
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 13

ISSN 1899-3230

Rok VI

Warszawa–Opole 2013

Teksty publikowane w „Pracach Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” poddawane są procedurze recenzyjnej

Na okładce zdjęcie z artykułu Michała Stachów

„Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” ukazują się w wersji papierowej i elektronicznej (<http://icimb.pl/opole/wydawnictwa>).
Wersją pierwotną jest wersja papierowa

Opracowanie redakcyjne: Maria Szwed, Janina Drozdowska



Wydawnictwo Instytut Śląski Sp. z o.o., Opole, ul. Piastowska 17, tel. 77 4540 123
e-mail: wydawnictwo@is.opole.pl
Nakład: 130 egz. Objętość: 5,50 ark. wyd., 6,75 ark. druk.

JOANNA POLUSZYŃSKA*

Możliwości zastosowania popiołów ze spalania biomasy w gospodarowaniu osadami ściekowymi

Słowa kluczowe: popioły lotne nowej generacji, osady ściekowe, stabilizacja chemiczna, termiczna utylizacja, wykorzystanie przyrodnicze.

W ostatnich latach nastąpił wzrost zainteresowania sektora energetycznego paliwami alternatywnymi z biomasy, które mogą być spalane samodzielnie lub współspalane w kociołkach fluidalnych. W procesach tych powstaje nowy odpad w postaci popiołów lotnych nowej generacji. Popioły te, z uwagi na swoje właściwości, nie mogą być już tak powszechnie jak dotychczas wykorzystywane w produkcji materiałów budowlanych. Mogą natomiast stanowić produkt do stabilizacji chemicznej komunalnych osadów ściekowych, których zagospodarowanie na cele przyrodnicze wymaga szczególnego przygotowania. Tym samym możliwe staje się bezpieczne zagospodarowanie dwóch rodzajów odpadów, a powstały produkt, po pozytywnym przejściu wymaganych badań, można będzie przeznaczyć na cele przyrodnicze.

1. Wstęp

Jednym z elementów programu „Polityka energetyczna Polski do 2030 r.” jest rozwój produkcji biomasy i jej spalanie [1]. Wykorzystanie biomasy jako paliwa w procesie współspalania z węglem w istniejących systemach energetycznych przynosi wymierne korzyści środowiskowe. Jest jednym ze sposobów ograniczenia emisji CO₂ do powietrza ze względu na tzw. emisję unikniętą [2].

Wiele elektrowni i elektrociepłowni w kraju inwestuje w budowę lub rozbudowę bloków energetycznych do współspalania lub spalania 100% biomasy. W Szczecinie, w Elektrowni „Dolna Odra”, oddano do użytku jeden z największych w Polsce kotłowni (182 MW) wytwarzający energię z biomasy w postaci zrębków leśnych i biomasy rolnej. W Połańcu w roku 2012 zaczęła pracę „zielony blok” biomasowy, który jest największym na świecie blokiem opalonym

* Mgr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu.

w 100% biomasą w postaci zrębków drzewnych ze stosownymi certyfikatami. W Elblągu i Elektrowni „Jaworzno III” powstają nowe bloki opalane biomasą. W Elektrowni „Kozienice” SA biomasę współspala się z węglem w pięciu kotłach. Przytoczone przykłady świadczą o tym, że wykorzystanie biomasy w kotłach fluidalnych energetyki zawodowej stało się już powszechnym zjawiskiem.

Rozwój technik współspalania spowodował poszerzenie listy odpadów paleniskowych między innymi o popioły lotne i denne z kotłów fluidalnych oraz popioły lotne nowej generacji i żużle ze spalania biomasy i paliw alternatywnych [3].

Wykorzystanie gospodarcze popiołów lotnych ze współspalania lub całkowitego spalania biomasy umożliwią redukcję ilości tych popiołów oraz zminimalizują ich uciążliwość środowiskową. Problem pojawia się w przypadku spalania 100% biomasy. Istniejąca ustawa o odpadach nie reguluje bowiem samej kwestii biomasy [4].

Dodatek znacznego udziału paliw odnawialnych do procesów współspalania z węglem w kotłach fluidalnych spowodował pogorszenie jakości popiołów pod kątem ich przydatności do zagospodarowania w przemyśle materiałów budowlanych, gdzie dotychczas znajdowały zastosowanie popioły lotne pochodzące ze spalania paliw kopalnych.

Wymagania odnośnie do popiołów lotnych stosowanych jako dodatek do betonu określa norma PN-EN 450-1+A1: 2009 – Popiół lotny do betonu. Część 1: Definicje, wymagania i kryteria zgodności [5]. Według tej normy dopuszcza się stosowanie popiołu pochodzącego ze współspalania pyłu węglowego z materiałami roślinnymi, takimi jak wióry drzewne, słoma i inne włókna roślinne, a także z drewnem, biomasą z upraw, odpadami zwierzęcymi, osadami ze ścieków komunalnych, odpadami papierniczymi, makulaturą, koksem porafinacyjnym, bezpopiołowymi paliwami płynnymi i gazowymi, z pewnymi ograniczeniami dotyczącymi zawartości węgla w mieszance paliw i udziału popiołu pochodzącego z materiałów współspalanych [6–7].

Ze względu na zmienność składu mieszanek paliwowych i dążenie do zwiększenia w nich udziału biomasy, wiele popiołów nie spełnia wymagań zawartych w cytowanej wyżej normie. Większość popiołów pochodzących z procesów współspalania odznacza się zbyt małą zawartością SiO_2 i zbyt dużą CaO w stosunku do wziankowej normy.

Duża i wciąż rosnąca ilość powstających popiołów lotnych nowej generacji ze spalania biomasy skłania do poszukiwania innych sposobów ich zagospodarowania. Bezpieczne ich stosowanie wymaga szerokiej wiedzy opartej na wynikach badań doświadczalnych, uwzględniających aspekt środowiskowy i techniczny, jak również uregulowania prawne.

2. Właściwości popiołów ze spalania biomasy

W popiele z biomasy występuje na ogół znacznie większa zawartość takich składników, jak CaO, MgO, Na₂O, K₂O, P₂O₅ i jednocześnie mniejsza zawartość SiO₂, Al₂O₃, TiO₂ w porównaniu do popiołu ze spalania węgla. W przypadku mieszanek zawierających do 10% biomasy drzewnej stwierdzono niewielki wpływ obecności biomasy na skład chemiczny popiołów [8], spowodowany znacznie niższą zawartością popiołu z biomasy w stosunku do popiołu z węgla.

Popioły lotne ze spalania biomasy należą do najstarszych naturalnych nawozów mineralnych. Powstawały one na przykład podczas pożarów lasów oraz przy wypalania łąk. Wydaje się też, że powrót popiołów wytworzonych ze spalania biomasy do gleby jest najbardziej ekologicznym i zgodnym z zasadami zrównoważonego rozwoju sposobem ich wykorzystania. Znaczna część makro- i mikroelementów pobranych z gleby w trakcie wegetacji rośliny może powrócić do niej w postaci nawozów na bazie popiołów ze spalania biomasy, zamykając tym samym obieg składników mineralnych. Popioły lotne ze spalania biomasy zawierają bowiem w swoim składzie znaczne ilości wapnia, magnezu i potasu oraz mikroelementy, które stanowią ważny składnik pokarmowy dla roślin. Popioły, ze względu na swoją wysoką alkaliczność, posiadają także właściwości odkwaszające (tab. 1–2), dzięki czemu mogą stanowić substytut nawozów wapniowych; pH popiołów ze spalania różnego rodzaju biomasy waha się od 9,3 dla popiołu z ziarna owsa do 13,9 dla popiołów z drewna dębowego.

Tabele 1, 2 i 3 przedstawiają (według różnych autorów) [9–10] zawartość składników odżywczych obecnych w popiołach powstałych z różnego rodzaju biomasy.

T a b e l a 1

*Składniki odżywcze zawarte w popiołach [%] oraz wartości pH
wg R. Wacławowicza [9]*

Biomasa	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	pH
Pelety z siana	4,3	10,4	18,8	2,7	13,2
Ziarno owsa	11,8	14,8	3,5	4,5	9,3
Wierzba	4,0	8,9	34,4	0,3	12,4
Drewno dębowe	2,2	9,4	40,3	3,5	13,9
Słoma z pszenżyta	4,8	28,8	16,4	1,5	12,9
Słoma jara	3,6	6,5	7,4	3,4	10,1
Sorgo	3,4	13,6	8,1	2,9	12,0
Zrębki z kotła fluidalnego	1,3	3,6	15,4	6,3	13,7

T a b e l a 2

Charakterystyka popiołów z biomasy [10]

Oznaczany parametr	Sosna	Świerk	Buk	Dąb	Pszenżyto
Popiół [%]	0,41	1,78	0,52	0,34	2,96
Odczyn (pH)	11,11	10,78	11,47	11,71	11,03
EC [mS/cm]	4,10	16,29	12,13	3,85	11,63
Ciężar nasypowy [g/cm ³]	0,064	0,120	0,071	0,270	0,088
Węgiel organiczny [%]	0,05	1,62	0,02	0,70	1,41
CaO [%]	38,9	14,9	20,1	50,9	7,2
MgO [%]	10,6	3,9	14,6	5,9	7,5
Na ₂ O [%]	1,1	0,6	0,4	0,5	0,6
K ₂ O [%]	22,0	69,3	33,2	12,2	42,0
P ₂ O ₅ [%]	7,0	3,7	4,8	3,8	9,2

T a b e l a 3

Charakterystyka popiołów ze spalania biomasy drzewnej w kociach fluidalnych [%]

Lp.	Oznaczany parametr	Wynik
1	strata prażenia	10,44
2	SO ₃	3,05
3	SiO ₂	44,43
4	CaO	20,82
5	MgO	3,77
6	Al ₂ O ₃	6,81
7	Fe ₂ O ₃	4,70
8	Na ₂ O	0,64
9	K ₂ O	4,57
10	Na ₂ O _{eq}	3,65

Ź r ó d ł o: Badania własne.

Sporadycznie popioły pozyskiwane ze spalania biomasy mogą zawierać także podwyższone ilości metali ciężkich [11]. W badaniach Bahranowskiego i innych [12] stwierdzono, że popioły paleniskowe wykazują największą wymywalność Ca, Mg, K, Na, prawie całkowicie niewymywalne są natomiast pierwiastki o gęstości powyżej 5 g/cm³. Niska wymywalność metali ciężkich oznacza, że popioły mogą służyć do wiązania pierwiastków występujących w środowisku w ilościach ponadnormatywnych.

Zawartość metali ciężkich w badanych przez różnych autorów popiołach z biomasy wskazuje, że wartości dozwolone dla metali ciężkich w nawozach mine-

ralnych [13] przekroczone były jedynie dla zawartości ołowiu w odniesieniu do popiołów z sosny [9].

Metale ciężkie w popiołach lotnych występują w formach trudno dostępnych i słabo rozpuszczalnych w wodzie, bądź też w postaci soli nierozpuszczalnych, dlatego też nie są przyswajane przez rośliny na glebach alkalicznych.

3. Właściwości osadów ściekowych i metody ich zagospodarowania

Komunalne osady ściekowe są produktem ubocznym oczyszczania ścieków komunalnych. Osady ściekowe są definiowane jako faza stała ścieków, złożona ze związków mineralnych i/lub organicznych, oddzielana od fazy płynnej najczęściej w procesie sedymentacji [14–15].

Szacuje się, że obecnie w Europie wytwarzanych jest 8 mln ton s.m. osadów ściekowych. W Polsce, zgodnie z danymi GUS, komunalne oczyszczalnie ścieków obsługiwały w 2002 r. – 56,7% populacji i wytwarzały ponad 435 tys. ton osadów, w roku 2004 już 476 tys. ton, a w 2008 r. – 567,3 tys. ton. Jednocześnie wytworzono 647 tys. ton osadów przemysłowych [15–16].

Skład komunalnych osadów ściekowych jest zmienny i zależy od rodzaju oczyszczanych ścieków, sposobu ich oczyszczania oraz sposobu przeróbki. Osady ściekowe charakteryzują się następującymi właściwościami:

- wysokim uwodnieniem (ponad 99% dla osadów surowych, 80–55% dla osadów odwodnionych, poniżej 10% po termicznym suszeniu);
- wysoką zawartością związków organicznych (ok. 75% dla osadów surowych, 45–55% dla osadów ustabilizowanych);
- wysoką zawartością związków azotu (2,7% s.m.), niższą związków fosforu i potasu;
- zróżnicowaną zawartością metali ciężkich – największą charakteryzują się osady ściekowe z oczyszczalni zlokalizowanych w miastach silnie uprzemysłowionych;
- zróżnicowanym stopniem zagrożenia sanitarnego – największym w przypadku osadów surowych wstępnych, najmniejszym dla osadów ustabilizowanych i zhigienizowanych.

W roku 2004 dominującym kierunkiem zagospodarowania osadów ściekowych było ich składowanie, natomiast w 2008 r. odsetek osadów składowanych wynosił 16,1%. Wytworzone komunalne osady ściekowe składowane były głównie z powodów ekonomicznych, jak również ze względu na brak możliwości skierowania osadów do odpowiednich instalacji.

Ilość węgla organicznego spotykanego w typowych wysuszonych komunalnych osadach ściekowych zawiera się w szerokich granicach od 28 do 40%. Ich wartość opałowa jest stosunkowo wysoka i wynosi od 7 do 15 MJ/kg s.m. Parametry te eliminują więc osady jako odpad, który może być deponowany na składowisku od 1 stycznia 2016 r., zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki ze stycznia 2013 r. [17].

W procesie unieszkodliwiania osadów ściekowych w krajach Unii Europejskiej bardzo istotne znaczenie mają rozwiązania oparte na suszeniu i termicznym ich przekształcaniu. Według Krajowego planu gospodarki odpadami 2014 w Polsce w roku 2008 przekształcono termicznie 6,0 tys. Mg s.m. osadów ściekowych [18]. Są to jednak metody kosztowne i wymagające specjalnego przygotowania osadów przed spalaniem.

Metody termicznego unieszkodliwiania osadów ściekowych są szeroko stosowane w krajach Europy Zachodniej. Długoletnie doświadczenia w zakresie termicznego unieszkodliwiania odpadów w tych krajach ukazują problemy i uwarunkowania stosowania tej metody [19]. Uwarunkowania prawne dotyczące poddawania osadów ściekowych unieszkodliwianiu termicznemu nie są określone odrębnie, zatem należy kierować się w tym przypadku przepisami dotyczącymi termicznego przekształcania odpadów, określonymi w dziale VIII, rozdział 2 Ustawy o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. – Termiczne przekształcanie odpadów. Spalarnie odpadów powinny być projektowane, budowane, wyposażane i eksploatowane w sposób zapewniający ograniczenie do minimum ilości i szkodliwości powstających odpadów i innych emisji [20].

W Polsce wciąż najpopularniejszą formą unieszkodliwiania osadów ściekowych jest wykorzystanie przyrodnicze, które jednak ograniczone jest zapisami Rozporządzenia Ministra Środowiska z 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych [21]. Dodatkowo w polskim ustawodawstwie w zakresie gospodarowania odpadami, w tym osadami ściekowymi, obowiązuje Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, która w sposób jednoznaczny reguluje podstawy prawne i administracyjne [22].

Osady ściekowe są przyrodniczo wykorzystywane ze względu na zawartość w nich znacznych ilości materii organicznej, mającej właściwości użyźniające oraz pierwiastków, takich jak: azot, fosfor, wapń, magnez oraz siarka, które pobierane są przez rośliny jako składniki pokarmowe. Sposoby wykorzystywania komunalnych osadów ściekowych, a także dotyczące tego podstawy prawne i administracyjne zawiera, ogłoszona w dniu 8 stycznia 2013 r., ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach [20]. Określa ona co jest osadem ściekowym oraz w jakich przypadkach i do jakich celów może on być wykorzystany. Ustawa ta precyzuje między innymi:

- wykorzystanie osadów ściekowych w rolnictwie,
- kompostowanie osadów ściekowych,
- przekształcanie termiczne osadów ściekowych.

4. Możliwości zastosowania popiołów ze spalania biomasy w gospodarce osadowej

Warunkiem wykorzystania osadów ściekowych na cele przyrodnicze jest ich stabilizacja oraz przygotowanie poprzez obróbkę biologiczną, chemiczną, termiczną lub inne procesy, tak aby obniżyć podatność na zagniwanie i wyeliminować zagrożenie dla środowiska lub zdrowia ludzi. Podobne, ściśle określone, wymagania stawiane są osadom stosowanym do rekultywacji terenu lub innych celów przyrodniczych.

Kondycjonowanie osadu ma doprowadzić do zmiany struktury osadu, a kondycjonowanie wysoką temperaturą, np. kondycjonowanie wraz ze sterylizacją w temperaturze 135–145°C, dodatkowo go zhygienizować. Można także kondycjonować osady przez wymrażanie, za pomocą ultradźwięków, przez dodatek popiołu, pyłu węglowego, pyłu cementowego.

Osady surowe wymagają stabilizacji składu chemicznego (zlikwidowanie zdolności do zagniwania). Stabilizacja osadów jest bardzo kosztownym procesem, porównywalnym z kosztami oczyszczania ścieków. Szacunkowo w kosztach budowy całej oczyszczalni 50% stanowią koszty budowy urządzeń do oczyszczania ścieków, a 50% koszty urządzeń do stabilizacji i odwadniania osadów.

Czynnikiem, który w różnym stopniu ogranicza lub czasami uniemożliwia przyrodnicze wykorzystanie osadów ze ścieków komunalnych są metale ciężkie.

Osady można również kompostować lub wermikompostować z udziałem dżdżownicy kalifornijskiej (*Eisenia fetida*) [23–24]. Kolejną metodą jest stabilizacja chemiczna osadu, np. poprzez dodatek wapna palonego, powodująca zmiany we właściwościach cząstek osadu z jednoczesną higienizacją osadów. Mieszanie osadu z wapnem jest bardzo korzystne przy rolniczym wykorzystaniu osadów, ale kosztowne.

Osady ściekowe można również poddawać suszeniu gorącym powietrzem, które jest jednak procesem energochłonnym.

Większość wymienionych metod stabilizacji osadu ściekowego wymaga dość znacznych nakładów inwestycyjnych lub też związana jest zakupem stabilizatora chemicznego (CaO). Z uwagi na to poszukuje się innych mniej kosztownych metod ich stabilizacji. W dotychczas prowadzonych pracach badawczych wykorzystywano w gospodarce osadowej do ich stabilizacji i higienizacji popioły lotne z węgla brunatnego, pyły z wapienników, dolomity i mączkę bitumiczną [25–27].

Popioły lotne nowej generacji ze spalania 100% i/lub współspalania biomasy w kotłach fluidalnych energetyki zawodowej są stosunkowo nowym odpadem, dla którego poszukuje się innych metod unieszkodliwiania. Ze względu na swo-

je właściwości alkaliczne popioły te mogą spełniać rolę substancji higienizującej osad ściekowy (pH wyciągów wodnych ok. 13, wysoka zawartość CaO reaktywnego). 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 [28–29]. Niezależnie od stosowanego materiału wapnującego, najważniejsze jest osiągnięcie optymalnych warunków higienizacji w celu zminimalizowania skażenia mikrobiologicznego osadów.

W wyniku homogenizacji mieszaniny wstępnie zagęszczonego osadu ściekowego z popiołem lotnym nowej generacji ze spalania 100% i/lub współspalania biomasy, zawierającym znaczne ilości głównie CaO, a także MgO, następuje szereg egzotermicznych reakcji, które prowadzą do zmian fizykochemicznych osadu. W wyniku wzrostu temperatury osad będzie sterylizowany, pasteryzowany i dezynfekowany. Dodatkowo właściwości pucolanowe popiołów lotnych mogą korzystnie wpłynąć na immobilizację metali zawartych w osadach ściekowych w formy nierozpuszczalne w wodzie, a co za tym idzie nieprzyswajalne przez rośliny.

Nie bez znaczenia pozostaje sama forma produktu nawozowego, który może powstać po zmieszaniu popiołów lotnych z osadami ściekowymi. Osad ściekowy, ze względu na swoje uwodnienie, stwarza dodatkowe problemy z formą i kosztami transportu. Uzyskanie odpowiedniej formy ułatwi bezpieczne stosowanie bezpośrednio. Powstały produkt musi też być w łatwy sposób transportowany i stosowany na terenach rolniczych przy pomocy typowych rozrzutników nawozowych. Materiał odpadowy w postaci popiołów lotnych ze spalania 100% lub współspalania biomasy może więc stać się tańszą alternatywą dla stosowania CaO w procesie stabilizacji chemicznej osadów ściekowych.

W Polsce tematyka ta jest nowa z uwagi na to, że przemysł energetyczny stosunkowo niedawno powziął działania, aby spalać 100% czy współspalać biomasę na szeroką skalę, co spowodowało niebezpieczeństwo powstawania znacznych ilości nowego odpadu, dla którego należy znaleźć najbezpieczniejsze i najkorzystniejsze, również z uwagi na koszty i metody unieszkodliwiania. Konieczne jest zatem przeprowadzenie niezbędnych badań w celu dokładnej analizy powstających w procesach energetycznych popiołów lotnych nowej generacji i ich przydatności jako materiału stabilizującego osady ściekowe. Prace w tym zakresie będą prowadzone w ramach projektu badawczego.

5. Podsumowanie

W Polsce, ze względu na charakter zasiewów (głównie zboża), następuje powolne stopniowe odpróchnicowanie gleb, co jest zjawiskiem bardzo niekorzystnym i powoduje, że gleby w naszym kraju są ubogie w materię organiczną [23].

Niezbędne jest więc dodatkowe nawożenie nawozami organicznymi, a co ta tym idzie poszukiwanie nowych ich źródeł.

Powstawanie coraz to większych ilości różnego rodzaju odpadów organicznych, które są potencjalnym źródłem materii organicznej, oraz ekologiczna świadomość społeczna w zachowaniu równowagi ekologicznej sprzyjają rozwijaniu nowych zrównoważonych metod, których celem jest odpowiednie przetworzenie i zagospodarowanie odpadowej materii organicznej. Nowe technologie mają zminimalizować powstawanie odpadów poprzez zagospodarowanie ich w gospodarce rolniczej, a także w organizacji i utrzymaniu terenów zielonych w aglomeracjach miejskich i obiektach rekreacyjnych. Do takich odpadów zaliczyć możemy między innymi organiczną frakcję odpadów komunalnych oraz osady ściekowe. Przyrodnicze ich wykorzystanie staje się metodą najbliższą naturalnemu ekosystemowi, w którym substancje odpadowe producentów stają się substratem dla reducentów i konsumentów. Taki naturalny układ jest swoistą ideą przyszłości w korzystaniu przez ludzi ze środowiska naturalnego.

Z uwagi na to, iż popioły lotne nowej generacji ze spalania 100% lub współspalania biomasy w energetyce zawodowej posiadać mogą właściwości nawozowe, porównywalne do właściwości nawozów mineralnych wapniowych lub wapniowo-magnezowych, a efekt plonotwórczy osadów ściekowych porównywalny jest z nawożeniem obornikiem [30], metoda połączenia tych dwóch składników może okazać się bardzo korzystną proekologiczną metodą zagospodarowania zarówno popiołów lotnych ze spalania biomasy w energetyce zawodowej, jak i powstających w procesach oczyszczania ścieków osadów ściekowych, których składowanie zgodnie z wymogami prawa nie będzie już możliwe od stycznia 2016 r. [17].

Należy jednak pamiętać, że z uwagi na to, iż w różnych instalacjach wyposażonych w kotły fluidalne w chwili obecnej spalana w 100% i współspalana jest biomasa różnego pochodzenia, konieczna jest dokładna analiza składu popiołów lotnych, powstających w procesie jej spalania, przed ich zastosowaniem w procesie stabilizacji osadu ściekowego z przeznaczeniem na cele przyrodnicze.

Literatura

- [1] Sprawa biomasy u Ministra – będą zmiany w ustawie!, <http://www.gramzielone.pl/> (28.02.2012).
- [2] Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji, Dz.U. z 2009 r. nr 130, poz. 1070.
- [3] H y c n a r J.J., Weryfikacja popiołów ze spalania węgla, Ecocoal Consulting Center Katowice. EUROCOALASH, Energetyka-Nauka-Przemysł, s. 48, www.energetyka.eu, (10.01.2009).
- [4] P r z e k o p o w s k a M., *Prawo zapomniato o odpadach ze spalania biomasy*, „Energetyka Ciepła i Zawodowa” 2012, nr 2, s. 36.

- [5] PN-EN 450-1+A1: 2009 – Popiół lotny do betonu. Część 1: Definicje, wymagania i kryteria zgodności.
- [6] K o s i o r - K a z b e r u k M., *Nowe dodatki mineralne do betonu*, „Budownictwo i Inżynieria Środowiska” 2011, nr 2, s. 47.
- [7] K o s i o r - K a z b e r u k M., L e l u s z M., *Ocena popiołu pochodzącego z jednoczesnego spalania biomasy i węgla jako składnika kompozytów cementowych*, „Materiały Ceramiczne” 2010, nr 2, s. 166–170.
- [8] G i e r g i c z n y E., *Popiół lotny ze współspalania jako dodatek do cementu i betonu w aspekcie wymagań normowych i środowiskowych*, [w:] *Popioły z energetyki, Międzyzdroje, 17–20 października 2007 r.: monografia*, red. T. Szczygielski, Ekotech, Szczecin [2007].
- [9] W a c ł a w o w i c z R., *Rolnicze wykorzystanie popiołów ze spalania biomasy*, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Katedra Kształtowania Agroekosystemów i Terenów Zieleni, <http://www.up.wroc.pl/> (28.02.2012).
- [10] C i e s i e l c z u k T., K u s z a G., N e m ś A., *Nawożenie popiołami z termicznego przetwarzania biomasy źródłem pierwiastków śladowych dla gleb*, „Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych” 2011, nr 49, s. 219–227.
- [11] A n t o n k i e w i c z J., *Wykorzystanie popiołów paleniskowych do wiązania metali ciężkich występujących w glebie*, „Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych” 2009, nr 41, s. 398.
- [12] B a h r a n o w s k i K., G ó r n i a k K., R a t a j c z a k T., S i k o r a W.S., S z y d ł a k T., W y s z o m i r s k i P., *Wymywalność niektórych pierwiastków głównych i śladowych z zawiesiny wodnej popiołów lotnych*, „Prace Specjalne” 1999, z. 13, s. 35–41.
- [13] „Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych” 2009, nr 41.
- [14] Z a m o r s k a J., *Możliwości zastosowania biopreparatów w higienizacji osadów ściekowych*, [w:] *II Kongres Inżynierii Środowiska, Lublin 4–7 września 2005 r.*, red. L. Pawłowski, t. 1, Komitet Inżynierii Środowiska PAN, Lublin 2005, s. 1351–1357.
- [15] P o l u s z y ń s k a J., N a r o l s k a J., S ł a w i ń s k a I., B o ż y m M., *Wpływ metod stabilizacji osadów ściekowych na zawartość wybranych związków organicznych*. Prace statutowe ICIMB 9/324/S, 2009.
- [16] W e r l e S., W i l k R.K., *Energetyczne wykorzystanie osadów ściekowych*, [w:] *III Kongres Inżynierii Środowiska*, red. J. Ozonek, M. Pawłowska, t. 1, Komitet Inżynierii Środowiska PAN, Lublin 2009, s. 339–346.
- [17] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu, Dz.U. z 2013 r. nr 0, poz. 38.
- [18] Krajowy plan gospodarki odpadami 2014, http://www.mos.gov.pl/kategoria/3340_krajowy_plan_gospodarki_odpadami_2014/ (9.05.2013).
- [19] P o l u s z y ń s k a J., P o k o r s k a M., *Termiczna utylizacja osadów ściekowych w piecu obrotowym do wypalania klinkieru*, [w:] *Charakterystyka i zagospodarowanie osadów ściekowych*, red. J. Hupka, t. 1, Gdańsk 2000, s. 129.
- [20] Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r., Dz.U. z 2013 r. nr 0, poz. 21.
- [21] Rozporządzenia Ministra Środowiska z 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych, Dz.U. z 2010 r. nr 137, poz. 924.

- [22] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz.U. z 2001 r. nr 62, poz. 627.
- [23] M a z u r K., F i l i p e k - M a z u r B., Wartość nawozowa kompostów i wermikompostów z odpadów roślinnych oraz osadów ścieków przemysłowych i komunalnych, <http://www.zb.eco.pl/inne/kompost2/ar.htm> (28.02.2012).
- [24] P o l u s z y ń s k a J., *Biodegradacja wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w procesie kompostowania komunalnych osadów ściekowych*, „Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” 2012, nr 10, s. 395–407.
- [25] 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 u k T., *Możliwości wykorzystania odpadów organicznych i mineralnych z uwzględnieniem zasad obowiązujących w ochronie środowiska*, „Rocznik Ochrona Środowiska” 2011, t. 13, s. 361–376.
- [26] 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.
- [27] B o ń y m M., *Wykorzystanie pyłów dymnicowych ze spalania węgla brunatnego w gospodarce osadowej*, „Prace Instytutu Szkła, Ceramiki i Materiałów Budowlanych” 2010, nr 5, s. 104–112.
- [28] M a l e j J., *Właściwości osadów ściekowych oraz wybrane sposoby ich unieszkodliwiania i utylizacji*, „Rocznik Ochrony Środowiska” 2000, t. 2, s. 69–101.
- [29] O l e s z k i e w i c z J.A., *Gospodarka osadami ściekowymi. Poradnik decydeny*, Wyd. LEM s.c., Kraków 1998.
- [30] G o n d e k K., *Wpływ nawożenia nawozami mineralnymi, obornikiem od trzody chlewnej i komunalnymi osadami ściekowymi na plon i niektóre wskaźniki jakości ziarna pszenicy jarej (TRITICUM AESTIVUM L)*, „Acta Agrophysica” 2012, Vol. 19, nr 1, s. 289–302.

JOANNA POLUSZYŃSKA

POSSIBILITIES OF APPLICATIONS OF FLY ASH FROM THE BIOMASS COMBUSTION IN THE SLUDGE MANAGEMENT

Keywords: the new generation fly ash, sewage sludge, chemical stabilization, thermal utilization, agriculture use.

In recent years the interest of energy from alternative fuels from biomass, that can be burned alone or co-incinerated in fluidized bed boilers has been increased. In these processes, a new waste like a new generation fly ash has formed. This ashes, due to its properties may not be quite as common as previously used in the production of building materials. However, they may be a product for chemical stabilization of municipal sewage sludge, which the utilization for environmental purposes requires special preparation. Thus, it becomes possible to secure utilization of two types of waste and the resulting product can natural use for example in agriculture, after successfully passed the required tests.