

**Ewa Ilba**

Państwowa Wyższa Szkoła Wschodnioeuropejska w Przemyślu

**Janusz A. Tomaszek**

**Adam Masłoń**

Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

## **MOŻLIWOŚCI ROLNICZEGO WYKORZYSTANIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH Z WYBRANYCH OCZYSZCZALNI WOJEWÓDZTWA PODKARPACKIEGO**

### **Streszczenie**

W ostatnich latach wymogi dotyczące jakości ścieków odprowadzanych do środowiska uległy znacznemu zaostrzeniu, co spowodowało znaczny wzrost ilości osadów ściekowych powstałych w procesie oczyszczania ścieków. Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych reguluje ustawa o odpadach oraz inne akty prawne, które określają sposób powstawania, przeróbki oraz skali zagrożenia dla środowiska naturalnego. Dodatkowo ograniczenia możliwości składowania osadów ściekowych sprawiają, że gospodarka komunalnymi osadami ściekowymi stała się poważnym problemem. Dla małych i średnich oczyszczalni, dla których obowiązujące przepisy są bardzo kłopotliwe, zalecane jest rolnicze wykorzystanie osadów ściekowych, aczkolwiek tylko niewielki procent osadów jest w ten sposób zagospodarowywany.

W opracowaniu zaprezentowano problematykę rolniczego wykorzystania osadów ściekowych pochodzących z wybranych oczyszczalni województwa podkarpackiego. Biorąc pod uwagę właściwości fizyko-chemiczne i mikrobiologiczne, rozważono rozwiązanie problemu poprzez zastosowanie osadów ściekowych dla celów rolniczych lub rekultywacyjnych. W pracy zestawiono wyniki analiz osadów ściekowych z badanych oczyszczalni oraz przedstawiono korzyści wynikające ze stosowania osadów ściekowych na gruntach rolnych, ogrodach sadowniczych oraz w celach rekultywacyjnych.

**Słowa kluczowe:** osad ściekowy, metale ciężkie, nawożenie

## **POSSIBILITIES OF AGRICULTURAL USE OF SEWAGE SLUDGE FROM SELECTED TREATMENT PODKARPACKIE PROVINCE**

In recent years, the requirements for the quality of wastewater discharged into the environment have tightened significantly as lean to a substantial increase in the amount of sludge produced during wastewater treatment. Management of municipal sewage sludge subject to the Law on Waste and other legal acts that define the way of creation, processing and scale of the threat to the environment. In addition, reducing the possibility of sewage sludge disposal, make the economy of municipal sewage sludge has become a serious problem. For small and

medium-treatment plant, for which the current provisions are very troublesome, it is recommended that agricultural use of sewage sludge, although only a small percentage of deposits is managed in this way.

The paper presents the problem of land application of sewage sludge from sewage selected Podkarpackie Province. Given the physico-chemical and microbiological considered solution to the problem through the use of sewage sludge for agricultural purposes or reclamation. This paper summarizes the results of analyzes of sewage sludge from wastewater analyzed and presented the benefits of the use of sewage sludge on agricultural land, gardens, orchards and reclamation purposes.

**Keywords:** sludge, heavy metals, fertilization

## 1. Wprowadzenie

Wzrost masy generowanych osadów ściekowych obserwowany przez ostatnie lata oraz ograniczenia w ich składowaniu po 1 stycznia 2013 r. sprawia, że zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych stało się ważnym problemem ekologicznym. Szacuje się, że w Polsce corocznie powstaje blisko 1 mln ton osadów ściekowych, które stanowią 1÷3% objętości oczyszczanych ścieków i zawierają ponad połowę całego ładunku zanieczyszczeń dopływających do oczyszczalni w ściekach surowych. Wobec tego osady ściekowe stanowią istotny problem w gospodarce ściekowej. Głównym i najbardziej pożądanym kierunkiem zagospodarowania osadów ściekowych, przede wszystkim z małych i średnich oczyszczalni ścieków, jest wykorzystanie ich w tzw. kierunku przyrodniczym. Jednakże ilość osadów wykorzystywanych w tej dziedzinie w Polsce jest niewielka, w porównaniu z innymi krajami Unii Europejskiej<sup>1</sup>.

Problem składowania osadów ściekowych jest najbardziej dotkliwy w przypadku małych i średnich oczyszczalni. Koszt unieszkodliwiania i składowania osadu na terenie oczyszczalni jest stosunkowo wysoki w porównaniu do ogólnych kosztów funkcjonowania obiektu.

Gospodarowanie osadami w oczyszczalniach ścieków na dzień dzisiejszy obejmuje przeróbkę otrzymywanych osadów, ich właściwe zagospodarowanie lub utylizację. Zagospodarowanie na cele przyrodnicze jest najprostszym i najtańszym rozwiązaniem. Jedynymi czynnikami ograniczającymi takie postępowanie są przekroczenia limitów zawartości metali ciężkich w osadach ściekowych oraz występowanie organizmów pasożytniczych i chorobotwórczych<sup>2</sup>.

W wielu przypadkach osad ściekowy uzyskiwany w małych i średnich oczyszczalniach jest zasobny w materię organiczną, mikro- i makroelementy oraz znaczną florę glebotwórczą. Takie właściwości osadów ściekowych przemawiają o zasadności wykorzystania ich jako składnika nawozowego w celach rolniczych.

Celem opracowania jest analiza jakościowa osadów ściekowych pochodzących z wybranych oczyszczalni ścieków z województwa podkarpackiego, w aspekcie ich rolniczego wykorzystania, również w odniesieniu do terenów, takich jak Pogórze Dynowskie.

<sup>1</sup> J. Bień, *Osady ściekowe. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.

<sup>2</sup> A. Korzekwa-Wojtał, L. Wolny, T. Kamizela, *Gospodarka osadowa w wybranych oczyszczalniach ścieków typu SBR*, IV Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Postęp w Inżynierii Środowiska”, Bystre, 21–23 września 2006 r., Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006, s. 197–204.

## 2. Uwarunkowania zagospodarowania osadów ściekowych

Osady ściekowe to organiczno-mineralna materia wydzielona ze ścieków w procesie ich oczyszczania. Ich ilość wzrasta w zależności od efektywności procesu technologicznego oczyszczania ścieków oraz rozbudowy sieci kanalizacyjnej. Biorąc pod uwagę właściwości fizyko-chemiczne osadów oraz zagrożenia, jakie mogą stwarzać dla zdrowia ludzi oraz środowiska naturalnego, muszą być poddawane odpowiedniej przeróbce, a następnie unieszkodliwianiu<sup>3,4</sup>.

Do niedawna końcowym etapem przeróbki osadów ściekowych w oczyszczalniach było ich mechaniczne odwadnianie, a następnie składowanie. Obecnie aspekty prawne, praktyczne oraz ekologiczne determinują taki sposób ich unieszkodliwiania, by mogły powrócić do środowiska naturalnego. W małych i średnich oczyszczalniach jest to możliwe ze względu na odpowiednie właściwości fizyko-chemiczne osadów ściekowych. Higienizację odwodnionych osadów zapewnia mieszanie ich z tlenkiem wapna, w trakcie którego następuje również zmniejszenie się zawartości występujących w osadzie metali ciężkich.

Do rolniczego wykorzystania przydatne stają się komunalne osady ściekowe, w których zawartość metali ciężkich, obecność pasożytów oraz bakterii z rodzaju *Salmonella* nie przekraczają norm ustalonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (tab. 1). Dodatkowo wartość odczynu gleby, na której mają być stosowane, jest wyższa niż pH 5,6. Stosowanie osadów nie może pogarszać jakości gleby, jakości wód oraz powodować zagrożenia dla zdrowia ludzi<sup>5</sup>.

Właściwości osadu ściekowego i jego wpływ na środowisko naturalne silnie uzależnione są od metod zastosowanych w procesie stabilizacji oraz higienizacji osadu. Jedną z najpopularniejszych metod przeróbki osadu polega na wymieszaniu odwodnionych osadów ściekowych z tlenkiem wapna w ilości od 0,15 do 0,25 kg tlenku wapna na 1 kg suchej masy osadów. Kończącym produktem przemian jest odpad o zróżnicowanej konsystencji, uzależnionej od skuteczności procesu technologicznego oczyszczania ścieków. W dobrze pracujących oczyszczalniach powstaje osad, który łatwo się odwadnia i bardziej równomiernie miesza z tlenkiem wapna. W trakcie magazynowania wydziela się odór. Istotny jest również stopień uwodnienia osadów. Większy, utrudnia przyjmowanie osadu i sprawia, że zajmuje on znacznie więcej miejsca na ograniczonej powierzchni składowania w oczyszczalni ścieków. Istotną rolę odgrywają tu również koszty transportu i zabiegów agrotechnicznych, duże w przypadku większego uwodnienia osadów<sup>6,7</sup>.

<sup>3</sup> J. Bień, E. Neczaj, M. Worwag, A. Grosser, D. Nowak, M. Milczarek, M. Janik, *Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, t. 14, nr 4, Częstochowa 2011, s. 375-384.

<sup>4</sup> W. Niemiec, M. Zdeb, *Nawożenie plantacji roślin energetycznych osadami ściekowymi w postaci stałej – zagrożenia i nowe rozwiązania*, Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury, t. XXXI, z. 61 (1/14), Rzeszów 2014, s. 163-172.

<sup>5</sup> Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. z 2010 r. Nr 137, poz. 924).

<sup>6</sup> J. Siuta, *Uwarunkowania i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych*, Inżynieria Ekologiczna nr 9, Warszawa 2003, s.7-42.

Tab. 1. Dopuszczalne zawartości metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych przeznaczonych do wykorzystania według obowiązującego prawa

Metal ciężki	Zawartość metali ciężkich w 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
Rtęć [mg Hg/kg s.m.]	16	20	25
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

Źródło: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. z 2010 r. Nr 137, poz. 924)

Osady w postaci mazistej trudno mieszają się z glebą, przez co dawka osadów wniesiona na pole jest nierównomierna. W miejscach nienawożonych rośliny niżej plonują. Uzdadniony w procesie higienizacji tlenkiem wapna osad nadaje się do przyrodniczego zagospodarowania. Zatem poszukuje się gleb, na których można z odpowiednią częstotliwością stosować dawki osadów bezpieczne dla środowiska naturalnego i zgodne z przepisami prawnymi<sup>8,9</sup>. Warunkiem stosowania osadów ściekowych jako nawozu jest nie tylko jego odpowiedni skład, ale również agrotechnika prawidłowego wprowadzania do gruntu<sup>10,11</sup>.

Do największych trudności w przyrodniczym wykorzystaniu wapnowanych osadów ściekowych należą:

- ♦ znalezienie użytków rolnych o odpowiednio dużej powierzchni,
- ♦ niechęć władających gruntami do przyjmowania i zagospodarowania tak przygotowanych osadów ściekowych.

Odwodnione, zwapnowane osady ściekowe posiadają wysokie walory nawozowe. Wprowadzone do środowiska glebowego poprawiają jego próchniczność. W glebach rejonu podkarpackiego o niskiej zawartości azotu i fosforu korzystnie podnoszą zawartość makroelementów. Dla roślin uprawianych na nawożonych glebach są cennym źródłem składników pokarmowych potrzebnych do ich wzrostu i rozwoju.

Warunkiem stosowania ustabilizowanych osadów do celów przyrodniczych jest poddanie ich badaniom w zakresie zawartości w suchej masie osadów: makroelementów, mikroelementów, metali ciężkich oraz obecności organizmów chorobotwórczych.

<sup>7</sup> J. Długosz, J. Gawdzik, *Zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych kondycjonowanych CaO*, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, vol. 16, Gliwice 2014, s. 49–56.

<sup>8</sup> Ustawa z 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. z 2013 r. Nr 0, poz. 21).

<sup>9</sup> Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. z 2010 r. Nr 137, poz. 924).

<sup>10</sup> W. Niemiec, M. Zdeb, *Nawożenie plantacji roślin energetycznych osadami ściekowymi...*, op. cit., s. 163–172.

<sup>11</sup> F. Stachowicz, W. Niemiec, T. Trzpieciński, W. Ślenzak, *Innowacyjne urządzenia do aplikacji dogłębowej osadów ściekowych*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, nr 576, Warszawa 2014, s. 131–139.

Badaniu należy poddać również glebę, na której zwapnowane osady ściekowe będą stosowane.

W świetle obowiązujących przepisów pod pojęciem przyrodniczego wykorzystania brane są pod uwagę następujące cele:

- ♦ rekultywacji obszarów o zniszczonej pokrywie glebowej, w tym na cele rolne,
- ♦ melioracyjnego użytkowania gleb słabej jakości,
- ♦ rekultywacji biologicznej gleb zdegradowanych chemicznie oraz przez niewłaściwe użytkowanie,
- ♦ uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu,
- ♦ uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i do produkcji pasz.

Rolnicze programy wykorzystania osadów ściekowych wymagają spełnienia określonych warunków. Jednym z nich jest obliczenie nawozowej dawki osadów ściekowych na jednostkę powierzchni. Wartość ta limitowana jest przez:

- ♦ zapotrzebowanie roślin na składniki pokarmowe,
- ♦ zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych,
- ♦ zawartość metali ciężkich w glebie,
- ♦ stan sanitarny osadów ściekowych.

Przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych na gruntach, dawkę osadu ustala się oddzielnie dla każdej zbadanej objętości komunalnego osadu ściekowego, na podstawie wyników badań reprezentatywnych próbek pobranych do analizy. Wyniki badań konfrontowane są z aktualnym stanem gruntu, którego monitoringiem zajmuje się dostawca osadu ściekowego. Na podstawie wyżej wymienionych badań ustalana jest dawka osadu ściekowego w przeliczeniu suchej masy na jednostkę powierzchni. Dopuszczalna dawka osadu ściekowego uzależniona jest od rodzaju gruntu, sposobu jego użytkowania, jakości komunalnego osadu ściekowego i gleby oraz zapotrzebowania roślin na fosfor i azot.

Przy ustalaniu dopuszczalnej dawki komunalnego osadu ściekowego wykorzystywanego na cele rolnicze oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne uwzględnia się zasady dobrej praktyki rolniczej, stosowane na danym gruncie nawozy oraz środki ochrony roślin.

O wartości nawozowej decyduje zawartość głównych składników pokarmowych dla roślin (N, K, P, Mg, Ca) oraz mikroelementów. Zawartość azotu w osadzie ściekowym zależy w dużej mierze od sposobu i stopnia stabilizacji. W osadach surowych nadmierny azot stanowi zwykle 4–8% s.m., a w surowych wstępnych nawet powyżej 8% s.m. W osadach stabilizowanych fermentacją metanową ilość azotu jest mniejsza i wynosi zwykle 2,5–4% s.m. Komunalne osady ściekowe charakteryzują się wysoką zawartością fosforu. Ilość fosforu w przeliczeniu na tlenek waha się najczęściej w granicach 2–8% s.m., a niekiedy dochodzi do kilkunastu procent<sup>12,13</sup>.

<sup>12</sup> M. Nowak, M. Kacprzak, A. Grobelak, *Osady ściekowe jako substytut glebowy w procesach remediacji i rekultywacji terenów skażonych metalami ciężkimi*, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, t. 13, nr 2, Częstochowa 2010, s. 121–131.

<sup>13</sup> E. Stańczyk-Mazanek, M. Piątek, U. Kępa, *Wpływ następczy osadów ściekowych stosowanych na glebach piaszczystych na właściwości kompostu sorpcyjnego*, *Rocznik Ochrona Środowiska*, t. 15, Koszalin 2013, s. 2437–2451.

Obszar Pogórza Dynowskiego charakteryzuje się dużymi kompleksami rolnymi i leśnymi. Znaczna część terenu tego mezoregionu objęta jest różnymi formami ochrony środowiska, do których zaliczane są parki krajobrazowe, obszary chronionego krajobrazu, rezerваты przyrody, a także część Pogórza zaliczana jest do Europejskiej Sieci Ekologicznej NATURA 2000. Na terenie Pogórza znajduje się wiele niewielkich oczyszczalni ścieków, do których doprowadzane są przeważnie ścieki z gospodarstw domowych lub małych zakładów przemysłowych. Pozwala to stwierdzić, że osad ściekowy otrzymywany w takich oczyszczalniach charakteryzuje się niską zawartością metali ciężkich. Zastosowanie osadu pochodzącego z tych obiektów na terenach zdegradowanych oraz ubogich w składniki mineralne znacznie może poprawiać jakość gleby. Mimo dużej atrakcyjności turystycznej i znaczących walorów przyrodniczych Pogórza Dynowskiego możliwe jest na jego obszarze zakładanie plantacji roślin przemysłowych, np. energetycznych, na których może być stosowany osad ściekowy do nawożenia.

### **3. Nawozowe właściwości osadów ściekowych z wybranych podkarpackich oczyszczalni ścieków**

Materiał badawczy stanowił osad ściekowy pochodzący z komunalnych oczyszczalni ścieków, nazwanych A, B, C, D, E, F, G, zlokalizowanych w województwie podkarpackim w powiatach: łańcuckim, rzeszowskim, strzyżowskim oraz przemyskim. Zebrane wyniki odnoszą się do osadów ściekowych analizowanych w latach 2010–2013. Wybrane obiekty komunalne charakteryzują się wielkością wyrażoną równoważną liczbą mieszkańców na poziomie od 900 do 6000 RLM. Oczyszczanie ścieków w przedmiotowych obiektach polega na zastosowaniu mechanicznego oczyszczania (krata, piaskownik, osadnik) oraz technologii niskoobciążonego osadu czynnego w układach przepływowych. Przeróbka osadu ściekowego z kolei opiera się na stabilizacji tlenowej, odwadnianiu (prasa filtracyjna lub wirówki) i higienizacji wapnem.

Charakterystyka osadów ściekowych z wybranych obiektów pod względem zawartości składników pokarmowych wykazuje, że osady charakteryzują się pewnym zróżnicowaniem (tab. 2). Dla porównania zawartość poszczególnych składników nawozowych obornika wynosi: 1,2% ( $P_{og}$ ), 2,0 ( $N_{og}$ ), 2,0% (Ca), 0,8% (Mg), oraz 88% – substancja organiczna<sup>14</sup>. W przypadku zawartości fosforu, azotu ogólnego i magnezu nie odbiegają znacznie od wartości charakterystycznych dla obornika.

---

<sup>14</sup> A. Korzekwa-Wojtal, L. Wolny, T. Kamizela, *Gospodarka osadowa w wybranych...*, op. cit., s. 197–204.

Tab. 2. Zawartość składników pokarmowych oraz substancji organicznej w osadzie ściekowym w analizowanych oczyszczalniach

Oczyszczalnia	SKŁADNIK [%]					
	Fosfor ogólny	Azot ogólny	Azot amonowy	Wapń	Magnez	Substancja organiczna
A	0,26	1,0	0,1	43,8	0,22	46,1
B	3,75	6,6	2,55	6,95	3,35	56,1
C	4,1	0,53	0,08	5,1	0,9	63
D	1,6	2,3	0,19	3,87	0,26	22,68
E	6,56	3,3	0,32	10,13	0,47	52,2
F	3,17	4,78	0,28	13,7	0,96	32,97
G	0,95	1,45	0,18	0,85	0,85	41,6

Źródło: Opracowanie własne na podstawie udostępnionych wyników

Zawartość substancji organicznej w osadach ściekowych jest stosunkowo niska, w porównaniu z obornikiem, jednakże dokładna interpretacja powinna uwzględnić fakt, że w osadach ściekowych stosunek wagowy wapna do substancji organicznej często przekracza proporcję 1:5. Za taki stan odpowiada często stosowanie tlenu wapna w procesie higienizacji w znacznym nadmiarze. Analiza przedstawionych wyników pozwala stwierdzić, iż osady ściekowe z wybranych podkarpackich oczyszczalni charakteryzują się zawartością podstawowych składników pokarmowych zbliżoną do nawozów naturalnych.

Właściwości glebotwórcze analizowanych osadów są znaczne, a wynikają one z obecności w osadach dużej ilości substancji organicznych, stanowiących bogate środowisko dla działalności mikroorganizmów oraz substancji podatnych na tworzenie humusu. Wśród bardzo bogatej w osadach mikroflory są obecne również gatunki typowo glebowe pochodzące ze spływów powierzchniowych. Osady te są w stanie poprawić warunki glebowe wierzchnich warstw gruntu, powodując rozwój życia biologicznego oraz przyczyniając się do stabilizacji gruntów bezglebowych<sup>15,16</sup>.

Dodatkowo należy podkreślić, że w żadnym z osadów ściekowych nie stwierdzono obecności organizmów pasożytniczych i chorobotwórczych, co pozwala je zakwalifikować jako potencjalny materiał nawozowy lub glebotwórczy przeznaczony na jedne z wymienionych wcześniej celów przyrodniczych.

Kolejnym kryterium ograniczającym ilość użytego osadu ściekowego w celach przyrodniczych są maksymalne całkowite dawki osadu określone przez Rozporządzenie Ministra Środowiska, które wynoszą odpowiednio:

- ♦ 3 tony s.m./ha/rok – w przypadku gruntów rolnych oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne,

<sup>15</sup> C. Maćkowiak, J. Igras, *Skład chemiczny osadów ściekowych i odpadów przemysłu spożywczego o znaczeniu nawozowym*, Inżynieria Ekologiczna, nr 10, Lublin 2005.

<sup>16</sup> Z. Mazur, G. Markiewicz, P. Krajewski, W. Klaus, *Agrochemiczna wartość osadów ściekowych z oczyszczalni ścieków w Olecku*, IV Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Postęp w Inżynierii Środowiska”, Bystre, 21–23 września 2006 r., Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006.

- ♦ 15 ton s.m./ha/rok – do rekultywacji terenów na cele nierolne, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu lub upraw roślin nie konsumpcyjnych.

Istotnym czynnikiem ograniczającym lub całkowicie eliminującym stosowanie osadu ściekowego na cele rolne jest zawartość metali ciężkich w suchej masie osadu. Na podstawie zawartości metali ciężkich określa się dopuszczalną dawkę komunalnego osadu ściekowego w taki sposób, aby jej zastosowanie na danym gruncie nie spowodowało przekroczenia w wierzchniej warstwie gruntu (0–25 cm) wartości dopuszczalnych ilości metali ciężkich określonych przez rozporządzenie<sup>17</sup> (tab. 3).

Tab. 3. Zawartość metali ciężkich w analizowanych oczyszczalniach

Oczyszczalnia	Średnia zawartość metali ciężkich [mg/kg s.m.]						
	Miedź	Cynk	Chrom	Kadm	Nikiel	Rtęć	Ołów
A	54,8	181,0	26,90	7,20	14,70	0,06	5,76
B	56,0	289,0	14,45	0,50	10,45	0,45	10,35
C	210,0	4300,0	80,00	5,40	26,00	0,10	53,00
D	76,3	776,3	36,30	1,67	17,60	0,15	62,70
E	105,5	735,0	16,70	0,84	8,15	0,90	14,65
F	65,3	513,6	23,90	0,68	15,86	0,26	18,67
G	66,6	765,0	27,30	1,92	27,20	0,43	40,50

Źródło: Opracowanie własne na podstawie udostępnionych wyników

Analiza wyników zawartości metali ciężkich w suchej masie osadu, przedstawiona w tabeli 3, pozwala wykluczyć w przyrodniczym stosowaniu osad pochodzący z oczyszczalni C, ponieważ zawartość cynku została znacznie przekroczona i pomimo niskiego udziału pozostałych metali ciężkich w masie całkowitej przekroczony limit nie pozwala zastosować osadu do celów przyrodniczych.

Miedź jest ważnym składnikiem pokarmowym dla roślin, jej niedobór uniemożliwia normalny rozwój, lecz jej nadmiar może prowadzić do zahamowania fotosyntezy<sup>18</sup>. Zawartość miedzi w analizowanych osadach ściekowych nie przekracza 25% dopuszczalnego limitu, najczęściej był to udział od 54,8 do 210,0 mg Cu/kg s.m. osadu. Jest to stosunkowo niewielka zawartość tego pierwiastka, w porównaniu z dopuszczalnym limitem określonego przez rozporządzenie, wynoszącego 1000 mg Cu/kg s.m. Siuta<sup>19</sup> 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 od 49 do 149 mg Cu/kg s.m. Dane literaturowe pozwalają stwierdzić, że zawartość miedzi w osadach ściekowych z analizowanych oczyszczalni zawiera się w normie, należy podkreślić jednak, że jest to dolna granica otrzymywanych wyników.

<sup>17</sup> Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. z 2010 r. Nr 137, poz. 924).

<sup>18</sup> A. Kabata-Pendias, A.B. Mukherjee, *Trace elements from soil to human*, Springer. Verl., Berlin-Heidelberg 2007, s. 550.

<sup>19</sup> J. Siuta J., *Uwarunkowania i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych...*, op. cit., s. 7–42.



Cynk jest pierwiastkiem niezbędnym dla życia roślin, ale nadmierne jego koncentracje są niepożądane<sup>20</sup>. Zawartość tego pierwiastka w osadzie ściekowym oscyluje w granicach od 83 do 5124 mg Zn/kg s.m., przy czym najczęściej wynosi od 1000 do 2000 mg Zn/kg s.m. Podkarpackie oczyszczalnie określają stężenie cynku w osadzie na poziomie od 530 do 3000 mg Zn/kg s.m.<sup>21</sup> W analizowanych oczyszczalniach zawartość cynku zawierała się w granicach od 181,0 do 4300 mg Zn/kg s.m, przy odrzuceniu wyników z oczyszczalni oznaczonej jako C, zakres ten zmniejsza się do wartości od 181,0 do 776,3 mg Zn/kg s.m. Przedstawione dane pozwalają zaliczyć osad ściekowy z oczyszczalni A, B, D, E, F i G jako osad nadający się do rolniczego wykorzystania o zawartości cynku niższej niż średnia krajowa i województwa. W przypadku oczyszczalni C przekroczenie zawartości cynku o 1800 mg Zn/kg s.m. (ustawodawca dopuszcza stężenie 2500 mg Zn/kg s.m.) powoduje niedopuszczenie osadu do wykorzystania na cele przyrodnicze, osad należy odpowiednio zutylizować.

Umiarkowane dawki chromu wpływają stymulacyjnie na rozwój organizmów roślinnych. Rośliny w bardzo niewielkim stopniu kumulują ten pierwiastek. 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 od 5 do 1380 mg Cr/kg s.m., przy czym na terenie regionu podkarpackiego na o wiele niższym poziomie, tj. od 18 do 540 mg Cr/kg s.m.<sup>22</sup> Pod względem zanieczyszczenia chromem osady ściekowe z analizowanych oczyszczalni zawierają się w dolnym zakresie zarówno w przypadku średniej krajowej, jak i średniej dla województwa podkarpackiego, zakres ten wynosi od 14,45 do 80,0 mg Cr/kg s.m. Zawartość ta jest znacznie niższa niż dopuszcza ustawodawca, czyli 500 mg Cr/kg s.m., co pozwala zastosować osad na cele przyrodnicze.

Kadm przedostaje się do wód podziemnych i gruntowych, stanowi on w związku z tym bardzo duże zagrożenie toksykologiczne. 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<sup>23</sup>. W osadach ściekowych z terenu kraju stężenie kadmu zawiera się w przedziale 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.<sup>24</sup> Analizowane osady ściekowe w przypadku kadmu nie odbiegają od średnich dla podkarpacia i kraju i zawarte są w granicach od 0,5 do 5,4 mg Cd/s.m. Stężenie metalu w tym zakresie pozwala zakwalifikować osady za zdatne do użytkowania na cele przyrodnicze, w tym rolne.

Zanieczyszczenie środowiska niklem jest szczególnie niebezpieczne dla roślin. Przynajmniej tego pierwiastka wzrasta wraz z obniżeniem pH gleby. Nadmiar w or-

<sup>20</sup> M. Wilk, B. Gworek, *Metale ciężkie w osadach ściekowych*, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, nr 39, Warszawa 2009, s. 40–59.

<sup>21</sup> J. Siuta, *Uwarunkowania i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych...*, op. cit., s. 7–42.

<sup>22</sup> *Ibidem*, s. 7–42.

<sup>23</sup> M. Wilk, B. Gworek, *Metale ciężkie w osadach ściekowych...*, op. cit., s. 40–59.

<sup>24</sup> J. Siuta, *Uwarunkowania i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych...*, op. cit., s. 7–42.

ganizmach roślinnych wpływa niekorzystnie na metabolizm, powoduje chlorozę liści oraz zahamowanie wzrostu korzenia roślin<sup>25</sup>. Zawartość niklu w osadach ściekowych na terenie kraju waha się w granicach od 2,2 do 358 mg Ni/kg s.m. W przypadku województwa podkarpackiego wyniki zawierają się w przedziale od 9,7 do 300 mg Ni/kg s.m.<sup>26</sup> W przypadku osadów ściekowych analizowanych w opracowaniu granice zawartości niklu są znacznie mniejsze niż w skali województwa i kraju, a mianowicie zawartość niklu określana jest stężeniami od 8,15 do 27,20 mg Ni/kg s.m.. Wyniki te pozwalają stwierdzić, że osady ściekowe w myśl Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych mogą być stosowane w celach przyrodniczych, gdyż są znacznie poniżej maksymalnej wartości 300 mg Ni/kg s.m.

Rtęć obok kadmu i ołowiu jest pierwiastkiem niemającym funkcji życiowych dla roślin, ale pomimo to dostaje się do ich tkanek. W tkankach roślinnych rtęć podlega silnemu wiązaniu przez białka. Może to stwarzać wiele zagrożeń dla tych organizmów, tj. powodować zaburzenie procesów oddychania komórkowego, w tym przemian enzymatycznych<sup>27</sup>. W literaturze niewiele jest danych dotyczących zawartości tego pierwiastka w osadzie ściekowym, dlatego nie ma możliwości porównania z wynikami ogólnokrajowymi. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska maksymalna zawartość rtęci w osadzie ściekowym nie powinna przekraczać 16 mg Hg/kg s.m., w analizowanych osadach wartość ta mieściła się w granicach 0,06 do 0,9 mg Hg/kg s.m. Wyniki te pozwalają zaliczyć osad ściekowy jako możliwy do wykorzystania na cele przyrodnicze.

Ołów ma wpływ na zaburzenia procesu fotosyntezy, podziałów komórkowych oraz zaburzenia gospodarki wodnej u roślin<sup>28</sup>. Zawartość ołowiu w osadach ściekowych jest bardzo zróżnicowana i waha się w granicach od 3 do 372 mg Pb/kg s.m. W przypadku danych z obiektów województwa podkarpackiego zakres ten wynosi od 33 do 120 mg Pb/kg s.m.<sup>29</sup>. W analizowanych oczyszczalniach zawartość ołowiu mieściła się w zakresie od 5,76 do 62,70 mg Pb/kg s.m, wartości te są niższe niż średnie dla kraju i województwa oraz znacznie niższe od limitu ministerialnego, który wynosi 750 mg Pb/kg s.m. Jednocześnie osady można uznać za nadające się do wykorzystania na cele przyrodnicze.

Osady z pozostałych oczyszczalni charakteryzowały się poziomem znacznie poniżej maksymalnych zawartości. Należy jednocześnie zaznaczyć, iż podane wyniki to całkowite zawartości metali, nie zostały wykonane badania specjacyjne pozwalające określić, jaki udział wyżej wymienionych pierwiastków jest biodostępny, czyli występuje w formie przyswajalnej dla organizmów żywych. Wyniki tych badań odzwierciedlałyby rzeczywisty wpływ zanieczyszczeń metali ciężkich na środowisko naturalne.

<sup>25</sup> M. Wilk, B. Gworek, *Metale ciężkie w osadach ściekowych...*, *op. cit.*, s. 40-59.

<sup>26</sup> J. Siuta, *Uwarunkowania i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych...*, *op. cit.*, s. 7-42.

<sup>27</sup> B. Gworek, J. Raterńska, *Migracja rtęci w układzie powietrze - gleba - roślina*, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, nr 41, Warszawa 2009, s. 614-623.

<sup>28</sup> M. Wilk, B. Gworek, *Metale ciężkie w osadach ściekowych...*, *op. cit.*, s. 40-59.

<sup>29</sup> J. Siuta, *Uwarunkowania i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych...*, *op. cit.*, s. 7-42.

#### 4. Podsumowanie

Zagospodarowanie powstających co roku tysięcy ton osadów ściekowych jest wysoce problematyczne. Wybór metody ich unieszkodliwiania w dużej mierze uzależniony jest od jakości otrzymywanych osadów ściekowych, a w szczególności zawartości substancji szkodliwych, w tym metali ciężkich.

Zaprezentowane w artykule wyniki poświadczają, że osady ściekowe z wybranych podkarpackich oczyszczalni ścieków charakteryzują się, poza wyjątkami, niewielką ilością metali ciężkich oraz znaczną zawartością składników pokarmowych niezbędnych do prawidłowego rozwoju organizmów roślinnych. Jednocześnie należy podkreślić, że zakwalifikowanie osadu ściekowego do użytku na cele przyrodnicze, w tym rolne, niesie ze sobą duże wymagania zarówno jeśli chodzi o jakość osadu, jak i gruntu, na którym osad ma być stosowany. Nieodzownym warunkiem stosowania osadów jako środka nawozowego i glebotwórczego jest odpowiednia przeróbka osadu ściekowego, w celu minimalizacji jego wpływu na środowisko naturalne oraz nieustanny monitoring zarówno osadu ściekowego, jak i terenów, na których jest stosowany.

Jednocześnie należy zaznaczyć, iż sumaryczna zawartość metali ciężkich w osadzie ściekowym nie jest równoważna z możliwością uwolnienia ich do obiegu przyrodniczego. Wysoce istotna jest forma występowania metali ciężkich w osadzie, ponieważ niejednokrotnie metale ciężkie występują w dużej mierze w postaci niedostępnej dla organizmów żywych, a co za tym idzie, ich wpływ na środowisko jest znacznie mniej szkodliwy, niż sugeruje to zawartość całkowita metalu w ogólnej masie osadu.

Osady ściekowe z analizowanych w artykule obiektów, z wyjątkiem jednej oczyszczalni, charakteryzują się wysokimi zawartościami substancji odżywczych i najlepszym sposobem zagospodarowania jest ich wykorzystanie na cele przyrodnicze, np. na plantacjach roślin energetycznych. Niskie zawartości substancji szkodliwej klasyfikują osad ściekowy jako bardzo dobry materiał nawozowy i glebotwórczy. Wskazane są badania mobilności metali ciężkich w celu precyzyjnej oceny rzeczywistego wpływu na środowisko. Jednocześnie wskazane byłoby prowadzenie szkoleń dla samorządowców i rolników w celu popularyzacji tej metody unieszkodliwiania osadów ściekowych w rejonie Pogórza Dynowskiego.

#### Bibliografia

1. Bień J., Neczaj E., Worwag M., Grosser A., Nowak D., Milczarek M., Janik M., *Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, t. 14, nr 4, Częstochowa 2011.
2. Bień J., *Osady ściekowe. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.
3. Długosz J., Gawdzik J., *Zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych kondycjonowanych CaO*, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, vol. 16, Gliwice 2014.
4. Gworek B., Rateńska J., *Migracja rtęci w układzie powietrze - gleba - roślina*, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, nr 41, Warszawa 2009.
5. Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B., *Trace elements from soil to human*, Springer. Verl., Berlin-Heidelberg 2007.

6. Korzekwa-Wojtal A., Wolny L., Kamizela T., *Gospodarka osadowa w wybranych oczyszczalniach ścieków typu SBR*, IV Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Postęp w Inżynierii Środowiska”, Bystre, 21–23 września 2006 r., Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006.
7. Maćkowiak C., Igras J., *Skład chemiczny osadów ściekowych i odpadów przemysłu spożywczego o znaczeniu nawozowym*, Inżynieria Ekologiczna, nr 10, Lublin 2005.
8. Mazur Z., Markiewicz G., Krajewski P., Klaus W., *Agrochemiczna wartość osadów ściekowych z oczyszczalni ścieków w Olecku*, IV Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Postęp w Inżynierii Środowiska”, Bystre, 21–23 września 2006 r., Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006.
9. Niemiec W., Zdeb M., *Nawożenie plantacji roślin energetycznych osadami ściekowymi w postaci stałej – zagrożenia i nowe rozwiązania*, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, t. XXXI, z. 61 (1/14), Rzeszów 2014.
10. 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, Częstochowa 2010.
11. Siuta J., *Uwarunkowania i sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych*, Inżynieria Ekologiczna, nr 9, Warszawa 2003.
12. Stachowicz F., Niemiec W., Trzepieciński T., Ślęzak W., *Innowacyjne urządzenia do aplikacji doglebowej osadów ściekowych*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, nr 576, Warszawa 2014.
13. Stańczyk-Mazanek E., Piątek M., Kępa U., *Wpływ następczy osadów ściekowych stosowanych na glebach piaszczystych na właściwości kompleksu sorpcyjnego*, Rocznik Ochrona Środowiska, t. 15, Koszalin 2013.
14. Wilk M., Gworek B., *Metale ciężkie w osadach ściekowych*, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, nr 39, Warszawa 2009.

### **Akty normatywne**

1. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. z 2010 r. Nr 137, poz. 924).
2. Ustawa z 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. z 2013 r. Nr 0, poz. 21).

### **Inne**

Opracowanie dotyczące możliwości wykorzystania osadów ściekowych powstających na Oczyszczalni ścieków w Żurawicy na cele rolne, Pszczyna, grudzień 2013.