

dr hab. inż. Katarzyna Zabielska-Adamska, prof. PB<sup>1)</sup>

# Osady ściekowe spalane w piecu rusztowym jako materiał do budowy nasypów

## *Municipal sewage sludge incinerated in a grate furnace as a material for embankment construction*

DOI: 10.15199/33.2015.07.25

(Oryginalny artykuł naukowy)

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono właściwości odpadów ze spalania osadów ściekowych w piecu z mechanicznym rusztem oraz mieszaniny odpadów z piaskiem w stosunku 3 : 7. Odpady i ich mieszanina z piaskiem spełniają wymagania stawiane materiałom wbudowywanym w nasypy komunikacyjne, mogą być zatem rozważane jako substytut gruntów naturalnych. Odpady powinny być wbudowywane w miejsca odizolowane od wody gruntowej i opadowej ze względu na 30% obniżenie wartości CBR po ich nasączeniu. Wskazuje na to również możliwość wymywania metali ciężkich, których zawartość w odpadach jest wyższa niż w glebach niezanieczyszczonych. Wartość CBR mieszaniny odpadów z piaskiem jest wyższa, jak również ulega mniejszej redukcji po 4-dobowym nasączeniu. Ze względu na ilość 30% odpadów w mieszance, a w związku z tym niższą zawartość metali ciężkich, mieszaninę można wbudowywać bezpośrednio w warstwy nasypu. Odpady ze spalania osadów w kotle rusztowym są lepszym materiałem do robót ziemnych niż popioły ze spalania osadów w piecu fluidalnym, ze względu na grubsze uziarnienie i mniejszą zawartość metali ciężkich.

**Słowa kluczowe:** odpady ze spalania komunalnych osadów ściekowych, nasypy drogowe, właściwości geotechniczne odpadów.

**Abstract.** The paper presents the properties of the waste from municipal sewage sludge incineration in the furnace with mechanical moving grate, as well as the waste mixture with sand in a ratio of 3 : 7. The waste and its mix with sand meet code requirements for material suitable for road embankment, so they can be considered as a substitute for natural soils. The waste should be built into places isolated from ground water and precipitation due to 30% reduction of CBR values after waste soaking. That is also indicated by the possibility of leaching of heavy metals because their content in the waste is much higher than in uncontaminated soils. The CBR value for the waste and sand mixture is higher, and it undergoes a smaller reduction after a 4-day soaking. Due to the fact that the mixture contains 30% of waste, and thus lower content of heavy metals, it can be incorporated directly into the embankment layers. Product of sewage sludge combustion in the furnace with mechanical grate is more preferred material for earthworks than fly ash generated during incineration in a fluidised bed due to the coarser graining and lower content of heavy metals.

**Keywords:** waste from municipal sewage sludge incineration, road embankments, waste geotechnical properties.

Odpady ze spalania komunalnych osadów ściekowych są stosunkowo nowym, niedostatecznie rozpoznany materiał. Do czerwca 2010 r. funkcjonowały w Polsce trzy spalarnie komunalnych osadów ściekowych o łącznej wydajności 37300 Mg/r. Krajowy plan gospodarki odpadami 2014 [1] założył zwiększenie ilości osadów przekształcanych metodami termicznymi. W efekcie zaplanowano uruchomienie kolejnych instalacji, które łącznie będą mogły zagospodarować 189000 Mg/r. s.m. komunalnych osadów ściekowych.

Możliwość wykorzystania odpadów określa Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami z 21 marca 2006 r. [2], ale pomija ono odpady ze spalania komunalnych osadów

ściekowych. Zgodnie z tym rozporządzeniem odpady energetyczne z klasycznych palenisk, makroskopowo i chemicznie zbliżone do spalonych osadów, po spełnieniu ustalonych warunków mogą być stosowane m.in. do budowy nasypów kolejowych i drogowych. Instytut Badawczy Dróg i Mostów już w 1981 r. wydał wytyczne wbudowywania odpadów energetycznych w nasypy komunikacyjne [3], dopuszczając odpady o określonych właściwościach do konstruowania korpusu drogowego. Uwzględnienie te powielono później w kolejnych polskich normach dotyczących robót ziemnych, jako niezbędne kryteria wykorzystania tych odpadów.

Celem artykułu jest przedstawienie właściwości odpadów ze spalania komunalnych osadów ściekowych w piecu rusztowym oraz możliwości ich wykorzystania do nasypów drogowych. Badania przeprowadzono na odpadach w stanie naturalnym oraz mieszaninie odpadów z piaskiem

w stosunku 3 : 7. Wykorzystanie mieszaniny odpadów z piaskiem pozwala na uniknięcie wprowadzenia do środowiska metali ciężkich w ilości przekraczającej normy dotyczące gleb niezanieczyszczonych.

### Charakterystyka odpadów

W większości instalacji osady ściekowe są spalane w piecach ze złożem fluidalnym, w temperaturze 850 – 1100 °C. Pozostałością po spalaniu jest m.in. popiół lotny wychwytywany z gazów spalinowych w elektrofiltrach. Osady mogą być spalane również w niższej temperaturze, w mniej wydajnych piecach z mechanicznym rusztem ruchomym, gdzie uzyskuje się żużel i popiół. Taki rodzaj odpadów jest wytwarzany w spalarni komunalnych osadów ściekowych w MPWiK w Łomży, z której pobrano materiał do badań własnych. W komorze paleniskowej spalanie odbywa się w temperaturze wyższej niż 600 °C, a dopalanie w części górnej – w temperaturze powy-

<sup>1)</sup> Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska; e-mail: kadamska@pb.edu.pl

żej 850 °C [4]. Podstawowy skład chemiczny badanych odpadów oraz odpadów z kotłów fluidalnych i odpadów energetycznych [5, 6, 7] przedstawiono w tabeli 1, natomiast zawartość metali ciężkich w tabeli 2.

**Tabela 1. Zawartość podstawowych związków chemicznych w odpadach [%]**

Table 1. The content of basic compounds in wastes [%]

Związek chemiczny	Zawartość związków chemicznych [%] w przypadku odpadów			
	ze spalania osadów ściekowych		energetycznych ze spalania węgla kamiennego [7]	
	w kotle rusztowym w Łomży [5]	w złożu fluidalnym [6] min–max–(średnia)	mieszanina popiołowo-żuźłowa	żuźel
SiO <sub>2</sub>	34,68	14,4 – 65,0 – (36,1)	42,0 – 65,0	20 – 54,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,32	4,4 – 34,2 – (14,2)	15,05 – 28,0	10 – 35
CaO	15,42	1,1 – 40,1 – (14,8)	3,0 – 9,0	1 – 20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,32	2,1 – 30,0 – (9,2)	3,0 – 15,0	2 – 35
MgO	2,65	0,02 – 23,4 – (2,4)	0,73 – 8,0	0,3 – 6,0
SO <sub>3</sub>	0,60	0,01 – 12,4 – (2,8)	0,2 – 5,0	0,1 – 12,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	18,17	0,3 – 26,7 – (11,6)	0,082 – 1,0	0,1 – 1,0
TiO <sub>2</sub>	0,41	0,3 – 1,9 – (1,1)	0,6 – 1,9	0,5 – 1,5
MnO	–	0,03 – 0,9 – (0,3)	0,01 – 0,2	0,04
Na <sub>2</sub> O	0,70	0,01 – 6,8 – (0,9)	0,093 – 8,0	0,35 – 4,00
K <sub>2</sub> O	1,30	0,1 – 3,1 – (1,3)	0,078 – 3,6	1,0 – 2,6

**Tabela 2. Zawartość metali ciężkich w odpadach [mg/kg s.m.]**

Table 2. Heavy metal contents in wastes [mg/kg d.m.]

Metale ciężkie	Zawartość metali ciężkich [mg/kg s.m.]	
	odpady z kotła rusztowego w Łomży	popiół ze spalania w złożu fluidalnym [6] min – max – (średnia)
As	0,002	0,4 – 726 – (87)
Ba	–	90 – 14600 – (4142)
Cd	1,5	4 – 94 – (20)
Co	–	19 – 78 – (39)
Cr	4,2	16 – 2100 – (452)
Cu	249,5	200 – 5420 – (1962)
Hg	0,00055	–
Mn	–	300 – 9000 – (3000)
Ni	4,7	79 – 2000 – (671)
Pb	10,9	90 – 2055 – (600)
Sb	–	35 – 35 – (35)
Sn	–	183 – 617 – (400)
Sr	–	539 – 539 – (539)
V	–	14 – 66 – (35)
Zn	394,6	1084 – 10000 – (3512)

Skład chemiczny odpadów ze spalania osadów ściekowych w piecach rusztowych nie odbiega od wartości średnich dla osadów spalanych w piecach fluidalnych. W porównaniu z odpadami z węgla kamiennego skład odpadów odpowiada żuźłowi, natomiast wyższa jest zawartość fosforu i straty prażenia. Udział metali ciężkich w odpadach ze spalania osadów w piecach rusztowych jest dużo niższy od ich zawartości w popiołach z pieców fluidalnych. Kadm, miedź i cynk przekraczają zawartość w glebach niezanieczyszczonych, ale są niższe

od stężeń progowych w przypadku substancji wysoce toksycznych [8].

Uziarnienie popiołów uzyskiwanych podczas spalania osadów w piecach fluidalnych różni się od odpadów z kotłów rusz-

towych. Badane odpady ze spalania w kotle z rusztem mechanicznym odpowiadają uziarnieniem gruntem gruboziarnistym – od pospółki do żwiru, o najgrubszych ziarnach > 40 mm i średnicy zastępczej d<sub>50</sub>, poniżej której znajduje się 50% ziaren i cząstek, w zakresie 1,6–6 mm. Mieszanina odpadów z piaskiem w stosunku 3 : 7 odpowiada uziarnieniem pospółce o d<sub>50</sub> = 1 mm. Ziarna żuźła są nietrwałe i rozkruszają się pod naciskiem. W tabeli 3 zestawiono uzyskane właściwości fizyczne i wytrzymałościowe

**Tabela 3. Właściwości badanych odpadów i ich mieszaniny z piaskiem**

Table 3. Properties of the tested waste and its mixture with sand

Parametr	Odpady z kotła rusztowego w Łomży	Mieszanina odpadów z piaskiem
Gęstość właściwa szkieletu gruntowego [Mg/m <sup>3</sup> ]	2,56 ± 0,02	–
Parametry zagęszczalności:		
– wilgotność optymalna [%]	4,50	15,50
– maksymalna gęstość objętościowa [Mg/m <sup>3</sup> ]	1,046	1,560
Kapilarność bierna [m]	< 1	< 1
Pęcznienie pod obciążeniem 2,44 kPa [%]	0,17 – 0,23	0,00 – 0,01
Wytrzymałość na ścinanie:		
– kąt tarcia wewnętrzznego φ [°]	45	34,7
– opór spójności c [kPa]	38,2	6,3
CBR:		
– bezpośrednio po zagęszczeniu [%]	13,3 – 21,9	30,7 – 36,4
– po 4-dobowym nasączeniu wodą [%]	8,9 – 13,1	26,9 – 28,3

badanych odpadów oraz ich mieszaniny z piaskiem w stosunku 3 : 7. Do określenia właściwości odpadów przyjęto metodykę badań stosowaną w badaniach gruntów budowlanych. Badania pęcznienia, CBR oraz wytrzymałości na ścinanie w aparacie bezpośredniego ścinania wykonano na odpadach zagęszczonych metodą Proctora przy wilgotności optymalnej.

Średnica ziaren i cząstek popiołów z pieców fluidalnych wynosi 8 ± 200 μm, a średnica zastępcza d<sub>50</sub> – 44 μm [6]. Oznacza to, że są mniej korzystnym materiałem z punktu widzenia zastosowania geotechnicznego.

### Analiza możliwości wykorzystania odpadów

W tabeli 4 pokazano wyniki badań własnych odpadów ze spalania komunalnych osadów ściekowych i porównano je z wymaganiami dotyczącymi odpadów energetycznych ze spalania węgla wbudowywanych w nasypy komunikacyjne [3]. Odpa-

**Tabela 4. Właściwości odpadów ze spalania osadów ściekowych w piecu rusztowym oraz mieszaniny odpadów z piaskiem, w porównaniu z wymaganiami normowymi**

Table 4. Properties of waste from municipal sewage sludge incineration in grate furnace, and waste and sand mix, in comparison to Polish guidelines

Cechy	Wymagania normowe	Odpady z kotła rusztowego w Łomży	Mieszanina odpadów z piaskiem
<b>Wymagania podstawowe</b>			
Uziarnienie [%]: – zawartość frakcji piaskowo-zwirowej – zawartość ziaren < 0,075 mm	≥ 35 ≥ 75	40,46 – 81,84 1,36 – 2,0	68,56,3
Wskaźnik piaskowy [-]: – w stanie naturalnym – po 5-krotnym zagęszczeniu w aparacie Proctora	≥ 15 ≥ 10	– 75	– –
Zawartość niespalonego węgla [%]	≤ 10	4,72	–
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu [Mg/m <sup>3</sup> ]	≥ 1,0	1,046	1,560
CBR po 4 dobach nasączenia wodą [%]	≥ 10	11,0	27,6
Pęcznienie liniowe [%]:			
– bez obciążenia	≤ 2,0	–	–
– z obciążeniem 3 kPa	≤ 0,5	0,20	0,005
Kąt tarcia wewnętrzznego [°]	≥ 20	45,0	34,7
<b>Wymagania uzupełniające</b>			
Kapilarność bierna [m]	≤ 2,0	< 1,0	< 1,0
Zawartość SO <sub>3</sub> [%]	< 3,0	0,46	–

dy ze spalania osadów ściekowych w piecu rusztowym oraz ich mieszanina z piaskiem spełniają wszystkie wymagania dotyczące odpadów wbudowywanych w budowlę ziemne.

## Wnioski

- Odpady ze spalania osadów w kotle z rusztem mechanicznym charakteryzują się grubszym uziarnieniem niż popioły uzyskiwane ze spalania osadów w piecach fluidalnych. Udział metali ciężkich w odpadach ze spalania osadów w piecach rusztowych jest dużo mniejszy od ich zawartości w popiołach z pieców fluidalnych. Odpady te są zatem korzystniejszym materiałem do wbudowywania w nasypy niż odpady ze spalania osadów w złożu fluidalnym.

- Rezultaty badań właściwości geotechnicznych oraz składu chemicznego wskazały na możliwość zastosowania odpadów ze spalania komunalnych osadów ściekowych w piecach rusztowych jako materiału na nasypy drogowe. Odpady spełniają wymagania normowe dotyczące odpadów

energetycznych wbudowywanych w nasypy komunikacyjne. Wymagania te spełnia także mieszanina odpadów z piaskiem w stosunku 3 : 7, w przypadku której stwierdzono wyższą wartość CBR, ale niższą wytrzymałość na ścinanie w porównaniu z odpadami w stanie naturalnym.

- Odpady ze spalania osadów ściekowych powinny być wbudowywane w miejsca odizolowane od wody gruntowej i opadowej ze względu na stosunkowo małą wartość CBR nasączonych odpadów. Wskazuje na to również możliwość wymywania metali ciężkich z odpadów. Mieszaninę odpadów z piaskiem można wbudowywać bezpośrednio w warstwy nasypu, ze względu na niższą zawartość w nich metali ciężkich, jak również wyższą wartość CBR i mniejszą jego redukcję po nasączeniu mieszaniny wodą niż w przypadku odpadów ze spalania osadów ściekowych.

## Literatura

[1] Uchwała nr 217 Rady Ministrów z 24 grudnia 2010 r. w sprawie „Krajowego planu gospodarki odpadami 2014”. Monitor Polski nr 101, poz. 1183.

[2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z 21 marca 2006 r. w sprawie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami. Dz.U. 2006 r. nr 49, poz. 356.

[3] Słupski W., Technologia wykonywania nasypów komunikacyjnych z odpadów energetycznych (wytyczne), IBDiM, Warszawa 1981.

[4] Zabielska-Adamska K., Produkt spalania komunalnych osadów ściekowych jako grunt antropogeniczny, Rocznik Ochrona Środowiska, Vol. 17, 2015, 1286 – 1305.

[5] Kosior-Kazberuk M., Application of SSA as partial replacement of aggregate in concrete, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 20, 2011, 365 – 370.

[6] Cyr M., Coutand M., Clastes P., Technological and environmental behavior of sewage sludge ash (SSA) in cement-based materials, Cement and Concrete Research, Vol. 37, 2007, 1278 – 1289.

[7] Zabielska-Adamska K., Popiół lotny jako materiał do budowy warstw uszczelniających, Wyd. Politechniki Białostockiej, Białystok 2006.

[8] Białowiec A., Janczukowicz W., Krzemieniowski M., Możliwości zagospodarowania popiołów po termicznym unieszkodliwianiu osadów ściekowych w aspekcie regulacji prawnych, Rocznik Ochrona Środowiska, Vol. 11, 2009, 959 – 971.

Przyjęto do druku: 04.05.2015 r.

dr hab. inż. Władysław Gardziejczyk, prof. nzw.<sup>1\*)</sup>  
mgr inż. Marek Motylewicz<sup>1)</sup>

# Przebudowa dróg i ulic a klimat akustyczny w ich otoczeniu

## *Reconstruction of roads and streets and the acoustic climate in their surroundings*

DOI: 10.15199/33.2015.07.26

(Studium przypadku)

**Streszczenie.** Przebudowa dróg i ulic z zastosowaniem odpowiednich środków, metod i technologii może prowadzić do znacznego obniżenia poziomu hałasu od ruchu samochodowego w ich otoczeniu. Budowa obwodnic wyprowadzających ruch tranzytowy pojazdów ciężarowych poza obszary zabudowy, ekranów akustycznych, wałów ziemnych czy „cichych nawierzchni” mogą zredukować poziom hałasu od kilku do kilkunastu decybeli. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów równoważnego poziomu dźwięku w otoczeniu skrzyżowania typu rondo, drogi z wybudowanymi ekranami oraz drogi z nawierzchnią o różnej charakterystyce wykazano, że w zależności od przyjętego rozwiązania uzyskano obniżenie poziomu hałasu od ruchu drogowego od 5,0 dB do 12,8 dB.

**Słowa kluczowe:** przebudowa dróg i ulic, równoważny poziom dźwięku, hałas drogowy.

**Abstract.** Reconstruction of roads and streets with the use of right means, methods and technologies may lead to a significant reduction of traffic noise level in their surroundings. The construction of bypasses which move heavy vehicles outside built-up areas, the construction of noise barriers and noise protection embankments or the construction of a "silent pavements" can reduce the noise level at the recipient from a few to several decibels. On the basis of the measurements of equivalent sound level carried out in the surroundings of roundabout, road with the noise barriers and road with different pavement characteristics, it has been shown, that depending on the applied solution, the reduction of traffic noise levels varied from 5.0 dB to 12.8 dB.

**Keywords:** reconstruction of roads and streets, equivalent noise level, traffic noise.

Przebudowa dróg i ulic jest podyktowana zwykle poprawą bezpieczeństwa ruchu drogowego, zwiększeniem przepustowości

oraz płynności i komfortu jazdy. Jednym z ważniejszych zagadnień przy jej realizacji jest spełnienie wymagań dotyczących ochrony środowiska, przede wszystkim hałasu od ruchu samochodowego.

Ochrona przed hałasem drogowym polega na utrzymaniu równoważnego poziomu

dźwięku w otoczeniu tras drogowych na poziomie nieprzekraczającym wartości dopuszczalnych. Działania ograniczające ujemny wpływ transportu na klimat akustyczny:

- zmniejszenie natężenia ruchu i udziału pojazdów ciężarowych, obniżenie prędkości jazdy, zarządzanie ruchem;

<sup>1)</sup> Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji;  
e-mail: w.gardziejczyk@pb.edu.pl