, s. 73 – 80.
5. Siuta J., Bielówka J. (1997). Rekultywacja terenu laguny i kompostowanie osadu ściekowego w Jeleniej Górze. II Konferencja Naukowo-Techniczna na temat przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych w dniach 26 – 28.05.1997. Puławy – Lublin – Jeziórko, s. 47 – 56.
6. Kulikowska D., Bilicka K. (2009). Analiza przemian materii biologicznej i związków azotu podczas kompostowania osadów ściekowych. Czasopismo techniczne. Środowisko. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Zeszyt 11, s. 101 – 110.
7. Kubica K., Robak J., Kubica S. (2003). Otrzymywanie kompaktowanych materiałów o charakterze użytkowym z popiołów lotnych i osadów ściekowych. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-

- Techniczna na temat rekultywacji terenów zdegradowanych w dniach 10 – 11.04.2003. Elektrownia Dolna Odra. Akademia Rolnicza w Szczecinie, s. 25 – 31.
8. Główny Urząd Statystyczny, Ochrona środowiska 2016
 9. Wieczorek J., Gambuś F. (2009). Porównanie działania obornika i komunalnych osadów ściekowych na plonowanie i skład chemiczny słonecznika w doświadczeniu lizymetrycznym. [w: Nawozy naturalne i organiczne w środowisku rolniczym]. Warszawa. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 537, s. 359 – 368.
 10. Drab M., Greinert A., Węclewski S. (2009). Zmiany zawartości węgla organicznego oraz ogólnego i przyswajalnego fosforu w glebach nawożonych osadem ściekowym. [w: Nawozy naturalne i organiczne w środowisku rolniczym]. Warszawa. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 537, s. 67 – 73.
 11. Kołodziej M., Mazur S., Wisz H. (1997). Skład chemiczny osadów ściekowych – ograniczenia i możliwości przyrodniczej ich utylizacji. II Konferencja Naukowo-Techniczna na temat przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych w dniach 26 – 28.05.1997. Puławy – Lublin – Jeziórko, s. 177 – 180.
 12. Dusza E., Zabłocki Z. (2009). Zawartość metali ciężkich w kompostach z osadów ściekowych z Miejskiej Oczyszczalni ścieków w Reczu. [w: Nawozy naturalne i organiczne w środowisku rolniczym]. Warszawa. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 537, s. 75 – 81.
 13. Maćkowiak Cz. (2001). Wartość nawozowa osadów ściekowych. [w: Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. Ochrona i rekultywacja gruntów]. Bydgoszcz. Inżynieria ekologiczna nr 3, s. 135 – 145.
 14. Rodowicz Z., Piekutowski H., Święchowicz A., Sawicka M., Wierzbicki T.L. (2001). Problemy administracyjne przy wykorzystywaniu osadów na cele nieprzemysłowe. [w: Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. Ochrona i rekultywacja gruntów]. 4 – 6.06.2001. Bydgoszcz. Inżynieria ekologiczna nr 3, s. 116 – 121.
 15. Filipek – Mazur B., Gondek K. (2001). Wpływ składowania osadów z oczyszczania ścieków garbarskich na zawartość i przemieszczanie metali ciężkich w profilu glebowym. [w: Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. Ochrona i rekultywacja gruntów]. 4 – 6.06.2001. Bydgoszcz. Inżynieria ekologiczna nr 3, s. 83 – 89.
 16. Czekala J. (2009). Osady ściekowe – nawóz czy odpad? Redaktor Brylka H. Czasopismo Wodociągi – Kanalizacja. Numer 1/(59), s. 30-33.
 17. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. 2015 poz. 257)
 18. Jakubus M. (2003). Charakterystyka osadów ściekowych pod kątem ich przydatności rolniczej i rekultywacyjnej. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna na temat rekultywacji terenów zdegradowanych w dniach 10 – 11.04.2003. Elektrownia Dolna Odra. Akademia Rolnicza w Szczecinie, s. 119 – 124.
 19. Dusza E. (2007). Wpływ ścieków pogalwanicznych na efektywność procesu oczyszczania w Komunalnej Oczyszczalni Ścieków w Reczu oraz możliwość zagospodarowania osadów nadmiernych i wyprodukowanych z nich kompostów. Rozprawa doktorska. Maszynopis.
 20. Scancar J., Milacic R., Strazar M., Burica O. (2000). Total metal concentrations and partitioning of Cd, Cr, Cu, Fe, Ni and Zn in sewage sludge. Science of The Total Environment, Volume 250, Issues 1–3, s. 14.
 21. Tao J., Shoulin W., Linbo S., Xiaobo T., Shimiao Y., Zhibin Z. (2012). Composition of Waste Sludge from Municipal Wastewater Treatment Plant. Procedia Environmental Sciences, Volume 12, Part B, s. 965.
 22. Siuta J., Sienkiewicz R., Kiepuski J. (2001). Roślinne odwadnianie i kompostowanie osadu ściekowego w Rykach. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. Ochrona i rekultywacja gruntów. 4 – 6.06.2001. Bydgoszcz. Inżynieria ekologiczna nr 3, s. 60 – 69.
 23. Kabata – Pendias A., Pendias H. (1999). Biochemia pierwiastków śladowych. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa, ss. 400.
-