



# Właściwości popiołów lotnych z termicznego przekształcania komunalnych osadów ściekowych

## Properties of fly ash from thermal conversion of municipal sewage sludge

Waldemar KĘPYS<sup>1)</sup>, Radosław POMYKAŁA<sup>2)</sup>, Jacek PIETRZYK<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Dr inż.; Katedra Inżynierii Środowiska i Przeróbki Surowców, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Aleja Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: kepys@agh.edu.pl, tel.: (+48) 12 617 40 18

<sup>2)</sup> Dr inż.; Katedra Inżynierii Środowiska i Przeróbki Surowców, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Aleja Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: rpomyk@agh.edu.pl, tel.: (+48) 12 617 40 18

<sup>3)</sup> Mgr inż.; Katedra Inżynierii Środowiska i Przeróbki Surowców, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Aleja Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: pietrzyk86@agh.edu.pl, tel.: (+48) 12 617 45 63

### Streszczenie

Jedną z metod postępowania z komunalnymi osadami ściekowymi jest ich termiczne przekształcanie. Niewątpliwą zaletą tego sposobu unieszkodliwiania osadów jest zmniejszenie ich objętości oraz odzysk energii elektrycznej i/lub ciepłej. Niemniej jednak w instalacjach termicznego przekształcania osadów ściekowych powstają odpady - pozostałości z procesów oczyszczania spalin. Jednym z takich odpadów jest popiół lotny wylapywany najczęściej w multicyklonach i elektrofiltrach. W artykule przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości fizykochemicznych dla tego rodzaju odpadu pochodzącego z dwóch instalacji spalających komunalne osady ściekowe.

Słowa kluczowe: popioły lotne, spalanie komunalnych osadów ściekowych

### Summary

One of the methods which deals with municipal sewage sludge is their thermal transformation. The undoubted advantage of this way of sludge disposal is to reduce their volume and the recovery of electricity and/or heat. However, in thermal systems converting the sewage sludge the wastes are formed – residues from the exhaust gases cleaning process. One of such waste is fly ash captured most of the times in multicyclones and electrofilters. The article presents the results of selected physical-chemical properties for this type of waste originating in the two plants incinerating the municipal sludge.

Keywords: fly ash, sewage sludge combustion

### Wstęp

W efekcie dynamicznej rozbudowy sieci kanalizacyjnej w Polsce wzrasta odsetek mieszkańców podłączonych do niej. Powoduje to ciągły wzrost ilości ścieków komunalnych, kierowanych do oczyszczalni ścieków. Jednym z ubocznych efektów oczyszczania ścieków jest powstawanie osadów ściekowych. Ponieważ istnieją ograniczone możliwości zapobiegania powstawaniu komunalnych osadów ściekowych, także ilość osadów ściekowych będzie coraz większa. Według danych GUS w oczyszczalniach ścieków komunalnych w 2010 roku wytworzono 526 tys. Mg. s.m. osadów [1]. Natomiast w Krajowym Programie Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK) przewiduje się, że ich ilość w 2015 r. wzrośnie do 662 tys. Mg. s.m. [2].

Osady te powinny być zagospodarowane w sposób nie powodujący negatywnych zmian w środowisku. Według Ustawy o odpadach [3] komunalne osady ściekowe mogą być stosowane, jeżeli są ustabilizowane odpowiednio do celu i sposobu ich stosowania. Stabilizacji dokonuje się poprzez obróbkę biologiczną, chemiczną, czy też

### Introduction

As a result of the dynamic expansion of the sewage network in Poland the percentage of residents that are connected to it increases. This causes the continuous increase in the number of urban waste water. One of the side-effects of water treatment is sewage sludge formation. Since there are limited possibilities of prevention sewage sludge forming, the quantity of sewage sludge will be increasing. According to GUS (Główny Urząd Statystyczny, CSO – Central Statistical Office), the sewage-treatment plants produced 526 thousand Mg. of dry matter sediments in 2010 [1]. On the other hand, the NPMWWT (KPOŚK – Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych, NPMWWT – The National Programme for Municipal Waste Water Treatment) predicts that their number will increase to 662 thousand Mg. of dry matter until 2015 [2].

The sediments should be managed in way not causing adverse changes in the environment. According to the decree about wastes [3], the municipal sludge may be used if they are stabilized properly to the purpose and the way they will be used. Stabilization is carried out by the biological, chemical or thermal treatment in order to reduce the

Tabela 1  
Postępowanie z komunalnymi osadami ściekowymi  
w Polsce [tys. Mg s.m.] [1]

Table 1  
Municipal sewage sludge treatment in Poland  
[thousand Mg. of dry matter] [1]

Lata Years		2005	2007	2008	2009	2010
Wytworzone osady Sludges produced		486,1	533,2	567,3	563,1	526,7
W tym m.in. Including:	stosowanie w rolnictwie used in agriculture	66,0	98,2	112,0	123,1	109,3
	rekultywacja recultivation	120,6	118,5	105,8	77,8	54,3
	uprawa roślin stosowanych do produkcji kompostu growing plants used in the production of compost	27,4	25,5	27,5	23,5	30,9
	przekształcanie termiczne thermalconversion	6,2	1,7	6,0	8,9	19,8

termiczną w celu obniżenia podatności komunalnego osadu ściekowego na zagniwanie i eliminacji zagrożenia dla środowiska lub zdrowia ludzi. Najbardziej powszechne kierunki postępowania z osadami ściekowymi przedstawiono w tabeli 1.

Z danych zamieszczonych w powyższej tabeli wynika, że w latach 2009–2010 nastąpił wzrost ilości komunalnych osadów ściekowych przekształcanych termicznie o ponad 10 tys. Mg. Ponieważ jednym z celów Krajowego Planu Gospodarki Odpadami 2014 [4] jest zwiększenie ilości osadów ściekowych przekształcanych metodami termicznymi, należy przypuszczać, że w kolejnych latach będzie wzrastać ilość odpadów z procesów spalania.

Zastosowanie konkretnej metody termicznego przekształcania osadów ściekowych zależy przede wszystkim od ich składu chemicznego oraz procentowej zawartości substancji palnych.

Do najczęściej stosowanych metod termicznych zaliczamy:

- bezpośrednie spalanie osadów,
- spalanie osadów z odpadami komunalnymi,
- współspalanie osadów w piecach obrotowych w przemyśle cementowym,
- współspalanie osadów w obiektach energetycznych.

W większości instalacji osady ściekowe spalane są w kotłach fluidalnych, schemat blokowy przykładowej instalacji przedstawiono na rys. 1. Aby zapewnić autotermiczność procesu, osad ściekowy przed spalaniem jest podsuszany do wilgotności ok. 30% s.m. (ciepło do podsuszania pochodzi ze spalania osadów). Po podsuszeniu osad wprowadzany jest do paleniska, w którym ulega spalaniu w temperaturze 850–1100°C.

Pozostałością po termicznym przekształceniu osadów ściekowych są m.in. popioły lotne wyłapywane z gazów spalinowych w elektrofiltrach. Są

vulnerability of municipal sewage sludge to decay and elimination of risks to the environment or human health. The most common directions in the sewage sludge procedure are shown in the Tab. 1.

From the data provided in the table above it follows, that in years 2009–2010 the amount of municipal sewage sludge that are converted to the heat increased more than 10 thousand Mg. Because one of the objectives of the National Waste Management Plan 2014 (Krajowy Plan Gospodarki Odpadami) [4] is increasing the quantities of sewage sludge that is converted with thermal methods, it should be assumed that in future years the amount of waste from combustion processes will be increasing.

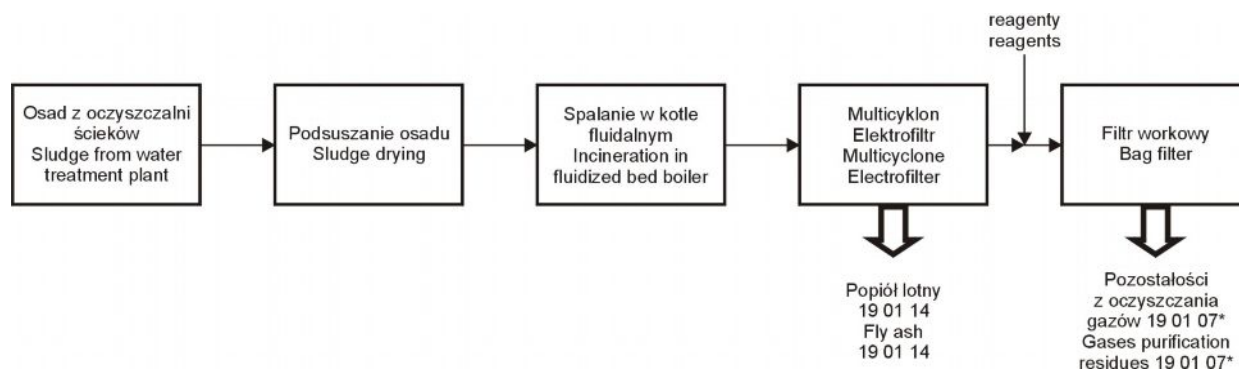
Using the particular method of thermal conversion of municipal sewage sludge depends mainly on their chemical composition and percentage content of flammable substances.

The most frequently used methods include:

- direct incineration of sludge,
- sludge incineration with household waste,
- co-incineration of sludge in rotary boilers in the cement industry,
- co-incineration of sludge in the energy sector objects.

In most of installations sludge is incinerated in fluidized beds, the block diagram of exemplary installation is presented on Fig. 1. To ensure autothermal process, the sludge is dried before combustion to humidity of 30% of dry matter (heat to the drying process comes from sludge combustion). After drying the sludge is introduced to furnace, where it is incinerated in temperature ranging 850–1100°C.

The residue after thermal conversion of sludge are among other things the fly ashes captured from flue gases in electrofilters. They are classified in



Rys. 1.  
Schemat blokowy instalacji do termicznego przekształcania komunalnych osadów ściekowych [opracowanie własne]

Fig. 1  
Block diagram of installation to thermal conversion of municipal sewage sludge [own elaboration]

to odpady klasyfikowane w katalogu odpadów [5] pod kodem 19 01 14 – popioły lotne inne niż wymienione w 19 01 13. Ponadto w wyniku oczyszczania spalin z kwaśnych zanieczyszczeń gazowych (HCl, SO<sub>x</sub>, HF, NO<sub>x</sub>) i metali ciężkich, w zależności od metody oczyszczania (sucha, mokra) powstają odpady niebezpieczne, klasyfikowane pod kodem 19 01 07\* – odpady stałe z oczyszczania gazów odlotowych lub jako 19 01 06\* – szlamy i inne odpady uodnione z oczyszczania gazów odlotowych.

Na podstawie Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych, prognoz dotyczących wytwarzania i sposobów unieszkodliwiania komunalnych osadów ściekowych oszacowano, że ilość powstających popiołów o kodzie 19 01 14 oraz 19 01 07\*, w 2016 r. wyniesie 24–32 tys. Mg, natomiast w 2020 r. 55–65 tys. Mg. Dane te bezsprzecznie wskazują, że tego rodzaju odpadów będzie powstawało w Polsce coraz więcej. Ponieważ zgodnie z hierarchią postępowania z odpadami powinno się je pierwszej kolejności wykorzystywać, wykonano badania ich właściwości fizykochemicznych. Wyniki tych badań zamieszczono w niniejszym artykule.

### Przedmiot i metodyka badań

Przedmiotem badań były popioły lotne (o kodzie 19 01 14) powstające w instalacjach termicznego przekształcania komunalnych osadów ściekowych. Do badań pobrano dwie próby pochodzące z różnych instalacji, w których spalanie osadów ściekowych odbywa się w kotłach fluidalnych. Badane próbki popiołów oznaczono jako K1 i G2.

Wykonano następujące badania właściwości fizykochemicznych.

- skład ziarnowy oznaczono metodą dyfrakcji laserowej przy użyciu aparatu Analysette 22 firmy Fritsch,
- gęstość właściwą określono metodą piknometryczną, za pomocą piknometrów cieczowych zgodnie z normą PN-EN 1097-6:2002/AC [6],

residue catalogue [5] as code 19 01 14 – fly ashes other than 19 01 13. Moreover, as a result of exhaust purification from acidic gas pollutants (HCl, SO<sub>x</sub>, HF, NO<sub>x</sub>) and heavy metals, the hazardous wastes are formed depending on purification method (dry, wet) and those wastes are classified as 19 01 07\* – solid wastes from exhaust gases purification or as 19 01 06\* – sludge and other aqueous wastes from exhaust gases purification.

On the basis of the National Programme for Municipal Waste Water Treatment, forecasts of production and ways of disposal of municipal sewage sludge it was estimated that the amount of formed ashes with code 19 01 14 and 19 01 07\* will reach level of 24–32 thousand Mg. and 55–65 thousand Mg. in 2020. These data clearly indicate that this type of waste will be created in Poland more and more. Since in accordance with these waste hierarchy they should be used in the first place, their physical-chemical properties were tested. The results from these tests are given in this article.

### Subject and methodology

The subject of research was fly ash (code 19 01 14) formed in sewage sludge thermal conversion installations. Two samples were taken from different installations, where sewage sludge incineration is carried out in fluidized bed boilers. Tested samples were marked as K1 and G2.

Following measurements of physical-chemical properties were performed:

- grain composition was measured with laser diffraction method using Fritsch Analysette 22,
- the density was determined by pycnometric method using liquid pycnometers in accordance with PN-EN 1097-6:2002/AC [6],

- skład chemiczny oznaczono metodą spektroskopii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICPAES) oraz metodą spektrometrii masowej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICPMS),
- wymywalność zanieczyszczeń chemicznych przeprowadzono zgodnie z PN-EN 12457-2 [7]. Wodę destylowaną mieszano z odpadami w stosunku 1/10. Całość była wytrząsana w plastikowej butelce przez 24h, następnie przefiltrowana przez filtr o wielkości 0,45  $\mu\text{m}$ . Dla wyciągu wodnego określono pH oraz zawartość zanieczyszczeń za pomocą ICP-AES oraz ICP-MS. Zawartość chlorków oznaczono wykorzystując metodę miareczkową,
- promieniotwórczość, oznaczenie naturalnych stężeń  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{232}\text{Th}$  wykonano przy użyciu scyntylacyjnej i półprzewodnikowej spektrometrii promieniowania gamma.

## Wyniki badań

Gęstość właściwa badanych popiołów była bardzo podobna, dla popiołu lotnego K1 wyniosła 2,56  $\text{Mg}/\text{m}^3$ , natomiast 2,46  $\text{Mg}/\text{m}^3$  dla popiołu G2.

Skład ziarnowy popiołów przedstawiono na rys. 2. Maksymalna wielkość ziaren dla obu popiołów wyniosła 300  $\mu\text{m}$ . Różnice w składzie popiołów widoczne są przede wszystkim w klasie 0–80  $\mu\text{m}$ , przykładowo zawartość ziaren o wielkości poniżej 10  $\mu\text{m}$  dla popiołu K1 wyniosła 4%, natomiast w popiele G2 zdecydowanie więcej – 16%.

Wartości naturalnych izotopów promieniotwórczych przedstawiono w tabeli 2.

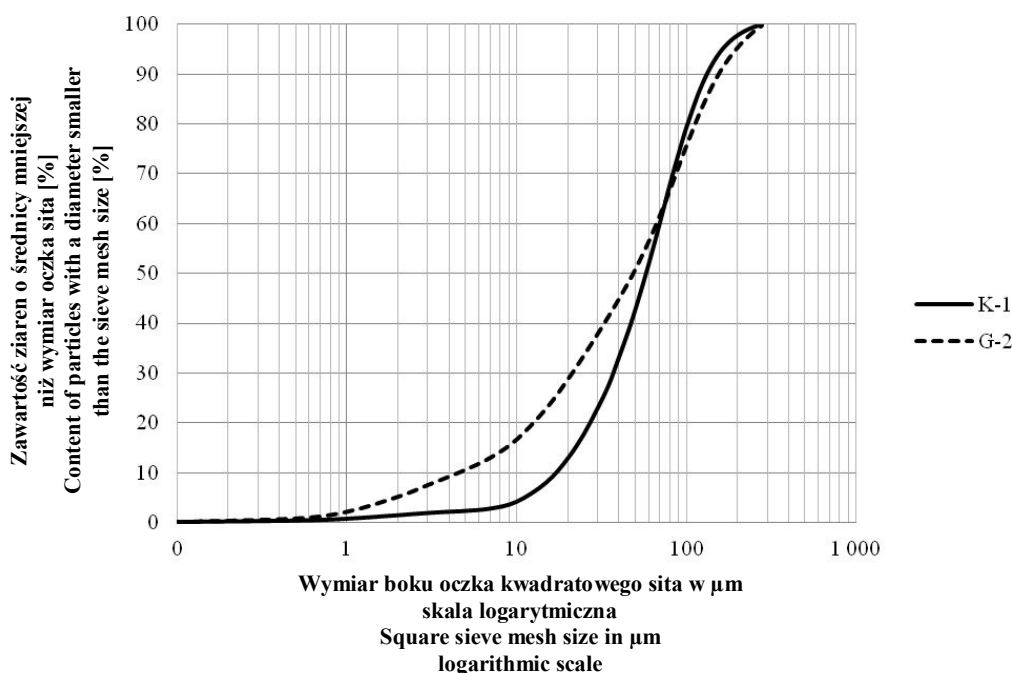
- chemical composition was determined by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICPAES) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICPMS);
- leachability of chemical pollutants was carried out according to PN-EN 12457-2 [7]. Distilled water was mixed with wastes in ratio 1:10. The whole thing was shaken in plastic bottle for 24 hours, then filtered through a 0.45  $\mu\text{m}$  filter. For the water extract the pH and contamination was determined using ICP-AES and ICP-MS. Chlorides content was measured by sulfide titration method;
- radioactivity, measurement of the natural concentrations of  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$  were made using scintillative and semiconductive gamma spectroscopy.

## Test results

The density of measured ashes was very similar, for fly ash it equaled 2.56  $\text{Mg}/\text{m}^3$ , for G2 – 2.46  $\text{Mg}/\text{m}^3$ .

Grain composition is presented on Fig. 2. Maximum size for grains of both ashes amounted 300  $\mu\text{m}$ . The differences in ashes composition were visible mainly in class 0–80  $\mu\text{m}$ , for example content of grains with size below 10  $\mu\text{m}$  for K1 equaled 4% and 16% for G2.

Natural radioactive isotopes values are shown in Tab. 2.



Rys. 2.  
Krzywe składu ziarnowego badanych popiołów

Fig. 2  
Grain composition curves for tested ashes

Tabela 2  
Wartości stężeń naturalnych izotopów promieniotwórczych

Table 2  
Natural radioactive isotopes values

Nazwa próbki popiołu Sample	Aktywność właściwa Specificradioactivity			f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	Aktywność właściwa Specificradioactivity
	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Th ( <sup>228</sup> Ra)			<sup>226</sup> Ra + <sup>228</sup> Ra
	[Bq/kg]	[Bq/kg]	[Bq/kg]	–	[Bq/kg]	[Bq/kg]
G2	388±20	52±3	26±2	0,43±0,02	52±3	78±4
K1	512±27	76±4	32±3	0,58±0,02	76±4	108±5

Odpady spełniają wymagania dotyczące zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu (<sup>40</sup>K), radu (<sup>226</sup>Ra) i toru (<sup>228</sup>Th) w surowcach i materiałach budowlanych stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych w budownictwie, określone Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 roku [8]. Zgodnie z wymienionym rozporządzeniem wartości wskaźników aktywności f<sub>1</sub> i f<sub>2</sub> nie mogą przekraczać o więcej niż 20% wartości f<sub>1</sub> = 1 i f<sub>2</sub> = 200 Bq/kg. Badane popioły spełniają powyższe nierówności (f<sub>1</sub> ≤ 1,2 oraz f<sub>2</sub> ≤ 240 Bq/kg), a więc mogą być dopuszczone do produkcji materiałów budowlanych stosowanych w budynkach przeznaczonych na stały pobyt ludzi.

Wyniki badania składu chemicznego przedstawiono w tabeli 3. Głównymi składnikami badanych popiołów są SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> oraz CaO. Porównując wyniki dla obu popiołów widoczne są istotne różnice w zawartości poszczególnych składników. Świadczy to o różnicach w składzie chemicznym spalanych osadów ściekowych. Zwraca uwagę zawartość P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> w obu próbkach, wyniosła ona dla popiołu K1 21% wag., a dla popiołu G2 aż 38%. Tak

Wastes comply with the content of natural radioactive isotope of potassium (<sup>40</sup>K), radium (<sup>226</sup>Ra) and thorium (<sup>228</sup>Th) in raw materials and construction materials in the buildings intended for people and livestock, as well as in industrial waste in construction what is consistent with the Regulation of the Council of Ministers from January 2 2007 [8]. In accordance with abovementioned regulation the activity factors f<sub>1</sub> and f<sub>2</sub> cannot exceed by more than 20% the values f<sub>1</sub> = 1 and f<sub>2</sub> = 200 Bq/kg. Examined ashes meet the above criteria (f<sub>1</sub> ≤ 1.2 and f<sub>2</sub> ≤ 240 Bq/kg) so they can be released for production of building materials used for buildings intended for permanent stay of people.

The results of the study of the chemical composition is shown in Tab. 3. The main components of examined ashes are: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and CaO. By comparing the results for both ashes we can observe important differences in content of individual components. This is evidence of the differences in the chemical composition of incinerated sewage sludge. What draws attention is the content of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in both samples, it equaled 21 WT% for K1 and 38 WT%

Tabela 3  
Skład chemiczny popiołów (% wag.)

Table 3  
Chemical composition of fly ash (WT%)

Komponent Component	Próbki popiołów Samples of ash	
	G-2	K-1
SiO <sub>2</sub>	21,00	43,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,75	4,96
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,98	2,17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	38,09	21,19
CaO	17,80	21,29
MgO	3,86	3,81
BaO	0,05	0,08
K <sub>2</sub> O	1,05	1,49
Na <sub>2</sub> O	0,44	0,41
SO <sub>3</sub>	0,61	1,07

wysoka zawartość fosforu w popiołach związana jest z jego obecnością w osadach ściekowych [9].

Analizując zawartość metali (tabela 4) można zauważyć, że w obu popiołach miedź i cynk występują w największych ilościach. Jest to także związane z dominacją tych pierwiastków w ściekach komunalnych a następnie w powstających w oczyszczalni osadach ściekowych [10,11].

Wyniki wymywalności zanieczyszczeń chemicznym przedstawiono w tabeli 5. Dodatkowo dla porównania w tabeli, zamieszczono wymywalność zanieczyszczeń z popiołów lotnych ze spalania węgla kamiennego [12] oraz wartości dopuszczalne, określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wody lub do ziemi [13].

Odczyn pH wyciągu wodnego badanych popiołów różni się znacznie od siebie, dla popiołu G2 odczyn wyciągu jest prawie obojętny, natomiast dla popiołu K1

for G2. High concentration of phosphorus in ashes is linked to its presence in the sludge [9].

By analyzing the content of metals (Tab. 4) it can be noticed that in both samples copper and zinc are in the greatest quantities. It is also related to domination of these elements in the municipal sewage treatment plant and resulting sludge [10, 11].

The results of the leachability of chemical pollutants are shown in Tab. 5. In addition, the comparison was put in the table to determine the leachability of pollutants from fly ashes coming from hard coal combustion [12] and limit values described in the Ministry of Environment Regulation which deals with the conditions which has to be fulfilled in case of introducing sludge to water or ground [13].

The pH of water extract of examined ashes differs significantly, for G2 the reaction is almost neutral, for K1 it is basic. The differences concern on

Tabela 4  
Zawartość metali w popiołach [mg/kg]

Metal	Próbki popiołów Samples of ash	
	G-2	K-1
Cd	3,94	5,90
Cr	94,52	79,40
Cu	886,97	528,78
Hg	0,21	0,14
Ni	53,17	60,63
Pb	64,42	104,80
Zn	3567,01	3280,21

Table 4  
Metal content in ashes [mg/kg]

Tabela 5  
Odczyn pH oraz wymywalność zanieczyszczeń chemicznych z badanych popiołów [mg/kg s.m.]

Parametr, składnik Parameter, component	Próbki popiołów Samples of ash		Popiół ze spalania węgla kamiennego Ash from hard coal combustion	Dopuszczalne wartości wg [13] Limit values according to [13]
	G2	K1		
pH	6,56	11,54	12,9	6,5 - 9,0
Cd	0,003	0,0016	< 0,005	0,02
Cr	<0,005	<0,005	0,014	0,5
Cu	0,002	<0,001	0,012	0,5
Hg	0,0124	0,0185	b.d.	0,05
Ni	0,011	<0,001	< 0,02	-
Pb	0,0003	<0,0001	0,99	0,5
Zn	0,098	0,073	0,26	2
Cl	6,7	53,5	3701	1000
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	924,6	857,9	1808	500

Table 5  
Leachability of chemical pollutants and pH of examined ashes [mg/kg of dry matter]

zasadowy. Także znaczne różnice dotyczą wymywalności chlorków z popiołów. Wymywalność dla pozostałych składników była na podobnym do siebie poziomie. Mimo bardzo wysokich zawartości Zn i Cu w obu próbkach popiołów, ich wymywalność jest znacznie niższa niż dopuszczalna dla ścieków które mogą być wprowadzone do wód lub do ziemi. Prawdopodobnie jest to związane z występowaniem tych metali w formach nierozpuszczalnych przez wodę. Podobnie jest dla wymywalności pozostałych metali ciężkich. Jedynie zawartość siarczanów w wyciągu wodnym dla obu popiołów była wyższa od dopuszczalnej przez wspomniane rozporządzenie.

Porównując wyniki uzyskane dla badanych popiołów z danymi dotyczącymi wymywalności z popiołu ze spalania węgla kamiennego widać, że są one znacznie niższe. Ponieważ popioły lotne ze spalania węgla są masowo wykorzystywane w różnych kierunkach (m.in. w budownictwie, górnictwie, geotechnice) można przypuszczać, że wyniki badań wymywalności zanieczyszczeń chemicznych dla popiołów ze spalania osadów ściekowych nie będą stanowiły bariery dla ich wykorzystania. Wymaga to jednak przeprowadzenia szeregu dalszych specjalistycznych badań w celu potwierdzenia przydatności popiołów ze spalania osadów ściekowych do konkretnego zastosowania.

### Podsumowanie

Jednym z odpadów powstających w wyniku termicznego przekształcenia osadów ściekowych jest popiół lotny, klasyfikowany pod kodem 19 01 14. Właściwości popiołu zależą głównie od składu chemicznego spalanych osadów ściekowych. Wykonane badania składu chemicznego popiołów wskazują, że głównymi składnikami tego rodzaju odpadów są  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  oraz  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Szczególnie udział fosforu jest znaczny na tle pozostałych składników, jest to wynikiem występowania dużych ilości związków fosforu w oczyszczanych ściekach. Także wysoka zawartość cynku i miedzi w osadach ściekowych, powoduje, że zawartość tych metali w popiołach po spaleniu osadów ściekowych jest także najwyższa spośród innych metali ciężkich. Mimo to wymywalność Zn, Cu jak i innych metali ciężkich jest znacznie niższa niż dopuszczalna w ściekach mogących być wprowadzane do wód i ziemi.

Wykonane wstępne badania właściwości fizykochemicznych wskazują, że istnieją szanse na wykorzystanie tego rodzaju popiołów lotnych. Choć potwierdzenie tego wymaga przeprowadzenia jeszcze szeregu badań właściwości samych odpadów (np. zmienności właściwości w czasie) jak i wymaganych przepisami dotyczących konkretnego wykorzystania.

Artykuł powstał w wyniku realizacji grantu dziekańskiego nr 15.11.100.710 oraz prac statutowych, nr 11.11.100.482.

leachability of chlorides as well. Leachability for the rest of the components is on the similar level. Despite very high concentrations of Zn and Cu in both samples, their leachability is much more lower than the permissible value for sludge which may be introduced to the water or the ground. It is probably related to the presence of these metals in the non-water-soluble forms. Similarly for leachability of the rest metals. Only the content of sulphates in water extract for both ashes was higher than permitted by mentioned regulation.

By comparing the results obtained for the examined ashes with the data related to leachability from the ash from hard coal combustion it is noticeable that they are much lower. Because fly ashes from coal combustion are massively used in different branches (e.g. in construction, mining, geotechnics) we may assume that the results of leachability studies will not be the barrier to use them. However, it requires carrying out a series of further specialized tests to confirm the suitability of sewage sludge to the specific application.

### Conclusion

One of the waste formed due to thermal conversion of sewage sludge is fly ash, which is classified by code 19 01 14. The properties of the ash depend mainly on the chemical composition of incinerated sewage sludge. Carried studies of chemical composition indicate that main components of this kind of waste are  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  and  $\text{P}_2\text{O}_5$ . The share of phosphorus is especially significant comparing with other components, it is the result of its huge amounts in the treated sewage sludge. The high concentration of zinc and copper in sewage sludge causes the situation, where content of these metals in the ashes after combustion is also the highest among other metals. Despite this the leachability of Zn, Cu and other heavy metals is much lower than permissible in sludge released to the water or to the ground.

Conducted preliminary examinations of physical-chemical properties indicate that there are opportunities to use this kind of ash. Confirmation of this fact requires a number of further studies of wastes (e.g. changeability of properties in time) and, as well, examination of the regulations for a specific use.

The article was created as a result of the implementation of the grant no. 15.11.100.710 and statutory work no. 11.11.100.482.

## Literatura – References

1. *Ochrona Środowiska 2011. Informacje i Opracowania Statystyczne*. Główny Urząd Statystyczny. Warszawa 2011.
2. *Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych (Aktualizacja 2010)*, pobrano XI 2012 r. z [www.kzgw.gov.pl](http://www.kzgw.gov.pl).
3. *Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz.U. Nr 62 poz. 628 z późn. zm.)*.
4. *Krajowy plan gospodarki odpadami 2014 (M. P. Nr 101, poz. 1183)*.
5. *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. Nr 112 poz. 1206)*.
6. *Polska Norma PN-EN 1097-6:2002/AC Badanie mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw*.
7. *Polska Norma PN-EN 12457-2: Charakteryzowanie odpadów. Wymywanie. Badanie zgodności w odniesieniu do wymywania ziarnistych materiałów odpadowych i osadów. Część 2: Jednostopniowe badanie porcjowe przy stosunku cieczy do fazy stałej 10 l/kg w przypadku materiałów o wielkości cząstek poniżej 4 mm (bez redukcji lub z redukcją wielkości)*.
8. *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, oraz kontroli zawartości tych izotopów (Dz.U. 2007 Nr 4, poz. 29)*.
9. Bień J. B., Wystalska K., 2011 – *Osady ściekowe, teoria i praktyka*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej. Częstochowa, 2011.
10. Raclavská H., Doškářová Š., Škrobánková H., 2011 – *Ecotoxicity of sewage sludge from waste water treatment plant. Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(27), p. 39–50*.
11. Rosik-Dulewska Cz., 2005 – *Podstawy gospodarki odpadami*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005.
12. Piotrowski Z., 2011 – *Odzysk odpadów drobnoziarnistych w górnictwie podziemnym węgla kamiennego. Archiwum Górnictwa, nr 12, Wydawnictwo Instytutu Mechaniki Górniczej PAN, Kraków*.
13. *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jaki należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz. U. Nr 137, poz. 984)*.
14. Andrusikiewicz W.; 2004 – *Możliwość wykorzystania wybranych odpadów jako materiału podsadzkowego w świetle wymagań normowych — Possibility of utilization of selected waste materials for backfill in view of the regulations. Górnictwo i Geoinżynieria. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków ; ISSN 1732-6702., 2004., 28 z. 4/1 s. 17–25*.