
PRACE

**Instytutu Szkła, Ceramiki
Materiałów Ogniotrwałych
i Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Glass, Ceramics
Refractory and Construction Materials

Nr 5

ISSN 1899-3230

Rok III

Warszawa–Opole 2010

MARTA BOŻYM*

Wykorzystanie pyłów dymnicowych ze spalania węgla brunatnego w gospodarce osadowej

Pyły dymnicowe, inaczej zwane popiołami lotnymi, ze spalania węgla brunatnego wykorzystuje się między innymi do stabilizacji osadów ściekowych. Zysk płynący z tego procesu to jednoczesne wykorzystanie dwóch stałych odpadów – redukcja kosztów związanych ze składowaniem popiołów oraz higienizacja osadów. Popioły lotne różnią się od wapna palonego składem, mechanizmem higienizacji i możliwością wiązania metali ciężkich. Ponadto, popioły wpływają dodatnio na produkcję roślinną, gdyż nie powodują niekorzystnych zmian we wzroście roślin czy ich składzie.

Celem pracy było przedstawienie możliwości wykorzystania pyłów dymnicowych ze spalania węgla brunatnego jako materiału do stabilizacji i higienizacji osadów ściekowych oraz porównanie efektów ze stosowaniem wapna palonego.

1. Wprowadzenie

Higienizację chemiczną osadów ściekowych prowadzi się zwykle poprzez dodanie do masy osadowej czynnika alkalizującego, np. tlenku lub wodorotlenku wapnia bądź reagentów odpadowych, takich jak pyły dymnicowe ze spalania węgla, mączki bitumicznej i innych. Każdy z tych reagentów spełnia w gospodarce osadowej jednocześnie funkcje czynnika higienizującego, odwadniającego oraz stabilizującego.

Wykorzystanie pyłów dymnicowych węgla brunatnego do stabilizacji osadów ściekowych łączy w sobie funkcje jednoczesnego unieszkodliwienia dwóch rodzajów odpadów, co ma duże znaczenie gospodarcze i ekologiczne. Jednym z ograniczeń stosowania tego reagenta może być koszt transportu z elektrowni wykorzystującej węgiel brunatny i koszt ten staje się opłacalny jedynie dla oczyszczalni znajdujących się w niedalekiej odległości od źródła pyłów.

* Dr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Materiałowej, Procesowej i Środowiska w Opolu.

Celem pracy było przedstawienie możliwości wykorzystania pyłów dymnicowych ze spalania węgla brunatnego w gospodarce osadowej.

2. Proces wapnowania osadów ściekowych przy wykorzystaniu CaO

Wapnowanie osadów ściekowych ma na celu przede wszystkim ich higienizację i stabilizację. Najczęściej wykorzystuje się do tego celu wapno palone, rzadziej gaszone bądź materiały odpadowe, takie jak: mączka bitumiczna, dolomity, odpady ze spalania węgla brunatnego, pyły z wapienników lub pieców cementowych. Według Schwarzbrot i in. [26] higienizację osadu osiąga się przy zachowaniu następujących parametrów: pH 12 utrzymane w osadzie przez 3 miesiące oraz temperatura przynajmniej 55°C przez 75 minut. Malej [14] i Oleszkiewicz [15] podają natomiast, że warunkiem pełnej higienizacji osadów jest utrzymanie wysokiej temperatury mieszaniny 55–70°C w czasie 24 godzin oraz na początku procesu wysokiego pH min. 12,5. Niezależnie od stosowanego materiału wapnującego, najważniejsze jest osiągnięcie optymalnych warunków higienizacji w celu zminimalizowania skażenia mikrobiologicznego osadów [21]. Malej [14] informuje, że w badaniach testowych niszczenie form wegetatywnych bakterii oraz wirusów następuje po godzinnej ekspozycji przy pH = 11,0, bakterii jelitowych *Escherichia coli* przy pH = 11,5–12,0, a bakterii z grupy *Salmonella* przy pH = 11,6. Całkowita destrukcja jaj helmintów następuje w wyższych temperaturach, powyżej 48°C w czasie 24 godzin. Dlatego też zaleca się stosowanie wapna palonego, które podnosi temperaturę znacznie gwałtowniej niż wapno gaszone czy inne materiały wapnujące. Jednak koszt związany ze stosowaniem wapna palonego jest wysoki w porównaniu do innych materiałów, zwłaszcza odpadowych.

Dodanie CaO do osadów ściekowych, w celu ich higienizacji i odwodnienia, ma także negatywne skutki. Bardzo intensywny przebieg procesu, z wytworzeniem wysokiej temperatury, wpływa na zmniejszenie zawartości azotu przez parowanie amoniaku. Poza tym produkt końcowy o wysokim pH i zawierający poważny udział wapnia może być stosowany przyrodniczo jedynie na terenach zakwaszonych [11, 32]. Wapnowanie osadów ściekowych CaO może powodować wzmożone pylenie produktu końcowego [30], a efektem końcowym jest osad o strukturze mazistej, trudny do transportu i aplikacji [31].

Proces higienizacji osadów zależy od temperatury, pH i czasu. Według Oleszkiewicza [15] stabilizację osiąga się dla dawki 0,5–1,2 kg Ca(OH)₂/kg s.m. osadu, a higienizację 0,1–0,25 kg Ca(OH)₂/kg s.m. W przypadku stosowania wapna palonego CaO, po dodaniu do osadu ulega ono hydratacji z powstaniem Ca(OH)₂ i wysokiej temperatury. Teoretycznie 1 kg CaO wiąże się z 0,32 kg wody oraz powoduje odparowanie do 0,5 kg wody. Wzrost temperatury zależy od uwodnienia osadu i oblicza się ze wzoru (1) [14]:

$$\Delta T = \frac{11520 \cdot SMO \cdot D}{4190 - (29,3 \cdot SMO + 3,2 \cdot SMO \cdot D)} \quad (1)$$

gdzie:

SMO – sucha masa osadu,

D – dawka wapna palonego (kg CaO/kg s.m. osadu).

Dawka wapna zależy od uwodnienia osadu oraz formy chemicznej czynnika wapnującego.

3. Charakterystyka pyłów dymnicowych ze spalania węgla brunatnego

Pyły dymnicowe, inaczej popioły lotne, ze spalania węgla brunatnego stanowią poważny problem ekologiczny. Jest to produkt odpadowy powstający po spalaniu zmielonego węgla kamiennego lub brunatnego w paleniskach pyłowych. Wychwytywany jest przez urządzenia odpylające, w tym elektrofiltry lub wybierany z kanałów dymnicowych. Ma postać miążkłego pyłu mineralnego o barwie szarej lub brązowej. Zbudowany jest w przeważającej części z tlenków krzemu, glinu i żelaza. Poza tym zawiera wiele pierwiastków śladowych oraz wykazuje niewielki udział niespalonego węgla. Składnikami pyłów dymnicowych są przede wszystkim tlenki: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O i TiO_2 . Pyły zawierają także śladowe ilości takich pierwiastków, jak: Ba, Cu, Sr, Ni, Cr, Zn, Cd, Mo, V, Se, Pb, As i inne [10].

Skvára i in. [27] zbadali skład popiołów lotnych pochodzących ze spalania węgla brunatnego. Autorzy ci stwierdzili obecność charakterystycznych typów cząstek, od małych szklistych cząstek SiO_2 , poprzez średniej wielkości konglomeraty – kuliste twory z Si-Al zawierające Na-Ca-K-Mg, po duże cząstki heterogeniczne wytworzone ze szklistych konglomeratów zawierające Na, K, Ca i Fe. Poza tym odnotowali oni obecność średnich i małych, spłaszczonych cząstek bogatych w żelazo, zbudowanych z polikrystalicznych agregatów metalicznego żelaza i tlenków Fe(Ti) (magnetyt, hematyt, ilmenit).

Według Kasprzyka i in. [10] w Polsce popioły lotne w zależności od udziału głównych składników dzielą się na trzy rodzaje (tab. 1):

- popioły krzemianowe,
- popioły glinowe,
- popioły wapniowe.

T a b e l a 1

Rodzaje popiołów lotnych [10]

Rodzaj popiołu	Symbol	Zawartość [% wag.]			
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SO ₃
Krzemianowy	k	> 40	< 30	< 10	< 4
Glinowy	g	> 40	> 30	< 10	< 3
Wapniowy	w	> 30	< 30	> 10	> 3

Autorzy podają, że popioły lotne mają szerokie zastosowanie w gospodarce, w tym:

- do wytwarzania zestalonych zaczynów popiołów w technologii utwardzania (stabilizacji) gruntów, nasypów, zwałowisk,
- do produkcji klinkieru portlandzkiego,
- do budowy dróg,
- do produkcji spoiw bezcementowych,
- do produkcji cementu, jako dodatek aktywny,
- do produkcji kruszyw lekkich i betonu,
- w górnictwie,
- w rolnictwie i ogrodnictwie [10].

W zastosowaniu rolniczym pyły dymnicowe z węgla brunatnego nadają się do nawożenia gleb, gdyż poprawiają ich właściwości fizyczne, zwiększają pojemność kompleksu sorpcyjnego, chłonność wody, zmniejszają gęstość gleb oraz alkaliczują gleby kwaśne. Często stosuje się je jako nawóz wapniowo-magnezowy, bogaty także w inne składniki. Skład pyłów dymnicowych (popiołów lotnych) z węgla brunatnego według różnych autorów podają tabele 2 i 3.

T a b e l a 2

Charakterystyka popiołów lotnych z węgla brunatnego wg Galos i Uliasz-Bocheńczyk [2]

Parametr [%]	Popiół z węgla brunatnego z elektrowni		
	Bełchatów	Pątnów	Turów
SiO ₂	41,0	38,5	51,0
Al ₂ O ₃	19,2	4,0	33,0
Fe ₂ O ₃	6,6	10,2	6,8
CaO	23,4	32,6	1,5
SO ₃	2,1	7,2	0,5
Strata prażenia	2,9	0,4	2,2

T a b e l a 2

Charakterystyka popiołów lotnych z węgla brunatnego wg Szczygielskiego i Myszkowskiej [29]

Parametr [%]	Popiół z węgla brunatnego z elektrowni		
	Bełchatów	Turów	Konin
SiO ₂	45,38	41–50	30–50
Al ₂ O ₃	19,26	25–35	5–9
Fe ₂ O ₃	4,95	14–20	4–6
CaO	19,78	2–4	25–48
MgO	0,73	0,1–1,0	2–4
Na ₂ O	0,16	0,1–0,3	ślady
K ₂ O	0,32		
SO ₃	5,93	0,5–0,7	5–10
Strata prażenia	2,28	1–3	2–6

Szczygielski i Myszkowska [29] zaliczają popioły lotne ze spalania węgla brunatnego do popiołów wysokowapniowych.

Puff i in. [16] oraz Sałaciński i in. [23–24] podają, że pyły dymnicowe ze spalania węgla brunatnego wraz z innymi materiałami odpadowymi nadają się do ceramicznej, a w dalszej konsekwencji do wykorzystania jako nawozu. Ceramiczne granulaty mogą być dodatkowo wzbogacone i dzięki swojej strukturze powoli uwalniają makro- i mikroelementy. Dodanie osadów ściekowych do spiekanych mieszanek poprawia ich strukturę i porowatość oraz zwiększa lekkość.

4. Pyły dymnicowe z węgla brunatnego w gospodarce osadowej

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. z 2002 r. nr 134, poz. 1140) [21] komunalne osady ściekowe mogą być przyrodniczo stosowane, jeżeli w wykorzystanych w rolnictwie i do rekultywacji gruntów na cele rolne nie wyizolowano bakterii z rodzaju *Salmonella* – w 100 g przeznaczonych do badań osadów oraz łączna liczba żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., *Toxocara* sp. – w 1 kg s.m. przeznaczonych do badań osadów stosowanych:

- w rolnictwie – wynosi 0,
- do rekultywacji terenów – jest nie większa niż 300,
- w dostosowaniu gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu – jest nie większa niż 300,

- do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu – jest nie większa niż 300,
- do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i do produkcji pasz — jest nie większa niż 300.

W celu osiągnięcia odpowiednich parametrów mikrobiologicznych, osady ściekowe przed dalszym wykorzystaniem, powinny być poddane procesowi stabilizacji i higienizacji. Jedną ze stosowanych metod do tych celów jest dodanie pyłów dymnicowych ze spalania węgla brunatnego.

Pyły dymnicowe z węgla brunatnego w gospodarce osadowej spełniają kilka funkcji. Z uwagi na zawartość związków wapnia i magnezu, wykorzystywane są jako czynnik higienizujący. Poprawiają one strukturę osadu przez jego odwodnienie. Nie redukują ilości azotu, gdyż reakcja egzotermiczna nie jest tak burzliwa jak przy dodaniu CaO. Podnoszą też wartość nawozową o wapń, magnez oraz mikroelementy. Efektem końcowym procesu jest powstanie struktury ziemistej osadu, łatwej do aplikacji czy transportu, w odróżnieniu od struktury mazistej, którą otrzymuje się w wyniku dodawania CaO. Zastosowanie pyłów dymnicowych w gospodarce osadowej ma uzasadnienie ekologiczne i ekonomiczne. W procesie wykorzystane są odpady uciążliwe ekologicznie, co zmniejsza równocześnie koszt zabiegu. Stabilizowane w ten sposób osady nie są również uciążliwe zapachowo [1].

Podczas stosowania pyłów dymnicowych istnieje jednak zagrożenie wprowadzenia do osadów metali ciężkich. Należy wspomnieć, że pyły dymnicowe oprócz zawartości metali mogą zawierać pierwiastki promieniotwórcze. Okazuje się jednak, że udział tych ostatnich jest niski w porównaniu z popiołami lotnymi z węgla kamiennego czy zawartości naturalnej w glebach [31].

Zwykle wapnowaniu poprzez dodanie pyłów poddaje się osady przed lub po odwodnieniu czy po niepełnym przefermentowaniu, gdyż zatrzymują procesy rozkładu materii organicznej [31].

Wydrzyński [31] proponuje stosowanie pyłów dymnicowych w dawce 0,2–0,4 kg na 1 kg osadu odwodnionego mechanicznie. Dawka uzależniona jest od stopnia uwodnienia, zawartości związków wapnia, magnezu i amoniaku w osadzie oraz wapnia i magnezu w pyłach dymnicowych. Do higienizacji osadów ściekowych wykorzystuje się świeże pyły dymnicowe z węgla brunatnego. Pełna higienizacja osadów zachodzi w ciągu 2–8 godzin. Autor podaje, że dzięki specyficznym właściwościom fizykochemicznym i budowie mineralogicznej, popioły lotne z węgla brunatnego aktywnie działają na składniki osadów, powodując ich zestalanie i unieruchomienie metali ciężkich. Do procesów, które zachodzą podczas mieszania pyłów dymnicowych powstałych ze spalania węgla brunatnego z osadami ściekowymi należą między innymi sorpcja na powierzchni pyłów,

sedymencja, tworzenie układów tiksotropowych, krystalizacja związków chemicznych, kolmatacja i zmiany współczynnika filtracji czy wiązanie związków toksycznych wewnątrz struktur zamkniętych [31].

Według danych Rajczyk-Janosz [17] w 2004 r. w Polsce wapnowaniu, w tym z udziałem pyłów dymnicowych, poddano osady pochodzące z 177 oczyszczalni na 1797 badanych. Jedną z oczyszczalni wykorzystującą pyły dymnicowe jest oczyszczalnia ścieków w Lubartowie [5].

Czechowska-Kosadzka i Pawłowska [1] potwierdzają, że dodanie do osadów ściekowych pyłów dymnicowych powoduje immobilizację metali ciężkich, zmniejszenie odorów produktu końcowego oraz solidyfikację osadów, co ułatwia ich aplikację i transport. Autorki stwierdziły, że po zastosowaniu przyrodniczym takiego osadu uwalnianie metali do środowiska jest bardzo wolne.

Z uwagi na swój skład, węgiel brunatny może być mieszany bezpośrednio z osadami ściekowymi, w celu wyrównania stosunku C/N, co ma duże znaczenie podczas ich kompostowania. Kalembasa i Symanowicz [6] oraz Maciejewska i Wrońska [13] stwierdzili, że dodanie do osadów węgla brunatnego nie wpływa na higienizację tego ostatniego, toteż konieczne jest zastosowanie innej metody sanitacji. Badania Kwiatkowskiej [12] udowodniły natomiast, że węgiel brunatny w połączeniu z osadami ściekowymi jest prekursorem procesów humifikacji.

Jak już wspomniano, dodanie pyłów dymnicowych z węgla brunatnego do osadów podnosi ich wartość nawozową, wzbogacając w wapń i magnez oraz mikroelementy. Kalembasa i Wysokiński [7–9] w swych badaniach dowiedli, że lepszy wpływ na skład i plon roślin mają osady zawierające pyły dymnicowe z węgla brunatnego niż wapnowane tlenkiem wapnia. Do podobnych wniosków doszli Koziarski i Bujak [11], którzy zbadali wartość nawozową osadów poddanych wapnowaniu metodą tradycyjną i z wykorzystaniem pyłów dymnicowych z węgla brunatnego.

Badania nad agrotechnicznym wykorzystaniem mieszaniny osadów z pyłami dymnicowymi prowadzili także Symanowicz i Kalembasa [28], Sajwan i in. [22], Rosik-Dulewska i in. [20] czy Samaras i in. [25].

Pyły dymnicowe z węgla brunatnego mogą być również wykorzystane do higienizacji kompostów z osadów ściekowych. Przedsiębiorstwo „Agromis” opatentowało metodę higienizacji i kompostowania osadów ściekowych z dodatkiem pyłów dymnicowych (P – 329178) [18–19].

Głazewski [4] podaje, że mieszaniny osadów ściekowych z pyłami dymnicowymi mogą być wykorzystywane do tzw. hydroobsiewu, czyli wzmocnienia skarp nasypów poprzez pokrycie ich roślinnością. Osady ściekowe stanowią bazę glebotwórczą i źródło składników nawozowych dla roślin, natomiast dodatek pyłów

wpływa na stabilizację mieszaniny i zmniejsza podatność na zmywanie erozyjne.

Możliwości wykorzystania pyłów dymnicowych z węgla brunatnego w gospodarce osadowej jest wiele. Osady ściekowe mogą zostać wykorzystane do rekultywacji biologicznej składowisk tych popiołów. Opisała to Gilewska [3], stwierdzając wysoką wartość nawozową osadów, stanowiących materiał glebotwórczy oraz nawóz dla roślin wysiewanych na składowiskach popiołów lotnych węgla brunatnego.

5. Podsumowanie

Użytkowanie w gospodarce osadowej pyłów dymnicowych ze spalania węgla brunatnego przynosi wiele korzyści. Przede wszystkim w procesie wykorzystuje się dwa uciążliwe odpady, które po zmieszaniu tworzą ustabilizowany i bezpieczny pod względem sanitarnym produkt. Osady poddane wapnowaniu tą metodą posiadają lepszą konsystencję niż osady z dodatkiem wapna palonego, co w efekcie ułatwia ich transport i aplikację. Wartość nawozowa takiego produktu jest wysoka, co przekłada się na jego użytkowanie w produkcji roślinnej.

Opłacalność stosowania pyłów dymnicowych z węgla brunatnego zależy głównie od kosztów transportu. Oczyszczalnie znajdujące się w niedalekiej odległości od elektrowni stosujących węgiel brunatny, mogą wykorzystać pyły w gospodarce osadowej.

Literatura

- [1] Czechowska-Kosadzka A., Pałowska L., *Influence of the addition of solidifying material on the heavy metals immobilization in sewage sludge*, „Roczniki Ochrony Środowiska” 2006, t. 8, s. 11–26.
- [2] Galos K., Uliasz-Bocheńczyk A., *Źródła i użytkowanie popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce*, „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 2005, nr 1, s. 23–42.
- [3] Gilewska M., *Rekultywacja biologiczna składowisk popiołowych z węgla brunatnego*, „Roczniki Gleboznawcze” 2004, nr 2, s. 103–110.
- [4] Głazewski M., *Ocena zrywów erozyjnych skarp budowli ziemnych z popiołów lotnych*, „Acta Scientiarum Polonorum” 2007, t. 6, nr 3, s. 29–72.
- [5] Jackowska I., Olesiejuk A., *Ocena przydatności osadów ściekowych z Oczyszczalni Ścieków w Lubartowie do rolniczego wykorzystania*, „Annales UMCS” 2004, Vol. 59, No. 2, s. 1001–1006.
- [6] Kalembsa S., Symanowicz B., *Wpływ czasu inkubacji węgla brunatnego i osadów na zawartość suchej masy, węgla organicznego i azotu ogółem*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych” 1998, z. 455, s. 113–121.
- [7] Kalembsa S., Wysokiński A., *Wpływ nawożenia kompostowanymi osadami ściekowymi z dodatkiem CaO lub popiołu z węgla brunatnego na skład chemiczny roślin*, „Annales UMCS” 2004, Vol. 59, No. 4, s. 1891–1897.

- [8] K a l e m b a s a S., W y s o k i ń s k i A., *Wpływ nawożenia mieszaniną osadów ściekowych z popiołem z węgla brunatnego lub CaO na plon i skład chemiczny roślin. Cz 2: Zawartość wybranych makroelementów*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych” 2002, z. 482, s. 257–262.
- [9] K a l e m b a s a S., W y s o k i ń s k i A., *Wpływ nawożenia mieszaniną osadów ściekowych z popiołem z węgla brunatnego lub CaO na plon i skład chemiczny roślin. Cz. 3: Zawartość wybranych mikroskładników*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych” 2002, z. 482, s. 263–268.
- [10] K a s p r z y k K., K o r d y l e w s k i W., Z a c h a r c z u k W., *Wykorzystanie popiołów lotnych w gospodarce*, 2003, http://www.spalanie.pwr.wroc.pl/badania/popioły/popioły_go.htm#Właściwości_lotnych_popiołów (10.05.2010).
- [11] K o z i a r s k i S., B u j a k R., *Efektywność higienizacji osadów ściekowych związkami wapnia i magnezu*, [w:] *Problemy oczyszczania ścieków i ochrony wód w dorzeczu Odry – 1996. Materiały z II konferencji „ODRA 1996”*, Polanica Zdrój, 24–26 czerwca 1996 r. [red. A. Nalberczyński], Polanica Zdrój 1996.
- [12] K w i a t k o w s k a J., *Ocena możliwości wykorzystania węgla brunatnego jako efektywnego źródła materii organicznej w gruntach przekształconych antropogenicznie*, „Inżynieria i Ochrona Środowiska” 2007, nr 1, s. 71–85.
- [13] M a c i e j e w s k a A., W r o ń s k a D., *Rola węgla brunatnego i upraw przemysłowych w wykorzystaniu osadów ściekowych – rozwiązania dostosowane do specyfiki warunków polskich*, [w:] *Materiały III Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Nowe spojrzenie na osady ściekowe”*, Częstochowa 2003, s. 548–554.
- [14] M a l e j J., *Właściwości osadów ściekowych oraz wybrane sposoby ich unieszkodliwiania i utylizacji*, „Roczniki Ochrony Środowiska” 2000, t. 2, s. 69–101.
- [15] O l e s z k i e w i c z J.A., *Gospodarka osadami ściekowymi. Poradnik decydenta*, Wyd. LEM s.c., Kraków 1998.
- [16] P u f f Z., S a ł a c i ń s k i R., S z y m a ń s k i A., *Ceramizowane kompozyty nawozowe z naturalnych surowców*, „Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej” 1999, Vol. 75, nr 26, s. 139–146.
- [17] R a j c z y k - J a n o s z M. (red.), *Komunalne osady ściekowe – podział, kierunki zastosowań oraz technologie przetwarzania, odzysku i unieszkodliwiania*, praca badawcza Instytutu Inżynierii Środowiska sfinansowana ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Częstochowa 2004.
- [18] R o s i k - D u l e w s k a C., *Higienizacja osadów ściekowych mineralnymi surowcami odpadowymi*, [w:] *Materiały VI Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowo-Technicznego w ramach 14 sekcji „Biotechnologia w ochronie środowiska”, I Krajowy Kongres Biotechnologii*, Wrocław 23–24 września 1999, Wrocław 1999, s. 203–212.
- [19] R o s i k - D u l e w s k a C., *Właściwości nawozowe kompostu osadowego higienizowanego popiołem z węgla brunatnego*, „Inżynieria Ekologiczna” 2000, nr 1, s. 197–200.
- [20] R o s i k - D u l e w s k a C., K a r w a c z y ń s k a U., C i e s i e l c z y k T., G ł o w a ł a K., *Możliwości nieprzemysłowego wykorzystania odpadów z uwzględnieniem zasad obowiązujących w ochronie środowiska*, „Roczniki Ochrony Środowiska” 2009, t. 11, s. 863–874.
- [21] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych, Dz.U. z 2002 r. nr 134, poz. 1140.
- [22] S a j w a n K.S., P a r a m a s i v a m S., A l v a A.K., A d r i a n o D.C., H o o d a P.S., *Assessing the feasibility of land application of fly ash, sewage sludge and their mixtures*, *Advances*, „Environmental Research” 2003, Vol. 8, s. 77–91.

- [23] Sałaciński R., *Zastosowanie ceramizowanych kompozytów nawozowych w remediacji terenów zdegradowanych w wyniku antropopresji*, „Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych” 2007, t. 33, s. 134–138.
- [24] Sałaciński R., Puff Z., Kurek J., *Ocena przydatności mineralnych surowców odpadowych z wybranych złóż rejonu krakowskiego do otrzymywania ceramizowanych kompozytów nawozowych*, „Szkło i Ceramika” 2004, nr 6, s. 14–20.
- [25] Samaras P., Papadimitriou C.A., Haritou I., Zouboulis A.I., *Investigation of sewage sludge stabilization potential by the addition of fly ash and lime*, „Journal of Hazardous Materials” 2008, Vol. 154, s. 1052–1059.
- [26] Schwarzbrot J., Banas S., Bohm R., Salgot M., Stott R., *Wapnowanie: nowoczesna metoda higienizacji osadów ściekowych wykorzystywanych w rolnictwie. Materiały Europejskiego Stowarzyszenia Wapna*, Brussels 2004.
- [27] Skvára F., Kopecký L., Smilauer V., Bittnar Z., *Material and structural characterization of alkali activated low-calcium brown coal fly ash*, „Journal of Hazardous Materials” 2009, Vol. 168, s. 711–720.
- [28] Symanowicz B., Kalembasa S., *Wpływ stosowania odpadowych materiałów organicznych i ich mieszanin na zmiany zawartości żelaza i molibdenu w glebie i życicy wielokwiatowej (*Lolium multiflorum* Lam.)*, „Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych” 2009, nr 40, s. 660–668.
- [29] Szczygielski T., Myszkowska A., *Popioły wysokowapniowe. Przetwarzanie i wykorzystanie*, „Magazyn Autostrady” 2006, nr 4, s. 38–43.
- [30] Trojanowska K., *Technologie solarne w utylizacji osadów komunalnych – czyli to o czym powinieneś wiedzieć*, „Forum Eksploatatora” 2006, nr 6, s. 58–59.
- [31] Wydrzyński M., *Higienizacja (sanitacja) osadów ściekowych reagentami odpadowymi*, [w:] *Materiały Konferencji Technicznej. „Gospodarka osadami ściekowymi, ich przyrodnicze użytkowanie”*, Suwałki 2001, s. 55–70.
- [32] Wysockiński A., Kalembasa S., *Wybrane parametry fizykochemiczne świeżych i kompostowanych osadów ściekowych oraz mieszanin z CaO lub popiołem z węgla brunatnego*, „Acta Scientiarum Polonorum” 2006, t. 5, nr 1, s. 51–61.

MARTA BOŻYM

FLY ASH FROM BROWN COAL IN SEWAGE SLUDGE MANAGEMENT

Fly ash from brown coal can be used as an alternative material for sludge stabilization and hygienization with additional benefits, such as the reduced purchasing cost, and the minimization of fly ash disposal cost. Moreover, this method could be useful for the combined reuse of two solid wastes.

Fly ash composition differs significantly from lime, the mechanisms of stabilization, hygienization and reduced heavy metals availability. Fly ash also performed beneficial role to plant production, without causing any deleterious effects on plant growth or plant composition.

The aims of this paper were to present of fly ash from brown coal as potential material in sewage sludge stabilization and hygienization process and its comparison with the more conventional method of lime treatment.