

Patrycja ZAKOŚCIELNA<sup>1</sup>, Maciej SIERAKOWSKI<sup>2</sup>, Andrzej ŚWIĄTKOWSKI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

<sup>2</sup> Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, Instytut Ekologii i Bioetyki  
ul. Wóycickiego 1/3, 01-938 Warszawa

<sup>3</sup> Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii, Instytut Chemii  
ul. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa  
e-mail: a.swiatkowski@wp.pl

## Zmiany dystrybucji metali ciężkich w trakcie termicznego przekształcania komunalnych osadów ściekowych

### Changes in the Distribution of Heavy Metals during the Thermal Treatment of Municipal Sewage Sludge

The increasing amount of sewage sludge generated creates a significant problem with their processing. Changes in legal and environmental requirements have led in Poland, in recent years, to an increase in the interest in thermal methods of sewage sludge treatment, particularly in fluidized bed combustion. The resulting facilities (installations) contribute to reducing the amount of sewage sludge. Their thermal transformation does not, however, eliminate the problem of inter alia. heavy metals in the resulting ashes. The paper presents the results of studies on differences in heavy metals content in sewage sludge and in products of its thermal transformation - fly ash retained in multicyclone and bag filter. The suitability of the EDS method for the qualitative and quantitative determination of heavy metals in the surface layer of fly ash grains was evaluated. The presence of Ni, Cu and Zn has been observed.

**Keywords:** sewage sludge, fluidized bed combustion, fly ash, heavy metals

## Wprowadzenie

Osady ściekowe należą do odpadów, których powstawanie jest nieuniknione ze względu na aktualne technologie oczyszczania ścieków [1]. Każdego roku powstają nowe oczyszczalnie ścieków oraz sieci wodno-kanalizacyjne, przez co zużywa się więcej wody, a w konsekwencji powoduje to wytwarzanie coraz większych ilości osadów ściekowych [2-6]. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach (DzU z 2015 r., poz. 1277), od 1 stycznia 2016 roku ustabilizowane komunalne osady ściekowe, które nie będą spełniać wymagań przedstawionych w rozporządzeniu, nie mogą być składowane na składowiskach odpadów

innych niż niebezpieczne i obojętne. Komunalne osady ściekowe zarówno ustabilizowane, jak i niestabilizowane nie spełniają wymagań przedstawionych w tym rozporządzeniu, dlatego ich składowanie jest niedozwolone [3, 6-9]. Ze względu na wprowadzony zakaz składowania komunalnych osadów ściekowych oraz powstające ich coraz większe ilości poszukuje się nowych metod ich zagospodarowania. Do takich metod należy termiczne unieszkodliwianie [5, 10-14].

Według danych GUS, ilość wytworzonych osadów komunalnych w 2015 roku wynosiła 568 tys. ton suchej masy. Ilość osadów z roku na rok nieznacznie się zwiększa, jednak wzrost ten jest niewielki i jest on związany z rozwojem sieci kanalizacyjnych i wodociągowych. Z danych GUS wynika, że w 2015 roku ponad 7% osadów ściekowych komunalnych było składowane, około 14% osadów zostało przekształcone termicznie, około 19% osadów było stosowane w rolnictwie, niecałe 4% zostało zastosowane do rekultywacji terenów (w tym gruntów na cele rolnicze), a ponad 8% osadów było stosowane do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu. Duża część komunalnych osadów ściekowych jest gromadzona na terenie oczyszczalni [4]. Jednak udział termicznego przekształcania znacznie się zwiększył, w 2000 roku tak przekształcono niewiele ponad 1,5% komunalnych osadów ściekowych [4, 9].

Do metod unieszkodliwiania termicznego osadów ściekowych zalicza się monospalanie, współspalanie oraz metody alternatywne [5, 8, 11, 12, 14-16]. W Polsce obecnie jest jedenaście monospalarni komunalnych osadów ściekowych, z tego siedem wykorzystuje technologię fluidalną, a w czterech osady spalane są na ruszcie. Do najbardziej popularnych należy technologia PyrofluidTM, która została zastosowana w Warszawie, Kielcach, Krakowie oraz Łodzi [2, 3, 5, 9-11].

Spalanie osadów ściekowych to utlenienie związków organicznych do dwutlenku węgla i wody, w procesie tym osady zostają całkowicie unieszkodliwione [11, 16]. Przed spaleniem osady powinny zostać odwodnione [11, 13]. Osady, które zawierają większe ilości metali ciężkich, też są spalane. Popiół, który powstaje po ich spalaniu, zalicza się do odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne. Spalanie to najdroższy sposób unieszkodliwiania osadów, jednak często jest jedynym efektywnym rozwiązaniem. Zalety monospalania osadów ściekowych to przede wszystkim zmniejszenie ich objętości, ograniczenie odorów oraz wtórne wykorzystanie produktów ze spalania [12, 13, 16-18].

Podczas procesu spalania osadów ściekowych uwalniane są niewielkie ilości par metali ciężkich oraz ich związków chemicznych. Związki lotnych metali pochodzą z substancji mineralnej lub organicznej osadów ściekowych. Podczas spalania część metali może osiadać lub pozostać w piecu, a część przejść do żużlu. W komorze przy wysokiej temperaturze metale i ich związki parują, a w kanałach spalinowych, gdzie jest niższa temperatura, ulegają kondensacji. Część lotnych związków metali kondensuje na powierzchni popiołów i razem z nimi jest odprowadzana ze spalinami, dzięki temu mogą być łatwo wychwytywane w urządzeniach odpylających. Podczas procesu spalania osadów ściekowych zachodzą złożone

przemiany, takie jak odgazowanie i zwęglenie, spiekanie stopionych inkluzji oraz odparowanie lotnych pierwiastków. Metale ciężkie można podzielić na trzy grupy ze względu na to, jak zachowują się podczas procesu spalania. W grupie pierwszej znajdują się metale, które koncentrują się w osadzie gruboziarnistym lub dzielą się jednakowo między osad gruboziarnisty a drobniejsze cząstki osadu. W drugiej grupie znajdują się metale, które ulatniają się w komorze spalania i ulegają kondensacji w dalszych częściach instalacji. Metale te kumulują się w drobniejszych cząstkach. Pierwiastki z grupy trzeciej charakteryzują się najwyższą lotnością. Przez cały proces spalania pozostają w fazie gazowej. Do tej grupy należą rtęć, chlor, fluor oraz brom. Beryl, selen oraz jod można zaliczyć zarówno do grupy trzeciej, jak i drugiej. Wynika to z dużej rozbieżności warunków spalania, głównie temperatury. W drugiej grupie znajdują się kadm, ołów, cynk oraz arsen. W grupie pierwszej i drugiej mogą występować kobalt, chrom, nikiel, miedź, molibden, stront oraz cez. Do pierwszej grupy zaliczany jest mangan [18, 19].

W komorze spalania metale ciężkie razem ze związkami nieorganicznymi, takimi jak krzem, glin czy wapń, mogą uformować popiół paleniskowy. Jest to odpowiednie połączenie metali ciężkich, ponieważ nie są one wyplukiwane przez wodę. Jednak większość metali pozostaje w fazie gazowej lub odparowuje, formując parę cieczy lub aerozol. Takie cząstki mogą być usunięte przez urządzenia do oczyszczania gazów spalinowych [20]. Nieznaczna część metali ciężkich może ominąć wszystkie elementy aparatury do kontroli emisji i wydostać się przez komin [19].

Zachowanie pierwiastków śladowych podczas procesu spalania jest złożonym problemem, który w konsekwencji ma wpływ na środowisko powietrzne, glebowe i wodne. Proces spalania nie niszczy metali, ale środowisko spalania jest w stanie doprowadzić do ich przekształcenia. Po termicznym unieszkodliwianiu metale ciężkie znajdują się w pozostałości po spaleniu oraz mogą utleniać się z gazami. Najczęściej metale występują w osadach ściekowych w postaci związków nieorganicznych [21, 22]. W większości przedostają się one przez instalację spalania w takim samym stanie i znajdowane są w popiele [18].

Podczas termicznego unieszkodliwiania osadów ściekowych w spalarniach pojawia się problem w postaci powstających odpadów pochodzących z procesu oczyszczania spalin. Należy do nich popiół lotny z multicyklonów oraz pozostałości z oczyszczania gazów znajdujące się na filtrze workowym [17, 23]. Popioły pochodzące z suchego systemu oczyszczania spalin są zaliczane do odpadów niebezpiecznych o kodzie 19 01 07\* (są to odpady stałe z oczyszczania gazów odlotowych) lub 19 01 06\* i są to szlamy oraz inne odpady uwolnione z oczyszczania gazów odlotowych. Parametry popiołów zależą przede wszystkim od składu chemicznego osadów ściekowych poddanych spalaniu [18, 21, 22], a te z kolei od składu chemicznego ścieków, zawierających zwykle wiele szkodliwych metali ciężkich [24-26]. Składniki, które przeważają w popiołach, to  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  oraz  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Ze względu na występowanie dużych ilości fosforu w ściekach z oczyszczalni jest go bardzo dużo w popiołach [8].

## 1. Metodyka badań

### 1.1. Badane materiały

Badanymi materiałami były: osad ściekowy (oznaczony - OŚ) z jednej z dużych oczyszczalni ścieków oraz stałe pozostałości powstające podczas jego termicznego przekształcania w pracującej tam instalacji fluidalnego spalania. Stałe pozostałości to popiół zatrzymany w multicyklonie (oznaczony - MC) oraz pochodzący z filtra workowego popiół zmieszany z przereagowanymi/zużytymi reagentami - wodorowęglanem sodu i pylistym węglem aktywnym - służącymi do usuwania gazowych zanieczyszczeń spalin (oznaczony - FW). Wybierając termin pobrania do badań próbek popiołów, kierowano się wynikami okresowych (co 1 lub 2 miesiące) pomiarów zawartości metali ciężkich w przeznaczonym do spalania osadzie ściekowym z dość długiego przedziału czasowego (ponad rok). Próbki pobrano wtedy, gdy zawartość metali zbliżona była do wartości średnich dla powyższego okresu. Pozwoliło to uniknąć wpływu fluktuacji składu osadu.

### 1.2. Określanie zawartości wybranych metali ciężkich

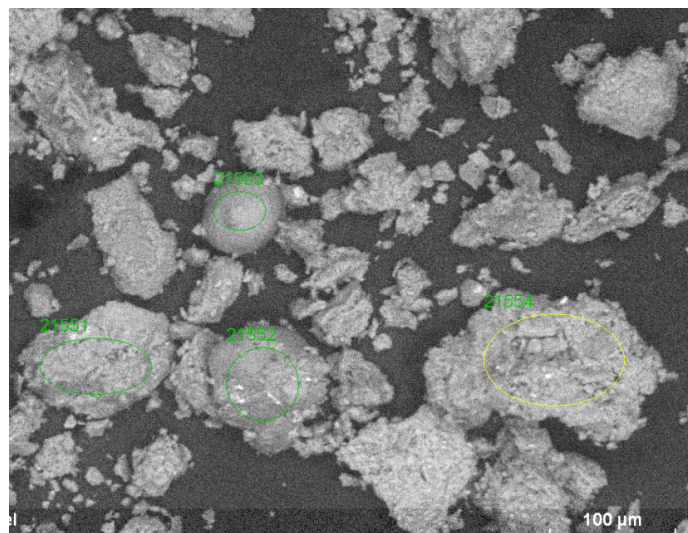
Do określenia składu chemicznego powierzchni ziaren pozostałości po spalaniu osadu ściekowego (MC i FW) zastosowano mikroanalizę rentgenowską z dyspersją energii połączoną ze skaningową mikroskopią elektronową (metoda EDS-SEM, mikroskop skaningowy produkcji LEO Electron Microscopy Ltd., model 1430VP wyposażony w spektrometr rentgenowski EDS, Quantax 200 z detektorem XFlash 4010 produkcji Bruker AXS).

Do określenia zawartości wybranych metali ciężkich w materiałach MC i FW zastosowano metodę spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym ICP-OES. W pierwszym etapie zmineralizowano próbki każdego z materiałów, stosując wysokosprawne urządzenie mikrofalowe Multiwave 3000 firmy Anton-Paar, a następnie w powstałych roztworach określono zawartości metali, stosując spektrometr emisyjny z plazmą wzbudzoną indukcyjnie z pionowym palnikiem oraz osiową i boczną obserwacją plazmy ICPE-9820 firmy Shimadzu. Użyte odczynniki to: kwas azotowy 65%, kwas solny 32%, nadtlenek wodoru 30% - wszystkie z PURANAL firmy Honeywell oraz woda dejonizowana Milli-Q firmy Merck i gazowy argon o czystości 99,998%.

## 2. Omówienie wyników

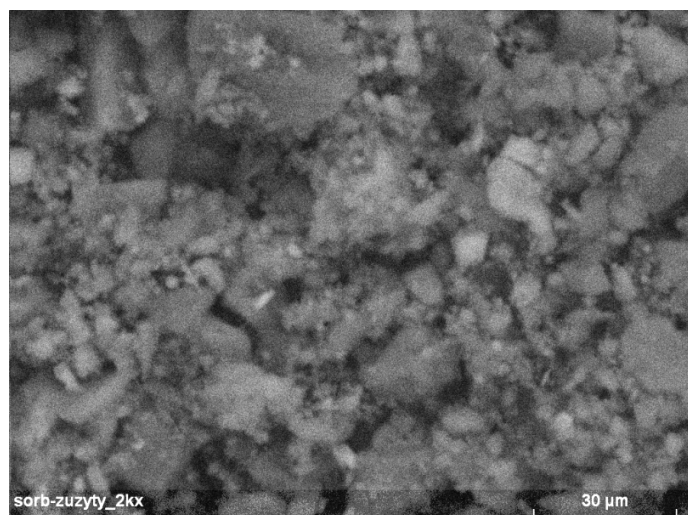
Oba materiały pochodzące z oczyszczania spalin z procesu spalania osadu ściekowego, to jest popiół lotny zatrzymany w multicyklonie - MC oraz zatrzymaną w filtrach workowych mieszaninę popiołu, zużytego pylistego węgla aktywnego i częściowo przereagowanego  $\text{NaHCO}_3$  - FW, poddano najpierw badaniu metodą EDS w celu określenia zawartości metali w warstwie powierzchniowej ich ziaren. Wcześniej wykonano zdjęcia SEM (rys. 1 i 2) w celu wyboru obszarów do mikroanalizy rentgenowskiej EDS. W przypadku popiołu MC możliwe było wytypowa-

nie ziaren o różnej wielkości. Wyniki podano w tabeli 1. Natomiast w przypadku materiału FW stanowiącego mieszaninę kilku składników było to praktycznie niemożliwe. Drugim powodem był mniejszy rozmiar ziaren w porównaniu z częścią popiołu lotnego zatrzymanego w multicyklonie. Podana została jedynie średnia zawartość metali.



Rys. 1. Zdjęcie SEM popiołu MC umożliwiające wybór obszarów mikroanalizy rentgenowskiej dla ziaren o różnej wielkości

Fig. 1. SEM image of ash MC allowing selection of X-ray microanalysis areas for grains of different sizes



Rys. 2. Zdjęcie SEM popiołu FW

Fig. 2. SEM image of fly ash FW

Tabela 1. Zawartość metali (w % mas.) na powierzchni popiołu zatrzymanego w multicyklonie i filtrach workowych instalacji spalania osadów ściekowych określona metodą EDS

Table 1. Metal content (in wt.%) on surface of fly ash retained in multicyclone and bag filter of sludge combustion plant, determined by EDS method

Nr	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	Fe	Ni	Cu	Zn
Zawartość metali w popiele z multicyklonu (MC)										
21551	0,41	0,58	7,74	0,56	7,39	0,14	3,46	–	1,15	–
21552	0,32	0,65	6,80	0,40	5,30	–	2,89	1,84	–	–
21553	0,31	0,94	8,77	0,49	6,76	–	2,95	–	0,74	1,03
21554	0,28	1,09	9,44	0,64	7,28	0,19	3,00	–	0,74	0,85
Zawartość metali w materiale z filtrów workowych (FW)										
Śr.	20,68	0,77	6,62	0,51	6,91	0,14	2,30	–	–	–

Badania metodą EDS zawartości metali na powierzchni ziaren popiołu zatrzymanego w multicyklonie oraz pochodzącego z filtrów workowych wykazały, że tylko w tym pierwszym przypadku stwierdzono mierzalne tą metodą ilości trzech szkodliwych metali ciężkich: Ni, Cu, Zn. Są one różne w różnych miejscach powierzchni ziaren. Innych metali ciężkich obecnych w osadzie ściekowym (np. Pb czy Cr o zawartościach zbliżonych do niklu) nie zarejestrowano na powierzchni ziaren popiołów powyższą metodą badawczą. W przypadku popiołu z filtrów workowych nie stwierdzono obecności: Ni, Cu, Zn. Może to wynikać z wymieszanej z tym popiołem mieszanki zużytego (częściowo przereagowanego) wodorowęglanu sodu i pylistego węgla aktywnego, co obniża procentowe udziały wszystkich metali (Mg, Al, K, Ca, Ti, Fe) z wyjątkiem Na, którego ilość znacząco wzrosła (pochodził z dodanego  $\text{NaHCO}_3$ ). Wspomniane wcześniej trzy metale ciężkie nie zostały więc zarejestrowane, gdyż ich ilości spadły poniżej poziomu mierzalności.

Z powyższych powodów dalsze badania skupiły się na trzech metalach ciężkich: Ni, Cu i Zn. Określono ich zawartość w popiele z multicyklonu oraz z filtrów workowych metodą emisji atomowej ICP (ICPE-9800). Wyniki zestawiono w tabeli 2. Zamieszczono tam także dla porównania zawartości rozpatrywanych metali w ściekach oraz w osadzie ściekowym (w odniesieniu do kg jego suchej masy).

Tabela 2. Zawartości Ni, Cu, Zn w ściekach, wysuszonych osadach ściekowych oraz w popiele zatrzymanym w multicyklonie i filtrach workowych

Table 2. Ni, Cu, Zn contents in wastewater, dried sewage sludge and fly ash retained in multicyclone and bag filters

Metal	W ściekach mg/dm <sup>3</sup>	W osadzie ściekowym mg/kg s.m.	W popiele MC ppm	W popiele FW ppm
Ni	<0,050	34,8÷40,4	241	183
Cu	<0,050	319÷420	1639	692
Zn	0,053	881÷961	2025	768

Wyznaczone zawartości rozpatrywanych metali ciężkich w wysuszonych osadach ściekowych (metodą ICP-OES) ulegają znaczącemu zwiększeniu w popiele z multicyklonu w wyniku procesu spalania substancji organicznych osadów w piecu fluidalnym. Największy przyrost ma miejsce w przypadku niklu, następnie miedzi i najmniejszy dla cynku, odpowiednio 6,4-krotny, 4,4-krotny i 2,2-krotny. Proporcje ilościowe Ni:Cu:Zn w osadzie ściekowym, a także w popiele są podobne jak w wielu innych oczyszczalniach ścieków wyposażonych w instalacje termicznego przekształcania (spalania). Zawartości metali w popiele FW są znacznie mniejsze niż w popiele MC. Różnica rośnie w kolejności Ni, Cu, Zn i wynosi odpowiednio 1,3-razy, 2,37-razy i 2,64-razy mniej niż w popiele FW. Różnice w zawartościach metali między popiołami MC i FW mogą wynikać nie tylko z obecności przereagowanego  $\text{NaHCO}_3$  i pylistego węgla aktywnego, ale i różnic w wielkości ziaren popiołu zatrzymywanych w multicyklonie oraz filtrach workowych. Znaczenie mają także formy występowania metali ulegające zmianom podczas termicznego przekształcania osadów ściekowych czy frakcje popiołów, z jakimi są związane.

## Podsumowanie

Zawartości trzech wytypowanych szkodliwych metali ciężkich (Ni, Cu, Zn) ulegają dużym zmianom w oczyszczalni ścieków wyposażonej we fluidalną instalację spalania ścieków w kolejnych etapach: ścieki - powstały w efekcie ich oczyszczania osad ściekowy - popiół lotny zatrzymany w multicyklonie (wydzielony ze spalin po spalaniu osadu) - popiół zmieszany z przereagowanym wodorowęglanem sodu i pylistym węglem aktywnym. Przez cały czas (w każdym etapie) największa jest zawartość cynku, następnie miedzi i najmniejsza niklu. Kolejność ta jest w każdym badanym materiale zachowana. Pewnym zmianom ulegają natomiast ich proporcje ilościowe. Spektroskopia EDS okazała się dość przydatną metodą badawczą do szacunkowej oceny zawartości metali ciężkich w powierzchniowej warstwie ziaren popiołów pochodzących ze spalania osadów ściekowych.

## Literatura

- [1] Bień J., Wystalska K., Gospodarka osadowa - konieczność zmian strategicznych decyzji, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2014, 17, 3, 357-361.
- [2] Bień J.D., Bień B., Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi w obliczu zakazu składowania po 1 stycznia 2016, *Inżynieria Ekologiczna* 2015, 45, 36-43.
- [3] Pająk T., Termiczne przekształcanie osadów ściekowych wobec wyzwań roku 2016, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2014, 17, 3, 363-376.
- [4] *Rocznik Ochrony Środowiska* 2015, GUS, Warszawa.
- [5] Bień J., Neczaj E., Worwąg M., Grosser A., Nowak D., Milczarek M., Janik M., Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2011, 14, 4, 375-384.
- [6] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych, *DzU* z 2015 r., poz. 257.

- [7] Rećko K., Termiczna utylizacja osadów ściekowych, *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska* 2005, 2, 17-24.
- [8] Burzała B., Termiczne przekształcanie osadów ściekowych jako jedna z metod ich utylizacji, *Nowa Energia* 2014, 1, 37, 29-32.
- [9] Ostojski A., Gajewska M., Możliwości energetycznego wykorzystania osadów ściekowych jako paliwa, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2014, 17, 4, 521-531.
- [10] Rybicki S.M., Łuszczek B., Efektywność termicznego przekształcania osadów na tle innych metod zagospodarowania na przykładzie wybranej oczyszczalni ścieków, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2014, 17, 3, 377-391.
- [11] Bień J.D., Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2012, 15, 4, 439-449.
- [12] Środa K., Kijo-Kleczkowska A., Otwinowski H., Termiczne unieszkodliwianie osadów ściekowych, *Inżynieria Ekologiczna* 2012, 28, 67-81.
- [13] Wilk J., Wolańczyk F., Problemy energetycznego wykorzystania odpadów z oczyszczalni ścieków, *Polityka Energetyczna* 2008, 11, 2, 139-149.
- [14] Fytali D., Zabaniotou A., Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods - A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2008, 12, 116-140.
- [15] Werle S., Dudziak M., Analysis of organic and inorganic contaminants in dried sewage sludge and by-products of dried sewage sludge gasification, *Energies* 2014, 7, 462-476.
- [16] Środa K., Kijo-Kleczkowska A., Otwinowski H., Metody utylizacji osadów ściekowych, *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska* 2013, 15, 33-47.
- [17] Borowski G., Gajewska M., Haustein E., Możliwości zagospodarowania popiołów z termicznego przekształcania osadów ściekowych w kotłach fluidalnych, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2014, 17, 3, 393-402.
- [18] Dąbrowska L., Nowak R., Frakcje chemiczne metali ciężkich w osadach ściekowych i w stałej pozostałości po ich spalaniu, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2014, 17, 3, 403-414.
- [19] Niesler J., Nadziakiewicz J., Skuteczność redukcji emisji rtęci z procesów spalania osadów ściekowych w złożu fluidalnym, *Piece Przemysłowe & Kotły* 2015, 3, 8-16.
- [20] Gawel I., Kubicka S., Szlęk A., Modelowe rozwiązanie spalania osadów ściekowych, *Piece Przemysłowe & Kotły* 2013, 3-4, 20-23.
- [21] Gawdzik J., Mobilność metali ciężkich w osadach ściekowych na przykładzie wybranej oczyszczalni ścieków, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2012, 15, 1, 5-15.
- [22] Gondek K., Zawartość różnych form metali ciężkich w osadach ściekowych i kompostach, *Acta Agrophysica* 2006, 8, 4, 825-838.
- [23] Kęps W., Pomykała R., Pietrzyk J., Właściwości popiołów lotnych z termicznego przekształcenia komunalnych osadów ściekowych, *Inżynieria Mineralna* 2013, 14, 1, 11-18.
- [24] Szymański K., Janowska B., Jastrzębski P., Heavy metal compounds in wastewater and sewage sludge, *Rocznik Ochrona Środowiska* 2011, 13, 4, 83-100.
- [25] Kabata-Pendias A., Pendias H., *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
- [26] Wilk M., Gworek B., Metale ciężkie w osadach ściekowych, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 2009, 39, 40-59.

<sup>1</sup> Warsaw University of Life Sciences - SGGW, Faculty of Civil and Environmental Engineering  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

<sup>2</sup> Cardinal Stefan Wyszyński University in Warsaw, Institute of Ecology and Bioethics  
ul. Wóycickiego 1/3, 01-938 Warszawa

<sup>3</sup> Military University of Technology, Faculty of Advanced Technologies and Chemistry  
Institute of Chemistry, ul. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa  
e-mail: a.swiatkowski@wp.pl



## **Streszczenie**

Rosnąca ilość wytwarzanych osadów ściekowych generuje istotny problem związany z ich zagospodarowaniem. Zmiany wymagań prawnych i środowiskowych spowodowały wzrost zainteresowania termiczną metodą przekształcania osadów ściekowych, szczególnie technologią spalania fluidalnego. Powstałe obiekty (instalacje) przyczyniają się do redukcji ilości osadów ściekowych. Ich termiczne przekształcanie nie eliminuje jednak problemu występowania m.in. metali ciężkich w powstających popiołach. W artykule przedstawiono wyniki badań nad różnicami zawartości wybranych metali ciężkich w osadzie ściekowym i w produktach jego termicznego przekształcania - popiele zatrzymanym w multicyklonie oraz pochodzącym z filtrów workowych. Oceniono przydatność metody EDS do wstępnego jakościowego i ilościowego określania zawartości metali ciężkich w powierzchniowej warstwie ziaren popiołu lotnego. Obserwowano obecność Ni, Cu i Zn.

**Słowa kluczowe:** osady ściekowe, spalanie fluidalne, popiół, metale ciężkie