

Ewa ILBA<sup>1</sup>  
Adam MASŁOŃ<sup>2</sup>  
Janusz A. TOMASZEK<sup>3</sup>  
Ałła KUTWICKA<sup>4</sup>

## **OCENA ZAWARTOŚCI METALI CIĘŻKICH W OSADACH ŚCIEKOWYCH Z MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI W PRZEMYŚLU W ASPEKCIE WYKORZYSTANIA ICH W ROLNICTWIE**

W pracy przedstawiono wyniki badań zawartości metali ciężkich (miedź, ołów, nikiel, cynk, chrom, kadm) w osadach ściekowych z oczyszczalni ścieków w Przemysłu. Analiza otrzymanych wyników została przeprowadzona pod kątem możliwości wykorzystania osadów ściekowych do celów rolniczych. Stężenia poszczególnych metali porównano z maksymalnymi wartościami dopuszczanymi przez obowiązujące przepisy oraz z wynikami analiz osadów ściekowych pochodzących z innych oczyszczalni ścieków. Wykazano, że osady ściekowe otrzymywane w oczyszczalni w Przemysłu nie przekraczają w żadnym przypadku dopuszczalnych stężeń metali ciężkich określonych dla osadów ściekowych wykorzystywanych w celach rolniczych. Zawartość metali w suchej masie osadów ściekowych z przemyskiej oczyszczalni charakteryzowała się niższymi wartościami niż w podobnych obiektach z terenu kraju, jak i w porównaniu z średnimi dla województwa podkarpackiego. Nie odnotowano sezonowej zmienności poziomu poszczególnych metali ciężkich. Średnia roczna zawartość metali ciężkich w rozpatrywanym okresie utrzymywała się na zbliżonym poziomie. Ponieważ prezentowane, całkowite stężenia metali ciężkich informują jedynie o stopniu zanieczyszczenia środowiska, do pełnej oceny ich oddziaływania na gleby (mobilności, biodostępności i ekotoksyczności) zaproponowano analizę specyjalną i frakcjonowanie. W następstwie interpretacji wyników przeprowadzonej oceny wskazano kierunki przyszłych badań, które powinny objąć ocenę poziomu stężeń metali ciężkich w kanalizacji

<sup>1</sup> Ewa Ilba, Państwowa Wyższa Szkoła Wschodnioeuropejska w Przemysłu, Instytut Inżynierii Środowiska, ul. Żołnierzy I Armii Wojska Polskiego 1E, 37-700 Przemysł, tel. 16 7355174, e-mail: ewailba@gmail.com

<sup>2</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Adam Masłoń, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 7432407, e-mail: amaslon@prz.edu.pl

<sup>3</sup> Janusz A. Tomaszek, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651361, e-mail: tomaszek@prz.edu.pl

<sup>4</sup> Ałła Kutwicka, Zakład Oczyszczania Ścieków w Przemysłu, ul. Piaskowa 37-700 Przemysł, tel. 16 6780590, e-mail: kutwickaala@o2.pl

ogólnospławnej miasta Przemysła, zbilansowanie ładunków wprowadzanych w ściekach surowych na oczyszczalnię i ich wpływu na biocenozę osadu czynnego.

**Słowa kluczowe:** osad ściekowy, metale ciężkie, analiza jakościowa osadów ściekowych

## 1. Wprowadzenie

Zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych jest uzależniona od udziału ścieków przemysłowych w ogólnej ilości ścieków komunalnych. Obecność metali ciężkich w osadach ściekowych jest istotnym czynnikiem ograniczającym wykorzystanie przyrodnicze, w tym rolnicze. Głównymi pierwiastkami, których występowanie ma niekorzystny wpływ na organizmy żywe, są rtęć, kadm, nikiel, chrom i ołów. Za wyjątkiem niklu wymienione metale wykazują stosunkowo wysoką podatność na bioakumulację. Miedź, cynk, kobalt, molibden i bor (mikroelementy) są niezbędne do prawidłowego wzrostu roślin, lecz zbyt wysokie stężenie tych metali w glebie wpływa negatywnie na organizmy żywe [1].

Zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych jest również istotna w przypadku ich składowania, może bowiem zachodzić niebezpieczeństwo wymywania metali z osadów. Dodatkowym problemem są pozostałości po procesie spalania osadu, ponieważ w popiołach oraz pozostałościach po oczyszczaniu spalin stężenie metali rośnie cztero-, pięciokrotnie w stosunku do stężenia w materiale wyjściowym [1].

Komunalne osady ściekowe charakteryzują się wysokimi walorami glebotwórczymi i nawozowymi. Rolnicze wykorzystanie osadów ściekowych, oprócz korzystnego wpływu na ilość mikro- i makroelementów w glebie (źródło między innymi azotu, fosforu, potasu, wapnia i magnezu), poprawia właściwości fizyczne gleby, zwiększając jej pojemność sorpcyjną ze względu na obecność materii organicznej w osadach ściekowych [2].

Niestety do nawożenia nie zawsze można wykorzystać osady ściekowe. Głównymi czynnikami eliminującymi takie zastosowanie jest znaczna obecność mikroorganizmów chorobotwórczych oraz metali ciężkich. Zawartość metali wynika z udziału ścieków przemysłowych w ogólnej ilości ścieków miejskich dopływających do oczyszczalni. Ponadto metale ciężkie są także obecne w spływach powierzchniowych wód deszczowych i przypadkowych oraz występują w ściekach w następstwie korozji elementów systemu kanalizacyjnego [2].

Aktem prawnym regulującym jakość osadu ściekowego w aspekcie jego wykorzystania w rolnictwie jest Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Rozporządzenie ściśle określa warunki fizyko-chemiczne, które powinien spełniać osad, aby ponownie mógł „wrócić” do środowiska, przede wszystkim maksymalne zawarto-

ści metali ciężkich [3]. Należy jednak zwrócić uwagę, że w myśl tego rozporządzenia grunt, na którym osad ściekowy będzie stosowany, musi spełniać określone przez ustawę warunki. Przed stosowaniem osadu ściekowego na gruntach rolnych konieczne jest oznaczenie ilości metali ciężkich w wierzchniej warstwie gruntu (maksymalne stężenia określają załącznik nr 2 i 3 do Rozporządzenia), gleba musi się charakteryzować pH co najmniej 5,6 [3]. Dodatkowo osady mogą być stosowane poza okresem wegetacji roślin, jeśli są one przeznaczone do bezpośredniego spożycia przez ludzi. Stosowanie osadów na gruncie nie może spowodować pogorszenia jakości gleby, wód powierzchniowych i podziemnych [3].

Niektóre z metali ciężkich są uznawane za mikroelementy, dlatego nie można ich całkowicie usunąć z przyrodniczego obiegu, należy jednak zwrócić uwagę na ich formę występowania. Konieczne jest zatem określenie biodostępności i przyswajalności formy metali ciężkich. W celu lepszego zobrazowania wpływu metali ciężkich na środowisko, w tym gleby, na której jest stosowany osad ściekowy, należy wykonać analizę specyficzną, obrazującą biodostępność poszczególnych metali. Ważnym czynnikiem przemawiającym za tym postępowaniem jest nie tylko określenie dostępności metali, ale również oznaczenie poszczególnych form pierwiastków. Najbardziej znanym przykładem popierającym taką postawę jest chrom, który w swojej formie na III stopniu utlenienia jest niezbędny do prawidłowego rozwoju organizmów żywych, natomiast w przypadku występowania na VI stopniu ma silne właściwości toksyczne. Również miedź jako mikroelement jest niezbędnym składnikiem wielu enzymów i białek, lecz w przypadkach wysokich stężeń jest toksyczna, np. u roślin wrażliwych na obecność miedzi jej nadmiar może powodować zmniejszenie plonu [4].

Celem pracy jest ocena jakościowa osadu ściekowego z oczyszczalni ścieków w Przemyślu pod względem zawartości metali ciężkich w aspekcie rolniczego wykorzystania.

## 2. Materiał badawczy i metodyka

Materiał badawczy stanowi osad ściekowy z oczyszczalni ścieków w Przemyślu. Oczyszczalnia ścieków w Przemyślu została oddana do eksploatacji w 1979 r., w latach 2004-2006 została rozbudowana i unowocześniona w ramach projektu „Rozbudowa i modernizacja oczyszczalni ścieków w Przemyślu”. Obecnie jej przepustowość wynosi 28 200 m<sup>3</sup>/d dla przepływu średniodobowego. Oczyszczalnia przyjmuje ścieki doprowadzane kanalizacją ogólnospławną miasta Przemyśl oraz części podmiejskich miejscowości. Równoważna liczba mieszkańców została określona na poziomie 100 tys. RLM. Ścieki są oczyszczane metodą osadu czynnego w procesach nityfikacji, denityfikacji i defosfatacji. Oczyszczone ścieki są doprowadzane do rzeki San [5].

Osady nadmierne po mechanicznym zagęszczeniu są poddawane beztlenowej stabilizacji w wydzielonych komorach fermentacji. Ustabilizowane osady ściekowe są następnie odwadniane na prasie taśmowej. Odwodniony osad jest

mieszany z wapnem palonym i trafia na plac składowania osadów, skąd jest kierowany do rolniczego wykorzystania [5, 6]. Ocenę funkcjonowania oczyszczalni przedstawili Masłoń i Łuczyszyn [6].

Zawartość metali ciężkich w osadzie ściekowym oznaczano za pomocą spektrometru adsorpcji atomowej (ASA) firmy GBC „SENS AA”, metodą płomieniową po wcześniejszej mineralizacji w laboratorium znajdującym się na terenie oczyszczalni ścieków. Badania składu osadu ściekowego przeprowadzono sześć razy w roku (co drugi miesiąc). Oznaczenie stężeń metali ciężkich wykonano według obowiązującej metodyki [3].

### 3. Analiza wyników i dyskusja

W tabeli 1. przedstawiono uśrednione wyniki analizy zawartości metali ciężkich w osadzie ściekowym z oczyszczalni w Przemyślu z okresu 2010-2013. Otrzymane wyniki odniesiono do wymagań, jakie stawia obowiązujące rozporządzenie (tab. 2.). W tabeli 3. przedstawiono uśrednione wyniki dla poszczególnych lat pracy oczyszczalni w analizowanym okresie. Krzywe na rys. 1-6. przedstawiają tendencję rozkładu zawartości poszczególnych metali ciężkich w latach 2010-2013.

Tabela 1. Zawartość metali ciężkich w osadzie ściekowym w latach 2010-2013

Table 1. Heavy metals contents in the sewage sludge in years 2010-2013

Charakterystyka statystyczna	Miedź [mg Cu/kg s.m.]	Ołów [mg Pb/kg s.m.]	Nikiel [mg Ni/kg s.m.]	Cynk [mg Zn/kg s.m.]	Chrom [mg Cr/kg s.m.]	Kadm [mg Cd/kg s.m.]
Średnia	158,5	38,9	22,5	1104,6	43,5	2,2
Mediana	158,2	39,2	22,5	1095,1	41,1	1,5
Minimum	131,8	25,9	15,8	561,0	28,4	1,0
Maksimum	189,1	59,6	33,7	1570,3	74,8	6,4
Współczynnik zmienności	0,10	0,18	0,18	0,18	0,24	0,70
Odchylenie standardowe	15,7	6,9	4,1	201,8	10,4	1,5
Percentyl 15%	139,6	31,7	18,4	957,8	35,4	1,1
Percentyl 85%	175,1	43,9	25,6	1306,9	48,2	3,7

Miedź jest pierwiastkiem niestanowiącym fitotoksycznego zagrożenia po wprowadzeniu do gleby. Na bioprzyswajalność miedzi ma wpływ odczyn gleby. Przy pH < 6,5 następuje wzmożona mobilność miedzi i u roślin pojawiają się objawy zatrucia [4]. Siuta [7] wskazuje na obecność miedzi w osadach ściekowych na poziomie od 0,3 do 1340 mg Cu/kg s.m., w tym dla osadów ściekowych z województwa podkarpackiego w przedziale 49-149 mg Cu/kg s.m.

Tabela 2. Dopuszczalne zawartości metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych przeznaczonych do wykorzystania według obowiązującego prawa, na podstawie [3]

Table 2. Permissible by the law concentration of heavy metals in sewage sludge for use, based on [3]

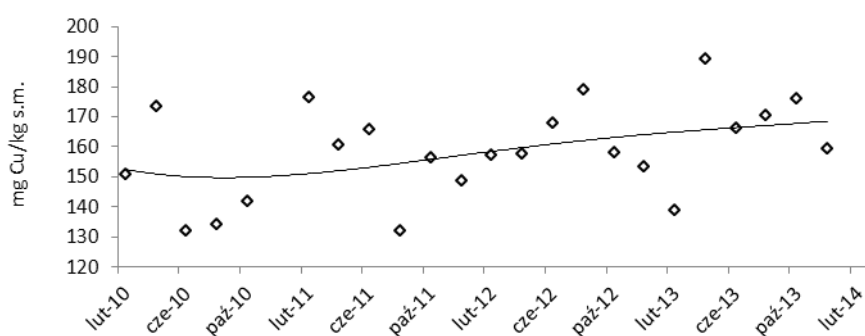
Metal ciężki	Zawartość metali ciężkich [mg/kg s.m.] nie większa niż przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych		
	w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne	do rekultywacji gruntów na cele nierolne	przy dostosowaniu gruntów do określonych potrzeb*
Kadm [mg Cd/kg s.m.]	20	25	50
Miedź [mg Cu/kg s.m.]	1000	1200	2000
Nikiel [mg Ni/kg s.m.]	300	400	500
Ołów [mg Pb/kg s.m.]	750	1000	1500
Cynk [mg Zn/kg s.m.]	2500	3500	5000
Chrom [mg Cr/kg s.m.]	500	1000	2500

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

Udział miedzi rzadko przekracza 200 mg Cu/kg s.m. [7]. W przypadku osadów ściekowych z przemyskiej oczyszczalni zawartość miedzi kształtowała się na poziomie 131,8-189,11 mg Cu /kg s.m. (rys. 1., tab. 1.). Wartości te są znacznie niższe od poziomu dopuszczalnego określonego w Rozporządzeniu Ministra Środowiska [3], zatem miedź nie jest pierwiastkiem ograniczającym wykorzystanie analizowanego osadu ściekowego w celach rolniczych. Osad ściekowy z oczyszczalni w Przemyśle posiada porównywalną zawartość miedzi do innych osadów z krajowych oczyszczalni, np. 130,8 mg Cu/kg s.m. [8], 90-136,2 mg Cu/kg s.m. [12] oraz 186,7 mg Cu/kg s.m. [9]. Zawartość metali ciężkich, w tym miedzi, w osadzie ściekowym jest uzależniona od wielkości oczyszczalni; im większa oczyszczalnia, tym większe stężenie metalu w osadzie ściekowym [10, 11]. Dla podobnych wielkościowo oczyszczalni ściekowych odnotowano wyniki w przedziale 130-190 mg Cu /kg s.m. W związku z tym można stwierdzić, że osad ściekowy w przemyskiej oczyszczalni nie odbiega od średnich krajowych.

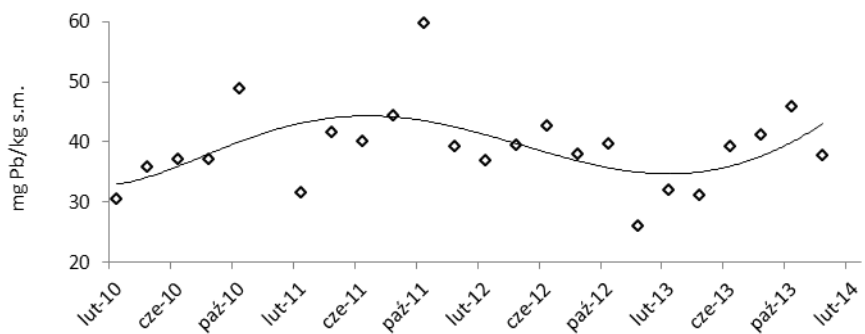
Jednym ze źródeł ołowiu w ściekach ogólnospłowych i w konsekwencji w osadzie ściekowym są zanieczyszczenia powietrza zbierane z dróg po opadach atmosferycznych w postaci spływów powierzchniowych do kanalizacji. Ołów ma wpływ na zaburzenia procesu fotosyntezy, podziałów komórkowych oraz zaburzenia gospodarki wodnej u roślin [4]. Zawartość ołowiu w osadach ściekowych jest bardzo zróżnicowana i waha się w granicach 3-372 mg Pb/kg s.m. [7]. W przypadku analizowanego osadu ściekowego zawartość ołowiu mieści się w granicach 25,9-59,6 mg Pb/kg s.m. (rys. 2., tab. 1.). W porównaniu z danymi z obiektów województwa podkarpackiego (33-120 mg Pb/kg s.m.) [7]

osad ściekowy z przemysłowej oczyszczalni charakteryzuje się stosunkowo niską zawartością ołowiu, potwierdza to również porównanie wyników z oczyszczalnią w Ostrowcu Świętokrzyskim (62,2 mg Pb/kg s.m.) [9] oraz innymi większymi obiektami w których notowano ołów na poziomie 320-35,5 mg Pb/kg s.m. [2, 8, 11, 15]. Zawartość ołowiu w osadach ściekowych w ciągu 4 lat pracy oczyszczalni w Przemyślu oscylowała na poziomie 38,9 mg Pb/kg s.m., co pozwala na ich wykorzystywanie w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne.



Rys. 1. Zawartości miedzi w osadzie ściekowym w latach 2010-2013

Fig. 1. The copper concentrations in the sewage sludge in years 2010-2013

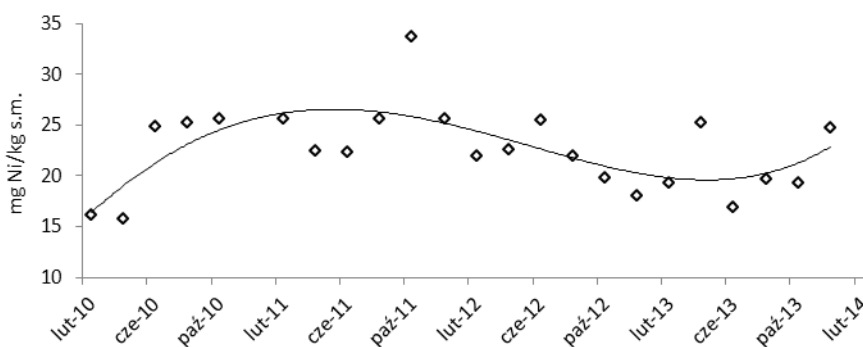


Rys. 2. Zawartości ołowiu w osadzie ściekowym w latach 2010-2013

Fig. 2. The lead concentrations in the sewage sludge in years 2010-2013

Zanieczyszczenie środowiska nikiem jest szczególnie niebezpieczne dla roślin [4]. Przystawalność tego pierwiastka wzrasta wraz z obniżeniem pH gleby. Nadmiar w organizmach roślinnych wpływa niekorzystnie na metabolizm, powoduje chlorozę liści oraz zahamowanie wzrostu korzenia roślin [4]. Zawartość niku w osadach ściekowych na terenie kraju waha się w granicach 2,2-358 mg Ni/kg s.m. Wraz ze wzrostem uprzemysłowienia terenów wzrastała

procentowa zawartość niklu, który trafiał do ścieków komunalnych. Na tych terenach notowano przekroczenie limitu dopuszczającego osady ściekowe do użytku rolnego (300 mg Ni/kg s.m.) [3]. W przypadku województwa podkarpackiego wyniki oscylowały w przedziałach 9,7-300 mg Ni/kg s.m. [7]. Zawartość niklu w osadzie ściekowym z oczyszczalni w Przemyślu wynosiła od 15,8 do 33,7 mg Ni/kg s.m. (rys. 3., tab. 1.). Jest to zakres niewiele niższy niż uzyskany w podobnych obiektach [9, 12].



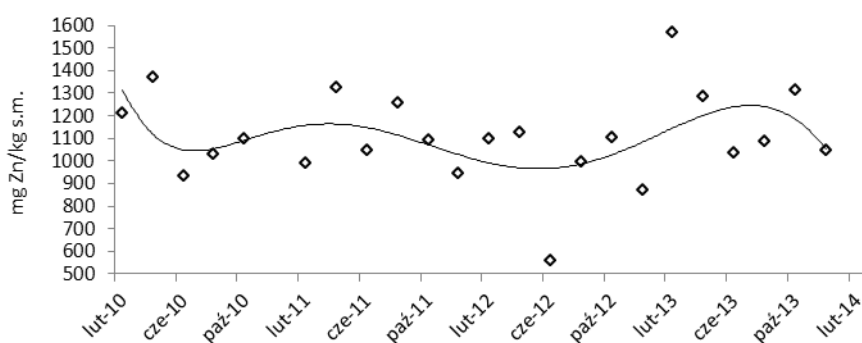
Rys. 3. Zawartość niklu w osadzie ściekowym w latach 2010-2013

Fig. 3. The nickel concentrations in the sewage sludge in years 2010-2013

Cynk jest pierwiastkiem niezbędnym do życia roślin, ale nadmierne jego koncentracje są niepożądane [4]. Zawartość tego pierwiastka w osadzie ściekowym oscyluje w granicach od 83 do 5124 mg Zn/kg s.m., przy czym najczęściej wynosi 1000-2000 mg Zn/kg s.m. [7]. Podkarpackie oczyszczalnie określają stężenie cynku w osadzie na poziomie od 530 do 3000 mg Zn/kg s.m. [7]. Ilość cynku w osadzie ściekowym z przemyskiej oczyszczalni wahała się od 561,0 do 1570,3 mg Zn/kg s.m. (rys. 4., tab. 1.), przy czym najczęściej osiągała wartości w okolicach średniej 1095 mg Zn/kg s.m. Wyniki jakościowej analizy osadu ze względu na zawartość Zn klasyfikują go jako użyteczny rolniczo. Porównanie zakresu stężeń Zn otrzymanych w osadach ściekowych oczyszczalni w Przemyślu do dostępnych w literaturze pozwala stwierdzić, że nie odbiega on znacznie od otrzymywanych na podobnych obiektach [8, 9, 12].

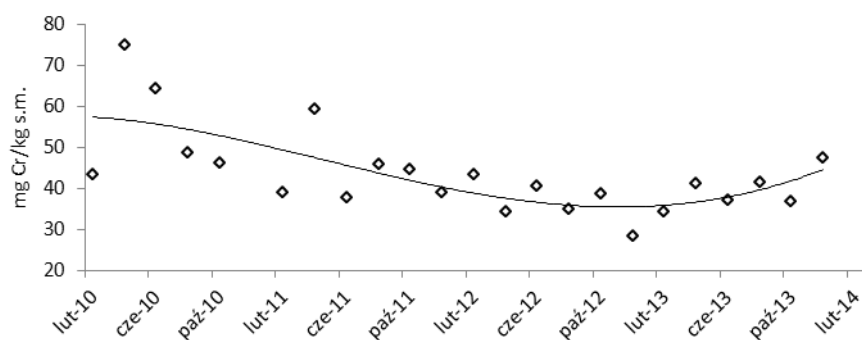
Umiarkowane dawki chromu wpływają stymulacyjnie na rozwój organizmów roślinnych. Rośliny w bardzo niewielkim stopniu kumulują ten pierwiastek [4]. Metal ten w postaci Cr(VI) ma jednak silne właściwości trujące, zaburza metabolizm i gospodarkę wodną roślin, powoduje chlorozę liści. Na terenie kraju odnotowuje się udział chromu w osadzie ściekowym na poziomie 5-1380 mg Cr/kg s.m., przy czym na terenie Podkarpacia na o wiele niższym poziomie, tj. 18-540 mg Cr/kg s.m. [7]. Od czerwca 2011 r. zawartość chromu w badanych osadach nie przekraczała 50 mg Cr/kg s.m. i pomimo niewielkich

wahań można ją uznać za stałą (rys. 5.). Wyniki analizy jakościowej kwalifikują osad jako użyteczny rolniczo ze względu na niski poziom chromu, czyli mniejszy niż 500 mg Cr/kg s.m. Zawartość chromu w osadach ściekowych z przemysłowej oczyszczalni jest zbliżona do wyników otrzymywanych w podobnych obiektach [9, 11, 12].



Rys. 4. Zawartości cynku w osadzie ściekowym w latach 2010-2013

Fig. 4. The zinc concentrations in the sewage sludge in years 2010-2013



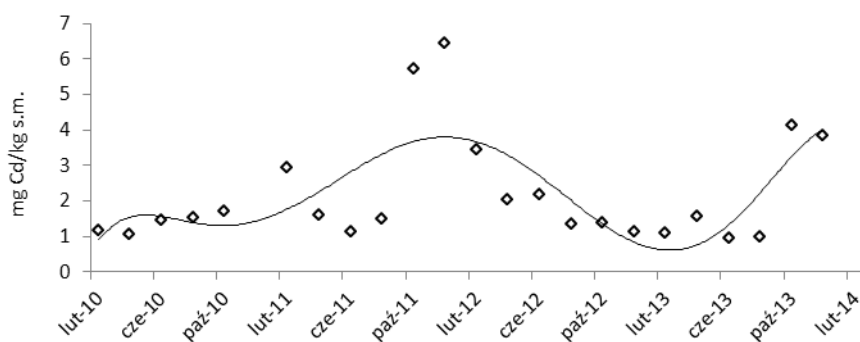
Rys. 5. Zawartości chromu w osadzie ściekowym w latach 2010-2013

Fig. 5. The chrome concentrations in the sewage sludge in years 2010-2013

Kadm bardzo łatwo przedostaje się do wód podziemnych i gruntowych, stanowi więc bardzo duże zagrożenie toksykologiczne [4]. Rośliny pobierają kadm proporcjonalnie do jego zawartości w glebie, magazynują go głównie w korzeniach i liściach. Już niewielki nadmiar tego pierwiastka powoduje chlorozę i brunatnienie liści [4]. W osadach ściekowych z terenu kraju stężenie kadmu zawiera się w przedziale od 0,3 do 83,8 mg Cd/s.m., przy czym jeśli brane są pod uwagę oczyszczalnie małe i średnie wyniki ograniczają się od 0,2 do 12,8 mg Cd/s.m. W osadach z oczyszczalni województwa podkarpackiego stężenie kadmu waha się w granicach 0,79-8,60 mg Cd/s.m. [7]. Poziom Cd w osadzie



ściekowym z oczyszczalni w Przemysłu jest niski, często osiąga wartości poniżej 2 mg Cd/kg s.m., jednakże są zauważalne wzrosty stężenia tego metalu pod koniec 2011 i 2013 r. (rys. 6., tab. 1.). Konieczne do wyjaśnienia tego zjawiska jest wykonanie szczegółowych badań pozwalających wyjaśnić cykliczne zmiany występujące w podanym okresie. Wyniki te jednak nie przekraczają limitu, który dla kadmu wynosi 20 mg Cd/s.m.



Rys. 6. Zawartości kadmu w osadzie ściekowym w latach 2010-2013

Fig. 6. The cadmium concentrations in the sewage sludge in years 2010-2013

Analiza zawartości metali ciężkich w osadach ściekowych z oczyszczalni ścieków w Przemysłu wykazała, że w latach 2010-2013 żaden z metali ciężkich nie przekroczył dopuszczalnych stężeń umożliwiających ich wykorzystywanie w celach rolniczych, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska [3]. Nie odnotowano sezonowej zmienności poziomu poszczególnych metali ciężkich. Średnia roczna zawartość metali ciężkich w rozpatrywanym okresie utrzymywała się na zbliżonym poziomie (tab. 3.).

Tabela 3. Średnia zawartość metali ciężkich w osadzie ściekowym w poszczególnych latach

Table 3. The average heavy metals contents in the sewage sludge in different years

Metal ciężki	2010	2011	2012	2013
Miedź [mg Cu/kg s.m.]	146,3	156,7	162,1	166,6
Ołów [mg Pb/kg s.m.]	37,9	42,8	37,1	37,8
Nikiel [mg Ni/kg s.m.]	21,5	25,9	21,6	20,8
Cynk [mg Zn/kg s.m.]	1127,6	1111,1	960,3	1223,3
Chrom [mg Cr/kg s.m.]	55,5	44,3	36,6	39,7
Kadm [mg Cd/kg s.m.]	1,4	3,2	1,9	2,1

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzona analiza jakościowa osadów ściekowych z oczyszczalni ścieków w Przemysłu wykazała, że w latach 2010-2013 ich zawartość nie przekraczała określonego w Rozporządzeniu Ministra Środowiska dopuszczalnego poziomu w aspekcie wykorzystywania w celach rolniczych. Porównanie średnich zawartości poszczególnych metali ciężkich w osadzie ściekowym z wynikami badań osadów pochodzących z innych rejonów Polski wypada na korzyść oczyszczalni w Przemysłu, w której analizowane osady posiadają zdecydowanie mniejszą zawartość metali ciężkich.

Wyniki przeprowadzonej oceny wskazują kierunki przyszłych badań, które powinny objąć ocenę poziomu stężeń metali ciężkich w kanalizacji ogólnospławnej miasta Przemysłu, zbilansowanie ładunków wprowadzanych w ściekach surowych na oczyszczalnię i ich wpływu na biocenozę osadu czynnego. Równie ważne są analiza specjacyjna i frakcjonowanie osadów ściekowych planowanych do wykorzystania w rolnictwie. Sumaryczna zawartość metali ciężkich w badanych osadach nie pozwoliła określić ich biodostępności i wiążącej się z nią ekotoksyczności. Analiza specjacyjna metali ciężkich może pozwolić na określenie innych potencjalnych kierunków rolniczego wykorzystania osadów ściekowych, np. nawożenia gruntów pod zalesianie, terenów ogrodniczych i sadowniczych. W okolicach przemyskiej oczyszczalni występuje wiele terenów m.in. sady, ogrody botaniczne, szkółki leśne, na których można byłoby wykorzystać osady ściekowe zawierające znacznie niższe stężenia metali ciężkich, niż odnotowane w osadach z innych obiektów komunalnych w Polsce.

#### Literatura

- [1] Podedworna J., Umiejewska K.: *Technologia osadów ściekowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
- [2] Gawdzik J.: Specjacja metali ciężkich w osadzie ściekowym na przykładzie wybranej oczyszczalni komunalnej. *Ochrona Środowiska*, t. 32, nr 4, 2010, s. 15-19.
- [3] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz. U. z 2010 r. Nr 137, poz. 924.).
- [4] Wilk M., Gworek B.: Metale ciężkie w osadach ściekowych. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, nr 39, 2009, s. 40-59.
- [5] Materiały informacyjne udostępnione przez Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Przemysłu z lat 2010-2013.
- [6] Masłoń A., Łuczyszyn J.: Analiza pracy oczyszczalni ścieków w Przemysłu po modernizacji i rozbudowie obiektu. *Forum Eksploatatora*, nr 5, 2011, s. 68-72.
- [7] Siuta J.: Uwarunkowania i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych. *Inżynieria Ekologiczna*, nr 9, 2003, s.7-42.
- [8] Maćkowiak C., Igras J.: Skład chemiczny osadów ściekowych i odpadów przemysłu spożywczego o znaczeniu nawozowym. *Inżynieria Ekologiczna*, nr 10, 2005, s. 70-77.

- [9] Gawdzik J.: Mobilność metali ciężkich w osadach ściekowych na przykładzie wybranej oczyszczalni. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, t. 15, nr 1, 2012, s. 5-15.
- [10] Gawdzik J., Latosińska J.: Analiza mobilności metali ciężkich w wybranych osadach ściekowych z oczyszczalni ścieków o różnej przepustowości. *Proc. of ECOpole*, nr 6 (1), 2012, s. 319-324.
- [11] Nowak M., Kacprzak M., Grobelak A.: Osady ściekowe jako substytut glebowy w procesach remediacji i rekultywacji terenów skażonych metalami ciężkimi. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, t. 13, nr 2, 2010, s. 121-131.
- [12] Gondek K.: Zawartość różnych form metali w osadach ściekowych i kompostach. *Acta Agrophysica*, nr 8 (4), 2008, s. 825-838.

## **ASSESSMENT OF HEAVY METALS IN THE SEWAGE SLUDGE FROM THE PRZEMYŚL WWTP IN THE ASPECT OF ITS USE IN AGRICULTURE**

### **S u m m a r y**

The paper presents the results of the concentration of heavy metals (copper, lead, nickel, zinc, chromium, cadmium) in the sludge from the WWTP in Przemyśl. Analysis of the results was carried out under the the possibilities of their use for agricultural purposes. Metal concentrations were compared with the maximum values set by applicable laws and with those obtained for sewage sludge from other WWTP. It has been shown that sludge obtained treatment in Przemyśl, not in any case exceed the permissible concentrations of heavy metals defined in terms of their use for agricultural purposes. He metal content in the dry matter of sewage sludge from the treatment of Przemyśl was characterized by lower values than similar objects from the area of the country, and how well, compared with the average Podkarpackie. There was no seasonal variation in the individual heavy metals. The annual average content of heavy metals during the relevant period was maintained at a similar level. As presented, the total concentration of heavy metals indicate only the degree of pollution of the environment, to fully assess their impact on the soil (mobility, bioavailability and ecotoxicity) proposes an analysis of speciation and fractionation. Following the interpretation of the results of the assessment indicated directions for future research, which should include an assessment of the level of concentration of heavy metals in the sewage system of the city of Przemyśl, balancing cargoes in raw wastewater to the treatment plant and their impact on the biocenosis of activated sludge.

**Keywords:** sewage sludge, heavy metals, qualitative analysis of sewage sludge

*Przesłano do redakcji: 02.03.2014 r.*

*Przyjęto do druku: 2.06.2014 r.*

DOI:10.7862/rb.2014.4