
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 8

ISSN 1899-3230

Rok IV

Warszawa–Opole 2011

Alternatywne metody wykorzystania pyłów z pieców wapienniczych i cementowych, ze szczególnym uwzględnieniem gospodarki osadowej

Pyły z pieców cementowych (CKD) oraz pyły z pieców wapienniczych są odpadami powstającymi podczas produkcji cementu i wapna. Zebrane w odpylaczach pyły są zwykle składowane. Nie jest to jednak metoda preferowana z uwagi na negatywny wpływ na środowisko. Część pyłów trafia do powtórnego wykorzystania w piecach pod warunkiem, że nie zawierają składników mogących obniżyć jakość produktu.

Z uwagi na wysoki udział tlenu wapnia, pyły mogą być wykorzystane także w ochronie środowiska, w tym do neutralizacji kwaśnych ścieków i odpadów, stabilizacji i nawożenia gleb czy do przetwarzania osadów ściekowych. W wielu krajach prowadzone są badania nad zagospodarowaniem coraz większej ilości pyłów powstających w przemyśle cementowym i wapienniczym.

W pracy przedstawiono przegląd badań dotyczących możliwości wykorzystania pyłów z pieców cementowych i wapienniczych, ze szczególnym uwzględnieniem stabilizacji i higienizacji osadów ściekowych.

1. Wstęp

W przemyśle wapienniczym oraz cementowym wykorzystuje się surowce bogate w tlenek wapnia. Podczas wypalania surowca powstają pyły, których część jest powtórnie wykorzystywana w procesie produkcyjnym. W przypadku, gdy w pyłach znajdują się związki obniżające jakość produktu, ich wtórne wyzyskiwanie staje się niemożliwe. Dotyczy to głównie pyłów zawierających alkalia, chlorki, siarczany czy metale ciężkie [1]. Cementownie dążą do obniżenia ilości produkowanych pyłów [2]. Niewykorzystana część składowana jest na terenie zakładu. Pyły te mogą być stosowane do innych celów, na przykład do produkcji cementu i materiałów budowlanych, ceramicznych czy asfaltu. Pyły z pieców

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

cementowych i wapienniczych wykorzystuje się także w ochronie środowiska, między innymi do neutralizacji kwaśnych ścieków, stabilizacji odpadów, wapnowania czy nawożenia gleb. Poza tym prowadzone są badania nad stosowaniem pyłów w gospodarce osadowej. Warunkiem takiego wykorzystania jest wysoki udział wolnego CaO oraz niska zawartość metali ciężkich. Udział metali w pyle nie powinien przekraczać ich zawartości w osadach, gdyż utrudnione będzie ich dalsze zagospodarowanie.

W pracy przedstawiono alternatywne zastosowania pyłów z pieców cementowych oraz wapienniczych, w tym w ochronie środowiska.

2. Stabilizacja i higienizacja osadów ściekowych

W gospodarce osadowej wyróżnia się dwa pojęcia: stabilizacja i higienizacja.

Stabilizacja jest to proces minimalizujący udział substancji organicznej podatnej na rozkład biologiczny, ogranicza uciążliwości zapachowe, poprawia właściwości sedymentacyjne oraz ułatwia odwodnienie [3]. Według Oleszkiewicza [4] stabilizacja ma na celu przede wszystkim mineralizację osadu. Autor proponuje, aby osad uznać za ustabilizowany w przypadku obniżenia o co najmniej 38% zawartości substancji organicznej. Stabilizację uzyskuje się metodami biologicznymi, chemicznymi i termicznymi. Oleszkiewicz [4] wymienia spośród technik stabilizacji suszenie, kompostowanie, stabilizację tlenową, fermentację i wapnowanie. Niektórzy autorzy proponują [5–6] zastosowanie do stabilizacji osadów pyłów lotnych z elektrowni węglowych. Metoda ta nie jest zalecana, z uwagi na możliwość zanieczyszczenia metalami ciężkimi.

Higienizacja to proces polegający na sanitarnej dezaktywacji osadów, w których likwidowane są pasożyty oraz drobnoustroje chorobotwórcze. Wśród metod higienizacji wymienia się pasteryzację, kompostowanie, wapnowanie i suszenie [3]. Do chemicznej higienizacji i stabilizacji osadów wykorzystuje się zwykle CaO, rzadziej MgO i $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Fukas i in. [7] podają, że wodorotlenek wapnia powoduje jedynie stabilizację osadów w wyniku reakcji ze składnikami mineralnymi i organicznymi w osadach. Udział substancji organicznej obniża się wówczas o 20–40% w zależności od dawki, temperatury i czasu kontaktu. Według Koziarskiego [8] do stabilizacji zagęszczonego osadu stosuje się dawkę 0,5–1,5 kgCaO/kg s.m. osadu, natomiast do higienizacji 0,15–0,5 kgCaO/kg s.m. osadu. Według tegoż autora związki wapna oddziałują w różnym stopniu na poszczególne mikroorganizmy. Ważne, by dozować środek wapnujący jednorazowo, w celu szybkiego podniesienia pH i temperatury. Autor podaje, że do pełnej higienizacji potrzeba $\text{pH} < 12$ utrzymanego w czasie 2–6 h. Natomiast według Oleszkiewicza [4] do stabilizacji osadu wykorzystuje się dawkę 0,5–1,2 kgCaO/kg s.m., a do higienizacji 0,10–0,25 kgCaO/kg s.m. Pełną higienizację osadu osiąga się przy $\text{pH} < 12$ utrzymanego przez 2 h i następnie

pH < 11,5 przez następnie 22 h. Autor ten uważa ponadto, że im większe uwodnienie osadu, tym dawka CaO powinna być większa.

Schwarzbrodt i inni [9] podają, że higienizację osadu osiąga się przy zachowaniu pH ok. 12 przez 3 miesiące oraz temperatury 55°C przez 75 minut. Teoretycznie 1 kg CaO pochłania 0,32 kg wody z wytworzeniem 1160 kJ energii [10] oraz powstaniem 1,32 kg Ca(OH)₂ i równoczesnym odparowaniem wody do 0,5 kg. Powstałe w ten sposób wapno hydratyzowane nadal reaguje, z dwutlenkiem węgla tworzy węglan wapnia. Jest to reakcja egzotermiczna (2215 kJ). Ciepło wykorzystuje się do podsuszania osadu. Okazuje się, że im gęstszy osad, tym większy jest wzrost temperatury w wyniku wapnowania. Według Bienia i innych [10] w celu higienizacji należy dodać 0,9 kgCaO/kg s.m. do osadów o uwodnieniu 79%, natomiast 5–6 kgCaO/kg s.m. do osadów o uwodnieniu 96%.

Materiały odpadowe wykorzystywane do chemicznej stabilizacji i higienizacji osadów to najczęściej mączka bitumiczna, dolomity, odpady ze spalania węgla brunatnego [11], pyły z wapienników i pieców cementowych, rzadziej pyły lotne z elektrowni węglowych [4–5].

3. Skład chemiczny pyłów z pieców cementowych i wapienniczych

Na świecie produkuje się ok. 30 mln t CKD w ciągu roku [12]. W krajach europejskich, takich jak Hiszpania czy Irlandia, większość wyprodukowanego CKD jest zawracana do produkcji cementu. Natomiast w Wielkiej Brytanii i USA większą część wytworzonych CKD najpierw składowane, a następnie powtórnie wykorzystuje w procesie produkcyjnym. Według Pavia i Regan [12] przemysł cementowy w USA produkuje ok. 4,1 mln t pyłów w ciągu roku, z czego 3,3 mln jest składowane.

Skład pyłów uzależniony jest od jakości surowca, technologii produkcji, rodzaju paliwa czy sposobu odpylania. W skład pyłów wchodzi nieprzereagowane składniki surowca, pył z klinkieru, popiół z paliw zawierających siarczany, halogenki i inne związki lotne [12–13]. Według Siddique [14] CKD pochodzące z procesu suchego zawierają wyższy udział wapnia niż te pochodzące z procesu mokrego. Natomiast Adaska i Taubert [13] twierdzą, że CKD z pieca opalanego olejem opałowym lub gazem zawiera większy udział K₂O niż z pieca opalanego węglem. Przewodnik ASTM D5050 [15] podaje metodykę badań pyłów pochodzących z pieców cementowych i wapienniczych. Skład pyłów z pieców cementowych według różnych autorów przedstawia tabela 1, natomiast pyłów wapienniczych tabela 2.

Tabela 1

Właściwości pyłów z pieców cementowych wg różnych autorów

Parametr	Źródło danych					
	Todres i in. [16]			Maslehuddin i in. [17]	Peethamparan i in. [18]	Siddique [14]
	długi piec cementowy – metoda mokra	długi piec cementowy – metoda sucha	by-pass			
CaO	41,00	44,90	61,30	38–64	37–55	40,50
MgO	1,47	1,30	2,10	0–3,2	1,2–2,7	1,55
SiO ₂	15,00	9,60	15,20	9–16	12–16	14,50
Al ₂ O ₃	3,85	3,40	3,10	2,6–6	2–5	4,10
Fe ₂ O ₃	1,88	1,10	2,00	1–4	1,7–3,9	2,00
K ₂ O	2,57	2,40	2,51	2,4–13	1,4–7	4,66
Na ₂ O	0,74	0,27	0,34	0–2	0,1–0,8	0,44
SO ₃	6,27	6,74	8,67	1,6–18	2,7–14,6	6,50
Cl	b.d.	b.d.	b.d.	0–5,4	0,3–0,7	b.d.
Strata prażenia	25,80	30,20	4,50	5–25	4–29,6	22,90

b.d. – brak danych.

Tabela 2
Charakterystyka
pyłów z pieców
wapienniczych w RPA
wg Strydom i in. [19]

Parametr	Udział procentowy [%]
CaO	43,9
MgO	1,7
SiO ₂	15,4
Al ₂ O ₃	6,0
Fe ₂ O ₃	0,8
K ₂ O	0,2
Na ₂ O	0,3
SO ₃	1,9
Cl	0,0
P ₂ O ₅	0,4

Na reaktywność pyłów z pieców wapienniczych czy cementowych wpływa przede wszystkim udział CaO [20–21]. Sreekrishnavilasam i in. [22] uważają, że na reaktywność pyłów ma wpływ także strata prażenia (LOI).

4. Możliwości wykorzystania pyłów w gospodarce osadowej

Wśród licznych metod utylizacji pyłów z przemysłu cementowego i wapienniczego wymienia się wykorzystanie w gospodarce osadowej. Wydaje się oczywiste, że z uwagi na wysoki udział CaO w pyłach, możliwe jest ich użycie do stabilizacji i higienizacji osadów. Udział CaO w pyłach waha się zwykle w granicach 30–40%. W odróżnieniu do stosowanych z powodzeniem pyłów dymnicowych ze spalania węgla brunatnego w gospodarce osadowej, zawierających ok. 20% CaO [11], pyły cementowe i wapiennicze posiadają większy potencjał higienizujący.

Kanare [23] potwierdził możliwość wykorzystania CKD do przetwarzania osadów ściekowych, wyzyskiwanych dalej jako nawóz. Autor zauważył, że w CKD mogą znajdować się metale ciężkie niewystępujące powszechnie w osadach ściekowych czy glebie. Wymienił tu tal czy selen, które wprowadzone do środo-

wiska wraz z pyłami mogą doprowadzić do jego zanieczyszczenia. Dla pozostałych metali autor nie stwierdził przekroczenia dopuszczalnych norm. Corish i Coleman [24] podają, że wiele kompanii w Wielkiej Brytanii wykorzystuje opracowane technologie stabilizacji osadów zmieszanych z CKD do produkcji nawozów. Badania potwierdzają, że stosowanie zamiast wapna palonego pyłów CKD jest tańsze. W Stanach Zjednoczonych pyły cementowe są komercyjnie wykorzystywane do stabilizacji osadów ściekowych przez dwie firmy: Keystone Cement Co., produkującą StableSorb oraz National N-Viro Energy Systems, produkującą N-Viro Soil. Prowadzone są także badania nad wykorzystaniem CKD do stabilizacji zaolejonych osadów ściekowych [25]. Rahman i in. [26] zalecają dobranie odpowiedniej dawki CKD w celu sterylizacji osadów. Autorzy ci stwierdzili, że w celu pełnej higienizacji osadów wystarczy podnieść $\text{pH} > 12$ i utrzymać je przez 2 h. Burnham i in. [27] zbadali wpływ CKD na higienizację i stabilizację osadów ściekowych. Autorzy udowodnili, że dodanie do uwodnionych osadów dawki 30–35% CKD zmniejszyło ilość mikroorganizmów chorobotwórczych do wymaganych norm. Dodatkowo ograniczona została przyswajalność metali ciężkich. Dowiedli, że dodanie CKD ograniczyło odór, co autorzy tłumaczą właściwościami adsorpcyjnymi pyłów, wzrostem pH , odwodnieniem, denitryfikacją i związaniem siarkowodoru.

Dalsze wykorzystanie przetworzonych osadów ściekowych może uniemożliwić zbyt dużą zawartość metali ciężkich. Przed wprowadzeniem osadów do środowiska należy określić ogólną zawartość metali ciężkich oraz ich form, zarówno w osadach, jak i w glebie. Dodatkowo powinien zostać oceniony stopień uwalniania metali do środowiska [28]. Pyły, jako czynnik wapnujący, powinny zmniejszyć biodostępność metali w osadach. Potwierdzają to badania Emmerich i in. [29]. Autorzy wykazali zdolność CKD do immobilizacji metali ciężkich po zmieszaniu z osadami ściekowymi. Z czasem jednak mogą się one uwalniać i zanieczyszczać gleby, wody lub przenikać do roślin. Dinel i in. [30] zbadali jakość upraw na bazie osadów zmieszanych z CKD. Stwierdzili oni, że udział metali w pyłach był mniejszy niż w surowych osadach ściekowych. Przyswajalność metali przez rośliny, uprawiane na podłożach zawierających mieszaninę CKD, i osadów była niższa niż w przypadku uprawianych na nieprzetworzonych osadach ściekowych.

5. Inne zastosowanie pyłów cementowych i wapienniczych

Zgodnie z wytycznymi EPA (2006, 2008) [31] 75% wytworzonego CKD powinno być ponownie użyte w procesie produkcji cementu. Proponuje się wykorzystanie pozostałych pyłów do stabilizacji nawierzchni, przetwarzania odpadów, rekultywacji składowisk odpadów czy celów agrotechnicznych. Sposób wykorzystania będzie zależał od składu i właściwości CKD.

Według Adaska i Taubert [13] w latach 1990–2006 przemysł cementowy w USA zmniejszył ilość składowanych CKD o 47%. Obecnie większość wykorzystywanego pyłu jest zawracana do pieca cementowego. Składowane CKD wykorzystuje się także do produkcji cementów mieszanych, ale warunkiem tego jest odpowiedni udział alkaliów, chlorków oraz siarczanów [13, 26]. W USA składowane pyły CKD zużywa się w procesie produkcyjnym (44%), do stabilizacji i zestalania odpadów (35%), nawożenia gleb (11%), jako środek stabilizujący i wiążący (8%), do neutralizacji ścieków (1%), jako dodatek do cementu (1%) oraz do produkcji nawierzchni (0,5%) [13–14]. Rahman i in. [26] proponują alternatywne metody wykorzystania CKD, takie jak: produkcja lekkich materiałów budowlanych, betonów, cementów murarskich, mieszanek bitumicznych, przetwarzanie osadów ściekowych, nawożenie gleb, stabilizacja gruntów i odpadów, koagulacja i neutralizacja ścieków, absorpcja siarczanów, a nawet produkcja karmy dla zwierząt jako źródło mikroelementów.

Pyły z cementowni czy wapienników mogą być używane do neutralizacji ścieków oraz odpadów. Smith i Cambell [32] zbadali zdolność roztworu CKD do neutralizacji odcieków z oczyszczalni ścieków. Stwierdzili, że 12,8 ml roztworu CKD (0,4625 g/l) podnosi odczyn 100 ml odcieku z $\text{pH} = 6,4$ do $\text{pH} = 8$.

Pavia i Regan [12] potwierdzili przydatność CKD do produkcji zapraw wapiennych. Podobnie Siddique [14] zbadał wpływ dodania CKD na jakość zaczynów cementowych, kruszyw, betonów oraz stabilizację gruntów. Osiągnął on zadowalające parametry wytrzymałościowe dla betonów zawierających poniżej 5% masowych CKD. Stwierdził także, że dodanie CKD do gruntów prowadzi do ich wzmocnienia i wzrostu wytrzymałości na ściskanie. Według Siddique CKD nadają się zwłaszcza do zestalania gruntów o niskim indeksie plastyczności. Wykazał również, że CKD mogą być użyte do produkcji asfaltów.

Rahman i in. [26] zbadali wpływ dodania CKD na gleby lekkie i ciężkie. Podobnie jak Siddique [14], autorzy ci stwierdzili zwiększenie odporności na ściskanie, głównie gleb z niskim indeksem plastyczności. Dowiedli, że CKD nadają się do neutralizacji odpadów i innych materiałów oraz do ich solidyfikacji. Według tych autorów CKD mogą być wykorzystywane także jako koagulant w ściekach czy kondycjoner i źródło mikroelementów w glebach. Adaska i Taubert [13] twierdzą, że do celów nawozowych nadają się pyły zawierające wysoki udział Ca, Mg czy K. Jednak z uwagi na brak związków azotu i fosforu, nie należy ich traktować jako pełnowartościowy nawóz [13]. Wommack i in. [33] opatentowali metodę produkcji granulatu na bazie CKD, zawierającego wszystkie niezbędne makro- i mikroelementy.

Rahman i in. [26] w swych badaniach dowiedli, że CKD nadają się do stabilizacji gruntów pod budowę dróg, podobnie jak inne materiały używane do tego celu: cement portlandzki, pyły lotne czy wapno palone. Moon i in. [34] potwierdzili

przydatność CKD do solidyfikacji gruntu zanieczyszczonego z jednoczesnym związaniem metali. El-Awady i Sami [35] podkreślają, że wykorzystanie CKD w środowisku może wpłynąć na zanieczyszczenie metalami ciężkimi. Również Kanare [23] zwraca uwagę na możliwość wprowadzenia z pyłami do gleb metali, które powszechnie nie występują w środowisku. Autor ten udowodnił jednak, że wysokie pH pyłów powoduje unieruchomienie metali w glebie. Według Chłopeckiej [36] forma chemiczna metali w glebie zależy od wielu czynników, w tym od pH, właściwości buforowych, typu gleby, udziału substancji organicznej czy innych. Zgodnie z wytycznymi obowiązującymi w USA, CKD powinno być użyte jedynie do neutralizacji gleb kwaśnych. W przypadku gleb obojętnych i zasadowych, stosowanie CKD nie jest zalecane, nawet w zakresie wykorzystania tego odpadu jako nawozu [37].

6. Podsumowanie

Światowym trendem w utylizacji stałych odpadów przemysłowych jest ich powtórne wykorzystanie. Przyrodnicza utylizacja to jeden z kierunków zagospodarowania odpadów, ale jedynie pod warunkiem minimalizacji wpływu na środowisko [38]. Według prawa polskiego pyły z przemysłu cementowego oraz wapienniczego traktowane są jako odpad. Stosowanie przyrodnicze odpadów obwarowane jest licznymi ograniczeniami. W chwili gdy pyły zostaną wykorzystane, na przykład do przetworzenia osadów ściekowych, stają się produktem. Produkt natomiast, zgodnie z prawem polskim, może być wykorzystany komercyjnie w różnych celach. W USA niektóre firmy sprzedają CKD jako nawóz i środek neutralizujący. W Polsce byłoby to możliwe jedynie w przypadku przekształcenia pyłów, tak by z odpadu stały się produktem handlowym. Wydaje się, że doświadczenia innych krajów, zwłaszcza Stanów Zjednoczonych, pomogą w znalezieniu alternatywnych metod wykorzystania pyłów z cementowni i wapienników. Stosowanie pyłów pozwoli obniżyć koszty, generowane w wyniku użycia droższych materiałów. Ułatwieniem wykorzystania pyłów cementowych i wapiennicznych może być zmiana ustawy o odpadach, która obecnie jest w formie projektu.

Literatura

- [1] Matusiewicz A., *Zmiany w procesie klinkieryzacji wywołane podwyższoną zawartością metali śladowych – cynku, ołowiu i miedzi*, „Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” 2010, nr 6, s. 141–154.
- [2] Baran T., Pichniarczyk P., Kalarus D., *Zintegrowane działania w celu obniżenia emisji gazów i pyłów oraz bardziej efektywnego wykorzystania odpadów w przemyśle cementowym*, „Prace Instytutu Mineralnych i Materiałów Budowlanych” 2007, nr 41/42, s. 25–35.
- [3] Siuta J., Wasiaś G., *Zasady gospodarki odpadami bytowymi w środowisku przyrodniczym*, IOŚ, Warszawa 1991.

- [4] Oleszkiewicz J.A., *Gospodarka osadami ściekowymi. Poradnik decydenta*, LEM s.c., Kraków 1998.
- [5] Sajwan K.S., Paramasivam S., Alva A.K., Adriano D.C., Hooda P.S., *Assessing the feasibility of land application of fly ash, sewage sludge and their mixtures*, „Advances in Environmental Research” 2003, No. 8, s. 77–91.
- [6] Samaras P., Papadimitrou 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.
- [7] Fukas-Płonka Ł., Koziański S., *Porównanie efektywności utylizacji osadów metodą wapnowania i suszenia*, [w:] *Materiały V Konferencji „Gospodarka osadami OSAD 2000”*, t. 1, Gdańsk 2000, s. 186–191.
- [8] Koziański S., Bujak 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. S. Nalberczyński], Polanica-Zdrój 1996, s. 227–231.
- [9] Schwarzbrot J., Banas S., Bohm R., Salgot M., Stott R., *Wapnowanie nowoczesną metodą higienizacji osadów ściekowych wykorzystywanych w rolnictwie*, http://www.wapno-info.pl_files/378260 (10.10.2011).
- [10] Bień J.B., Bień J.D., Nowak D., Matysiak B., *Wykorzystanie wapna w gospodarce osadowej*, [w:] *Przemysł wapienniczy a ochrona środowiska: konferencja Kamień Śląski, 19–21 czerwca 2000 r.*, Stowarzyszenie Producentów Cementu i Wapna, Kraków 2000.
- [11] Bożym M., *Wykorzystanie pyłów dymnicowych ze spalania węgla brunatnego w gospodarce osadowej*, „Prace Instytutu Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych” 2010, nr 5, s. 103–112.
- [12] Pavia S., Regan C.D., *Influence of cement kiln dust on the physical properties of calcium lime mortars*, „Materials and Structures” 2010, Vol. 43, s. 381–391.
- [13] Adaska W.S., Taubert D.H., *Beneficial uses of Cement Kiln Dust*, [w:] *IEEE/PCA 50th Cement Industry Technical Conference, Miami, 19–22 Maj 2008*, Miami 2008.
- [14] Siddique R., *Utilization of cement kiln dust (CKD) in cement mortar and concrete – an overview*, „Resources, Conservation and Recycling” 2006, Vol. 48, s. 315–338.
- [15] ASTM D5050-08 Standard Guide for Commercial Use of Lime Kiln Dusts and Portland Cement Kiln Dusts.
- [16] Todres H.A., Mishulovich A., Ahmed J., Portland Cement Association, Skokie 1992, <http://www.cement.org/pavements/> (10.10.2011).
- [17] Maslehuddin M., Al-Amoudi O.S.B., Shameem M., Rahman M.K., Ibrahim M., *Compliance criteria for quality concrete*, „Construction Building Materials” 2008, Vol. 22, s. 2369–2375.
- [18] Peethamparan S., Olek J., Lovell J., *Influence of chemical and physical characteristics of cement kiln dusts (CKDs) on their hydration behavior and potential suitability for soil stabilization*, „Cement and Concrete Research Journal” 2008, Vol. 38, s. 803–815.
- [19] Strydom C.A., Roode Q.I., Potgieter J.H., *Thermogravimetric and X-ray powder diffraction analysis of precipitator dust from a rotating lime kiln*, „Cement Concrete Research” 1996, Vol. 26, s. 1269–1276.

- [20] Mackie A., Boilard S., Walsh M.E., Lake C.B., *Physicochemical characterization of cement kiln dust for potential reuse in acidic wastewater treatment*, „Journal of Hazardous Materials” 2010, Vol. 173, s. 283–291.
- [21] Miller G.A.U., Azad S., *Influence of soil type on stabilization with cement kiln dust*, „Construction and Building Materials” 2000, Vol. 14, s. 89–97.
- [22] Sreekrishnavilasam A., Rahardja S., Kmetz R., Santagata M., *Soil treatment using fresh and landfilled cement kiln dust*, „Construction and Building Materials” 2007, Vol. 21, s. 318–327.
- [23] Kanare H.M., Comparison of Trace Metal Concentrations in Cement Kiln Dust, Agricultural Limestone, Sewage Sludge, and Soil, SN2080, Portland Cement Association, Skokie 1999, <http://www.cement.org/pavements/> (10.10.2011).
- [24] Corish A., Coleman T., *Cement kiln dust*, „Concrete” 1995, Vol. 29, No. 5, s. 40–42.
- [25] Report to Congress on Cement Kiln Dust: Chapter eight. Alternative CKD management practices and potential utilization, www.epa.gov/osw/nonhaz/industrial/special/ckd/rtc/chap-8.pdf (10.10.2011).
- [26] Rahman M.K., Rehman S., Al-Amoudi O.S.B., *Literature review on cement kiln dust usage in soil and waste stabilization and experimental investigation*, „International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences” 2011, Vol. 7, No. 1, s. 77–87.
- [27] Burnham J.C., Hatfield N., Bennett G.F., Logan T.J., *Use of kiln dust with quicklime for effective municipal sludge pasteurization and stabilization with the N-Viro Soil process*, „ASTM Special Technical Publication” 1992, Vol. 1135, s. 128–141.
- [28] McBride M.B., Richards B.K., Steenhuis T., Russo J.J., Sauve S., *Mobility and solubility of toxic metals and nutrients in soil fifteen years after sludge application*, „Soil Science” 1997, Vol. 162, s. 487–500.
- [29] Emmerich W.E., Lund L.J., Page A.L., Chang A.C., *Movement of heavy metals in sewage sludge-treated soils*, „Journal of Environmental Quality” 1982, Vol. 11, s. 174–178.
- [30] Dinel H., Pare T., Schnitzer M., Pelzer N., *Direct land application of cement kiln dust- and lime-sanitized biosolids: extractability of trace metals and organic matter quality*, „Geoderma” 2000, Vol. 96, s. 307–320.
- [31] Materials Characterization Paper, Final Rulemaking: Identification of Nonhazardous Secondary Materials That Are Solid Waste Cement Kiln Dust (CKD), 2011, www.epa.gov/osw/nonhaz/define/pdfs/tires-final.pdf (10.10.2011).
- [32] Smith M.L., Campbell C.E., *Effects of cement kiln dust on pH and phosphorus concentrations in an activated sludge wastewater treatment system*, „Water Quality Research Journal of Canada” 2000, Vol. 35, No. 2, s. 299–311.
- [33] Wommack G., Holley C., Greskovich E., Soil Conditioning Agglomerates Containing Calcium, Patent and Trademark Office, United States Department of Commerce, Washington, DC, USA. Patent nr 6,325,826, 2001.
- [34] Moon D.H., Wazne M., Yoon I.H., Grubb D.G., *Assessment of cement kiln dust (CKD) for stabilization/solidification (S/S) of arsenic contaminated soils*, „Journal of Hazardous Materials” 2008, Vol. 159, s. 512–518.

[35] El - A w a d y M.H., S a m i T.M., *Removal of heavy metals by cement kiln dust*, „Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology” 1997, Vol. 59, s. 603–610.

[36] C h ł o p e c k a A., *Wpływ różnych związków kadmu, miedzi, ołowiu i cynku na formy tych metali w glebie oraz na ich zawartości w roślinach*, Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa, Puławy 1994.

[37] D a r w e e s h H.H.M., *Utilization of cement kiln by-pass dust waste as a source of CaO in ceramic industry*, „Silicates Industrials” 2001, Vol. 66, No. 3/4, s. 47–52.

[38] Draft Risk Assessment for Cement Kiln Dust Used as an Agricultural Soil Amendment, Draft Report, 16 lipiec 1998, Office of Solid Waste, EPA, Washington 1998.

MARTA BOŻYM

ALTERNATIVE METHODS OF CEMENT AND LIME KILN DUSTS UTILIZATION, ESPECIALLY WITH SEWAGE SLUDGE PRETREATMENT

Cement kiln dust (CKD) and lime kiln dust are a wastes of cement and lime manufacturing. After collection in precipitators behind the kilns, the dusts are dumped on a waste heap. The disposal is not an environmentally favorable situation. The obvious use of those dusts are they re-incorporation in the production cycle. Sometimes this way is impossible to application for contaminated dusts.

CKD and lime kiln dusts characterize high content of free lime. For this reason dusts could be use in environment to neutralization of acidic sludges or wastes, soil stabilization, fertilization or sewage sludge treatment. Research to overcome cement and lime dusts development is being carried out in different countries to find appropriate ways of using those wastes in various applications.

This work presents a research review on CKD and lime kiln dust in various applications, especially in sewage sludge stabilization and higienization.