

PODSTAWOWE UWARUNKOWANIA PROCESU WSPÓLSPALANIA ODPADÓW W PIECACH CEMENTOWYCH

Dr inż. Tadeusz Pająk, EUR ING
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
pajak@imir.agh.edu.pl

Streszczenie

Piece cementowe stanowią realną i interesującą alternatywę dla podjęcia termicznego przekształcania szerokiej grupy odpadów. Wykorzystaniu pieców cementowych do współspalania odpadów sprzyja szereg uwarunkowań. Należą do nich między innymi: zaimplementowane do prawa krajowego przepisy dyrektywy 2000/76/EC, które jednoznacznie definiują standardy emisyjne i wymagania procesowe związane z realizacją procesu współspalania odpadów w piecach cementowych, wykazana w krajowej strategii zagospodarowania odpadów potrzeba zastosowania procesów termicznego przekształcania dla unieszkodliwienia istotnego strumienia odpadów komunalnych, co możliwe jest także poprzez ich współspalanie w piecach cementowych, jak także specyficzna atmosfera i wysoka temperatura charakteryzująca proces wypalania klinkieru, dzięki czemu w piecach cementowych możliwe jest, znacznie łatwiejsze niż w innych instalacjach, zachowanie wymaganych prawnie standardów emisyjnych i wymagań procesowych. Nie pominięto też podstawowego uwarunkowania jakie wynika z definicji współspalania odpadów i zasadniczej roli jaką spełniają piece cementowe produkując klinkier. Uwarunkowania te stanowią podstawowe tezy, a zarazem przedmiot szczegółowych rozważań niniejszego artykułu.

1. Wprowadzenie

Piece cementowe to wiodące pośród innych instalacje, w których w zgodzie z zapisami prawa krajowego jak i wspólnotowego możliwym jest relatywnie najłatwiej i najszybciej podjąć współspalanie szerokiej grupy odpadów. W Polsce jak dotąd nie ma zbyt wielu przykładów potwierdzających to stwierdzenie. Udowadniają je jednak cementownie krajów Unii Europejskiej i należy oczekiwać, że ich śladem będą w najbliższym czasie podążać także krajowe cementownie. Tak ogólnie sformułowaną tezę można wykazać na podstawie następujących stwierdzeń:

- ⇒ przedstawiona w Krajowym Planie Gospodarki Odpadami strategia zagospodarowania odpadów, a szczególnie redukcji frakcji biodegradowalnych z odpadów komunalnych, wymagać będzie zastosowania metod opartych na termicznym przekształcaniu odpadów. W związku z tym niezbędne będzie w bliskiej perspektywie skierowanie do profesjonalnych spalarni znacznego strumienia odpadów komunalnych. Jak dotąd eksploatowana jest w Polsce tylko jedna spalarnia odpadów komunalnych. Potrzeba kolejnych, co najmniej 8 spalarni odpadów komunalnych. Czy obiekty te powstaną trudno dzisiaj gwarantować. Ich budowa wymagać będzie znacznych nakładów finansowych, a przede wszystkim akceptacji społecznej. Przekornie można stwierdzić, że uzyskanie akceptacji społecznej może okazać się łatwiejsze niż pozyskanie środków finansowych, mimo wsparcia z funduszu spójności czy innych środków z Komisji Europejskiej. W tej sytuacji piece cementowe okazać się mogą interesującą alternatywą

dla rozwiązania tego problemu. I mimo, że nie są one w stanie bezpośrednio przejąć roli jaką mogłyby spełnić profesjonalnie zaprojektowane spalarnie, to jednak mogą – przy spełnieniu określonych warunków – podjąć współspalanie przetworzonych frakcji odpadów komunalnych. Teza ta zostanie w dalszej części pracy rozwinięta i skomentowana.

- ⇒ od początku października 2003 r. obowiązuje rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 sierpnia 2003 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji (Dz. U. Nr 163, poz.1584). Znowelizowano jednocześnie odpowiednie rozporządzenia Ministra Gospodarki i dzięki temu zaimplementowano do prawa krajowego przepisy najistotniejszej w aspekcie spalania i współspalania odpadów dyrektywy, jaką jest dyrektywa 2000/76/EC w sprawie spalania odpadów. W ten sposób jednoznacznie określone zostały wszelkie reguły związane z realizacją procesu współspalania odpadów, w tym reguły określające zachowanie bezpieczeństwa ekologicznego ze strony instalacji współspalających odpady. Reguły te zostaną w dalszej części pracy omówione.
- ⇒ piece cementowe dzięki charakterystycznym cechom przebiegającego w nich procesu technologicznego należą do grupy tych instalacji, które w stosunku do instalacji z innych branż przemysłu są w stanie w zgodzie z obowiązującym prawem relatywnie najłatwiej podjąć współspalanie określonych grup odpadów, spełniając bardzo ostro zdefiniowane wymagania w zakresie standardów emisyjnych i parametrów procesowych. Kolejna istotna grupa instalacji pretendujących do współspalania odpadów, jaką stanowią energetyczne kotły pyłowe, nie będzie w stanie spełnić – w zdecydowanej większości przypadków bez kosztownych modernizacji istniejących instalacji oczyszczania spalin – zapisanych prawnie wymagań w zakresie emisji do powietrza, co dodatkowo zwiększa zainteresowanie piecami do wypalania klinkieru. Również i ta teza zostanie szerzej omówiona.
- ⇒ w zakresie strategii zagospodarowania różnych grup odpadów opracowane zostały na przestrzeni ostatnich lat istotne dokumenty – od Krajowego Planu Gospodarki Odpadami po plany na szczeblu gminnym, co aktualnie przebiega. Podobnego opracowania doczekały się ścieki komunalne – Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych. Podobnej strategii nie opracowano jak dotąd w zakresie współspalania odpadów, w tym strategii obejmującej współspalanie odpadów w przemyśle cementowym, w piecach obrotowych do produkcji klinkieru. Strategia taka przy aktualnie zdefiniowanych i ustabilizowanych uwarunkowaniach prawnych i ogólnie zdefiniowanych potrzebach w zakresie termicznego przekształcania odpadów możliwa jest do nakreślenia. Organizowane VI już Seminarium pt.: „Paliwa Alternatywne w Przemśle Cementowym – Zrównoważony Rozwój” stanowić będzie niewątpliwie kolejne źródło interesujących danych dla podjęcia opracowania takiej strategii.

2. Termiczne przekształcanie a współspalanie odpadów

2.1. Rodzaje odpadów

Piece do wypalania klinkieru nigdy nie będą w stanie spełnić roli profesjonalnych spalarni odpadów. Ich zasadniczym celem jest bowiem produkcja klinkieru o odpowiedniej jakości, a nie termiczne unieszkodliwianie odpadów. Niemniej różne grupy odpadów mogą z powodzeniem pełnić rolę paliw alternatywnych, których energia chemiczna może być

substytutem paliw kopalnych angażowanych do energochłonnego procesu wypalania klinkieru. Warto w tym miejscu przytoczyć za §16 pkt. 3 rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie standardów emisyjnych z instalacji (Dz. U. 2003 Nr 163, poz. 1584) definicję instalacji współspalania odpadów. Brzmi ona następująco:

„Przez instalacje współspalania odpadów rozumie się każdą instalację, której głównym celem jest wytwarzanie energii lub produktów materialnych, w której wraz z paliwami spalane są odpady w celu odzyskania zawartej w nich energii lub w celu ich unieszkodliwienia”.

Podana definicja, jak i inne przepisy cytowanego rozporządzenia, nie ograniczają jakie rodzaje odpadów mogą być współspalane. Mogą to być zarówno odpady z grupy odpadów innych niż niebezpiecznych jak także odpady niebezpieczne. Istotne jest, aby ich użycie wiązało się z odzyskiem energii i nie powodowało obniżenia jakości produktu. Bardzo istotna jest również wartość opałowa odpadów kierowanych do współspalania w piecach cementowych, szczególnie dla cementowni, która podejmując się współspalania odpadów i ponosząc koszty związane z dostosowaniem swojej instalacji oczekuje zysków po stronie oszczędności energii w paliwie pierwotnym.

W Polsce według danych z roku 2002 energia ze spalania odpadów tylko w 3% zastępowała energię ze spalania paliw kopalnych [1]. W krajach Unii Europejskiej udział ten biorąc średnio jest znacznie wyższy – wynosi około 12%. Przewiduje się, że w roku 2010 wynosić on będzie 20%. W Niemczech w 2000 r. 25,7% energii pozyskano ze spalania różnych grup odpadów, w roku 2005 udział ten ma wynosić 30%. Aktualnie najwięcej energii z odpadów pozyskiwanej dla realizacji wypalania klinkieru wykorzystuje Holandia (54%) oraz Francja (42%) [1], [2].

Najczęściej współspalane w krajach UE rodzaje odpadów w piecach cementowych to [2]:

- ⇒ zużyte opony,
- ⇒ odpady gumowe,
- ⇒ odpady z produkcji papieru,
- ⇒ oleje przetworzone,
- ⇒ drewno odpadowe,
- ⇒ komunalne osady ściekowe oraz osady z przemysłu papierniczego,
- ⇒ tworzywa sztuczne,
- ⇒ zużyte rozpuszczalniki.

Jak dotychczas przetworzone odpady komunalne rzadko są współspalane. Np. w Niemczech w 2000 r. stanowiły one około 15% udział energetyczny wśród wszystkich rodzajów współspalanych odpadów. Oczekiwany jest jednak wzrost udziału tej grupy odpadów.

Odpowiednio przygotowane paliwo z odpadów może być wprowadzane razem z paliwem podstawowym poprzez główny palnik pieca, albo kierowane do wtórnego spalania poprzez wprowadzenie go do komory wlotowej pieca. Może też być doprowadzone do przewodu wznosowego, do prekalcyntora oraz dla pieców długich przez służę w części środkowej pieca. W przypadku wprowadzania odpadów wraz z paliwem podstawowym, co jest rozwiązaniem bardzo często stosowanym, istotne jest aby układ podawania odpowiednio przygotowanego paliwa z odpadów był niezależny od układu zasilania w paliwo podstawowe. Istnieje wówczas możliwość bezpośredniej reakcji w przypadkach awaryjnych prowadzących do pogorszenia standardów emisyjnych czy parametrów jakościowych klinkieru. Wprowadzanie odpadów do zasobnika paliwa podstawowego nie daje takiej możliwości, a wszelkie decyzje związane z

ograniczeniem ilości czy składu odpadów mogą być dokonane dopiero po zużyciu już zmieszanego paliwa.

Odpowiedni skład fizykochemiczny odpadów kierowanych do współspalania jest bardzo istotny. Zbyt duży udział określonych pierwiastków może zakłócić proces wypału klinkieru i obniżyć jego jakość bądź też wpłynąć na wzrost emisji zanieczyszczeń. Znaczna zawartość siarki, chloru, fluoru i azotu w materiale poddawanym współspalaniu będzie skutkować powstawaniem dużej ilości gazów kwaśnych. Do pewnego momentu będą one skutecznie wiązane dzięki silnemu odczynowi alkalicznemu związanemu z wypalaniem w piecu klinkierem. Przekroczenie jednak określonego progu spowoduje pogorszenia jakości cementu i znaczący wzrost emisji gazów kwaśnych. Z kolei obecność metali ciężkich w znacznych stężeniach może w sposób znaczący pogorszyć jakość wypalanego klinkieru. Obecność zaś niektórych pierwiastków, jak np. sód czy potas jest praktycznie wykluczona – nawet niewielkie ich stężenia w sposób znaczący pogarszają parametry aplikacyjne produkowanego cementu.

Stąd też przepisy wielu państw Europy Zachodniej, jak np. Szwajcarii (przepisy Ministerstwa Ochrony Środowiska, Leśnictwa i Ochrony Krajobrazu BUWAL) czy Niemiec (przepisy wynikające z Ustawy o odpadach - KrW-/AbfG i zaleceń Grupy Roboczej ds. Odpadów LAGA), podają cały zakres unormowań w tym względzie [3]. Przepisy te określają ponadto wzajemne relacje pomiędzy rolą cementowni, a funkcją profesjonalnych spalarni odpadów tak, aby współspalanie odpadów było nie tylko zgodne z przyjętymi scenariuszami ich zagospodarowania, ale również nie prowadziło do konfliktów w zakresie i skali ich energetycznej waloryzacji.

Cytowane przepisy szwajcarskie określają na przykład tzw. Pozytywną Listę Odpadów [3], dzieląc sklasyfikowane na niej odpady na trzy podstawowe kategorie, które stanowią:

- odpady zakwalifikowane do wykorzystania jako paliwa alternatywne,
- odpady o charakterze komponentów technologicznych lub składników korygujących skład cementu
- odpady mogące spełniać rolę zastępczych materiałów eksploatacyjnych.

Każda wymieniona grupa odpadów posiada określone ograniczenia. W zakresie odpadów stosowanych w cementowniach krajów UE jako paliwa alternatywne ograniczenia te dotyczą głównie zawartości związków chloroorganicznych i metali ciężkich.

W związku z tym niemal dla wszystkich dopuszczonych do współspalania paliw z odpadów przyjmowane są następujące limity [1], [3]:

- ⇒ jako górną dopuszczalną zawartość związków typu PCB/PCT przyjęto 50 mg/kg. Dokładnie taki sam zakres przyjęto dla uwarunkowań krajowych w pracy [1],
- ⇒ dla zawartych w odpadach związków chloroorganicznych przyjęto dopuszczalną wartość, która nie powinna przekroczyć 1% wagowo w przeliczeniu na chlor, co jest również zgodne z krajowymi założeniami przyjętymi dla współspalania odpadów [1],
- ⇒ dla odpadów, dla których znana jest zawartość związków typu PCDD_s/PCDF_s – popularnie zwanych dioksynami przyjęto, że dopuszczalne stężenie tych związków nie może być większe niż 10 ng I-TEQ/kg, bez względu na to czy odpady te będą użyte jako paliwo czy jako dodatek do wsadu. Warunek ten nie został uwzględniony przez autorów pracy [1],
- ⇒ autorzy pracy [1] podają także warunek determinujący energetyczne wykorzystanie paliw alternatywnych, określając wartość opałową nie mniejszą niż 11 500 kJ/kg,

⇒ w wielu przypadkach obok oczekiwania spełnienia wyżej wymienionych ograniczeń formułowane są także ograniczenia co do stężeń metali ciężkich zawartych w odpadach, co obrazuje zestawienie w tabeli I [3],[4].

Przedstawioną w tabeli I zawartość metali dla odpadów służących jako paliwa odniesiono do typowej dla węgla kamiennego wartości opałowej wynoszącej 25 MJ/kg. W przypadku gdy użyte odpady mają wartość opałową większą lub mniejszą od przyjętego poziomu odniesienia wówczas proporcjonalnie zmienia się również wartość dopuszczalna.

Tabela I. Dopuszczalna zawartość metali ciężkich dla określonych grup odpadów [3],[4]

Rodzaj zanieczyszczenia		WARTOŚĆ DOPUSZCZALNA [mg/kg w stanie suchym]			
		Odpady jako paliwo alternatywne		Odpady jako składnik klinkieru mg/kg	Odpady jako dodatek do prod. cementu mg/kg
		mg/MJ	mg/kg przy 25 MJ/kg		
Arsen	As	0,6	15	20	30
Antymon	Sb	0,2	5	1	5
Bar	Ba	8	200	600	1000
Beryl	Be	0,2	5	3	3
Chrom	Cr	4	100	100	200
Cyna	Sn	0,4	10	50	30
Cynk	Zn	16	400	400	400
Kadm	Cd	0,08	2	0,8	1
Kobalt	Co	0,8	20	30	100
Miedź	Cu	4	100	100	200
Nikiel	Ni	4	100	100	200
Ołów	Pb	8	200	50	75
Rtęć	Hg	0,02	0,5	0,5	0,5
Tal	Tl	0,12	3	1	2
Wanad	V	4	100	200	300

Konkluzja

Jak już podkreślano nie wszystkie odpady nadają się do spalania w piecach do wypalania klinkieru. W krajach UE stosowane są limity ograniczające stężenie substancji chloroorganicznych, dioksyn i metali ciężkich. Według założeń przyjętych przez autorów „Przewodnika BAT dla najlepszych dostępnych technik w polskim przemyśle cementowo-wapienniczym” podobne założenia powinny obowiązywać dla współspalania odpadów w krajowych cementowniach [1]. Doprecyzowania jednak wymagają założenia odnośnie stężenia dioksyn, a głównie metali ciężkich. Założenia te nie zostały sformułowane w pracy [1]. Znane są jedynie ogólne założenia – dostępne wśród danych posiadanych przez Stowarzyszenie Producentów Cementu i Wapna – określające maksymalne stężenia metali ciężkich zawartych w odpadach wprowadzanych do współspalania w piecach cementowych.

2.2. Perspektywy w zakresie termicznego przekształcania odpadów – rola cementowni

Zgodnie z planem implementacyjnym dyrektywy 99/31/EC – w sprawie składowisk odpadów, a szczególnie jej art. 5.2, wprowadzany został w Polsce obowiązek istotnej redukcji odpadów ulegających biodegradacji kierowanych na składowiska. Redukcję tą należy przeprowadzić w trzech, następująco zdefiniowanych etapach [5]:

- do roku 2010 należy zmniejszyć do 75% deponowanej masy odpadów ulegających biodegradacji w stosunku do 1995 roku, co oznacza konieczność redukcji około 3,1 mln ton odpadów kierowanych na składowiska,
- do roku 2013 należy zmniejszyć do 50% deponowanej masy odpadów ulegających biodegradacji w stosunku do 1995 roku, co oznacza redukcję około 5,1 mln ton odpadów kierowanych na składowiska,
- do roku 2020 należy zmniejszyć do 35% deponowanej masy odpadów ulegających biodegradacji w stosunku do 1995 roku.

Autorzy Krajowego Planu Gospodarki Odpadami (KPGO) szacują, że ilość odpadów ulegających biodegradacji wzrośnie w roku 2010 do ok. 6400 tys. Mg, a w roku 2013 do ok. 7260 tys. Mg. Aby zatem osiągnąć zakładany w roku 2010 poziom redukcji tego rodzaju odpadów trzeba będzie dokonać odzysku i unieszkodliwienia około 3,1 mln ton odpadów, w tym autorzy KPGO zakładają, że dla 1,387 mln ton niezbędne będzie zastosowanie metod termicznych. Unieszkodliwienie metodami termicznymi tego zakresu strumienia odpadów wymagać będzie wybudowania w dużych miastach w przybliżeniu 8 profesjonalnych spalarni odpadów. Ich budowa wymaga przygotowania profesjonalnych studiów, a przede wszystkim istotnych nakładów finansowych – około 500 mln Euro oraz akceptacji społecznej [5]. Wybudowanie tych instalacji do roku 2010 może okazać się bardzo trudne do realizacji. Jeszcze większe wymagania, co do ilości strumienia odpadów kierowanych do termicznego przekształcania, będą obowiązywać na poziomie roku 2013 i 2020.

Wykorzystanie potencjału istniejących w kraju pieców do wypalania klinkieru, jako instalacji wspomagających nakreślone w KPGO plany w zakresie termicznego przekształcania odpadów ulegających biodegradacji, wydaje się więc jak najbardziej uzasadnione.

Do pieców cementowych nie mogą jednak trafić w żaden sposób nieprzetworzone odpady komunalne. Jak już wcześniej wspomniano piece cementowe nie zostały wybudowane po to, aby pełnić rolę spalarni odpadów. Mogą, bez obawy o obniżenie jakości klinkieru, współspalać tylko określone rodzaje odpadów, co scharakteryzowano w rozdziale 2.1.

Ponadto zgodnie z aktualnym prawem krajowym, a mianowicie zgodnie z treścią § 18 ust. 3 rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 4 sierpnia 2003 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji:

„Standardy emisyjne z instalacji współspalania odpadów, w przypadku współspalania niepoddanych przeróbce mieszanych odpadów komunalnych, z wyjątkiem odpadów innych niż niebezpieczne, o kodach 20 01 i 20 02, wymienionych w katalogu odpadów stanowiącym załącznik do rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27 września w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. nr 112, poz. 1206), określa załącznik nr 5 do rozporządzenia”,

co oznacza, że współspalanie nieprzetworzonych odpadów komunalnych w piecach do wypalania klinkieru wymagałoby spełnienia takich samych standardów emisyjnych jakie obowiązują dla spalania odpadów w profesjonalnych spalarniach odpadów – określonych w załączniku nr 5 do cytowanego rozporządzenia w sprawie standardów emisyjnych z instalacji.

W ten sposób także od strony prawnej zapisane zostały istotne uwarunkowania dotyczące współspalania zmieszanych odpadów komunalnych. Ich współspalanie nie jest zakazane, ale może się odbywać jedynie na podstawie takich samych standardów emisyjnych jakie obowiązują profesjonalne spalarnie odpadów.

Obok współspalania przetworzonych odpadów komunalnych piece cementowe mogą zostać z powodzeniem wykorzystane do współspalania osadów ściekowych jak także określonych innych rodzajów odpadów, w tym odpadów niebezpiecznych.

3. Współspalanie odpadów w piecach do wypalania klinkieru w aspekcie prawnym

Użycie w procesie produkcji klinkieru paliw stanowiących określony rodzaj odpadów znajduje również swoje konsekwencje w postaci dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń zawartych w gazach odlotowych, jak także w postaci zachowania odpowiednich wymagań procesowych. Obowiązujące wymagania w tym zakresie zostały zapisane w dyrektywie 2000/76/EC w sprawie spalania odpadów i przeniesione do prawa krajowego poprzez następujące akty prawne:

1. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 sierpnia 2003 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji (Dz. U. 2003, Nr 163, poz. 1584) – wydane na podstawie art. 145 ust. 1 pkt. 1 oraz art. 146 ust. 2 i 4 ustawy Prawo ochrony środowiska.
2. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów (Dz. U. 2002, Nr 37, poz. 339 wraz ze zmianami ogłoszonymi w Dz. U. 2004, Nr 1, poz.2) – wydane na podstawie art. 47 ustawy o odpadach.
3. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 29 stycznia 2002 r. w sprawie rodzajów odpadów innych niż niebezpieczne oraz rodzajów instalacji i urządzeń, w których dopuszcza się ich termiczne przekształcanie (Dz. U. 2002, Nr 18, poz. 176 wraz z późniejszymi zmianami ogłoszonymi w Dz. U. 2003, Nr 192, poz. 1877) – rozporządzenie wydane na podstawie art. 44 ust. 5 ustawy o odpadach.

Zgodnie z aktualnym prawem krajowe cementownie w swoich decyzjach o dopuszczalnej emisji (pozwoleniach na emisje) posiadają jedynie ograniczenia emisji (wyrażone zazwyczaj w kg/h) w zakresie pyłu, dwutlenku siarki, tlenków azotu oraz tlenku węgla.

Gdyby dokonać przeliczenia określonych w pozwoleniach wartości dopuszczalnych emisji na stężenia zanieczyszczeń w emitorze i odnieść je do warunków umownych i wymaganego stężenia tlenu, okazałoby się niewątpliwie, że wartości te są znacznie bardziej liberalne niż wartości jakie obowiązywać będą w przypadku podjęcia przez cementownię współspalania odpadów.

Ponadto w takim przypadku pojawią się wymagania nie tylko co do znacznie ostrzej zdefiniowanych stężeń pyłu, dwutlenku siarki, tlenków azotu oraz tlenku węgla, ale także szeregu dodatkowych substancji zanieczyszczających jak: chlorowodoru, fluorowodoru, substancji organicznych w przeliczeniu na węgiel, rtęci, kadmu i talu, określonej grupy metali ciężkich i dioksyn. Ich dotrzymanie nie zawsze może być łatwe do osiągnięcia.

W tabeli II podano aktualnie obowiązujące standardy emisyjne dla pieców do wypalania klinkieru, w których następuje współspalanie odpadów.

Tabela II. Standardy emisyjne C dla pieców do produkcji klinkieru cementowego, w których współspalane są odpady

L.p.	Nazwa substancji	Standardy emisyjne w $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{u}}$ (dla dioksyn i furanów w $\text{ng}/\text{m}^3_{\text{u}}$), przy zawartości 10% tlenu w gazach odlotowych
1.	pył całkowity	30 ¹⁾
2.	chlorowódor (HCl)	10
3.	fluorowódor (HF)	1
4.	tlenki azotu (NO_x) dla istniejących instalacji	800 ²⁾
	tlenki azotu (NO_x) dla nowych instalacji	500 ³⁾
5.	dwutlenek siarki (SO_2)	50 ⁴⁾
6.	substancje organiczne w postaci gazów i par wyrażone jako całkowity węgiel organiczny	10 ⁵⁾
7.	tlenek węgla (CO)	2000
8.	kadm + tal (Cd + Tl)	0,05
9.	rteć (Hg)	0,05
10.	antymon + arsen + ołów + chrom + kobalt + miedź + mangan + nikiel + wanad (Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V)	0,5
11.	dioksyne i furany	0,1 ⁶⁾

Przyjęte oznaczenia do tabeli II:

- 1) do dnia 31 grudnia 2007 r. standard emisyjny pyłu w przypadku produkcji klinkieru cementowego w piecach, w których spalane są odpady w ilości mniejszej niż 3 Mg na godzinę, wynosi $50 \text{ mg}/\text{m}^3_{\text{u}}$, przy zawartości 10 % tlenu w gazach odlotowych;
- 2) do dnia 31 grudnia 2007 r. standard emisyjny NO_x z eksploatowanych pieców, w których klinkier cementowy jest produkowany z zastosowaniem metody mokrej lub z pieców do produkcji klinkieru cementowego, w których spalane są odpady w ilości mniejszej niż 3 Mg na godzinę, wynosi $1\ 200 \text{ mg}/\text{m}^3_{\text{u}}$, przy zawartości 10 % tlenu w gazach odlotowych;
- 3) standard emisyjny NO_x z eksploatowanych pieców do produkcji klinkieru cementowego, w których współspalanie odpadów zostanie rozpoczęte do dnia 28 grudnia 2004 r., wynosi $800 \text{ mg}/\text{m}^3_{\text{u}}$, przy zawartości 10 % tlenu w gazach odlotowych;
- 4) standardów emisyjnych SO_2 można nie stosować w przypadkach gdy substancja ta nie powstaje w wyniku spalania odpadów;
- 5) standardów emisyjnych substancji organicznych w postaci gazów i par wyrażonych jako całkowity węgiel organiczny można nie stosować w przypadkach gdy substancje te nie powstają w wyniku spalania odpadów;

⁶⁾ jako suma iloczynów stężeń dioksyn i furanów w gazach odlotowych oraz ich współczynników równoważności toksycznej, wymienionych w załączniku nr 5 do rozporządzenia.

Standardy dla substancji określonych w pozycjach od 1 do 7 wyznacza się na podstawie średnich dobowych, w pozycjach od 8 do 11 na podstawie pomiarów okresowych.

Tabela III. Standardy emisyjne możliwe do spełnienia przez krajowe cementownie stosujące najlepsze dostępne techniki [1]

Emitor	Rodzaj zakładu	Pył	NO ₂	SO ₂	CO
		[mg/m ³ _u] przy zawartości 10% tlenu w gazach odlotowych			
komin pieca	nowy istniejący	50 300/100 ¹⁾	800 1500/1200 ²⁾	500 800/500 ³⁾	2500/ 2500

Objaśnienia przyjęte do tabeli III:

¹⁾ 300 dla metody mokrej, 100 dla metody suchej

²⁾ 1500 dla metody mokrej, 1200 dla metody suchej

³⁾ 800 dla metody mokrej, 500 dla metody suchej

3.1. Analiza możliwości spełnienia standardów emisyjnych podczas współspalania odpadów w piecach cementowych

Analiza standardów emisyjnych przedstawionych w tabeli II – obowiązujących w przypadku podjęcia współspalania odpadów oraz proponowanych przez autorów pracy [1] standardów emisyjnych dla cementowni produkujących klinkier bez udziału paliw z odpadów, jednak przy zastosowaniu najlepszej dostępnej techniki – tabela III – prowadzi w przypadku podjęcia współspalania odpadów do przedstawionych poniżej wniosków.

Tlenki azotu:

⇒ tlenki azotu stanowią jedyny standard emisyjny, który wydaje się najtrudniejszy do osiągnięcia w przypadku podjęcia współspalania odpadów w piecach do wypalania klinkieru. W 2002 r. w 18 spośród 22 pieców cementowych produkowany był cement metodą suchą, co stanowiło ok. 89% krajowej produkcji cementu. Pozostałe 11% wytwarzane było metodą mokrą [1]. Generalnie przewiduje się, że w roku 2004 dominujący już będzie udział metod suchych, co oznacza, że standard emisyjny dla NO_x w przypadku podjęcia współspalania odpadów będzie wynosił 800 mg/m³_u, a docelowo 500 mg/m³_u – tabela II. Mowa jest tutaj o wartościach średniodobowych. Osiągnięcie stężeń tlenków azotu rzędu 500 mg/m³_u może okazać się bardzo trudne. Trudny także może być do osiągnięcia poziom rzędu 800 mg/m³_u proponowany dla cementowni nie podejmującej współspalania odpadów – tabela III i to przy założeniu osiągnięcia przez nią najlepszych dostępnych technik w zakresie redukcji tlenków azotu. Aktualnie większość pieców pracujących w kraju jest w stanie uzyskać stężenie tlenków azotu poniżej 1200 mg/m³_u. Jedynie nowe, dobrze zoptymalizowane piece z wymiennikiem cyklonowym i precalcynatorem osiągają poziom stężenia odpowiadający założeniom BAT, czyli rzędu 800 mg/m³_u [1]. Tak więc podjęcie współspalania odpadów powinno być poprzedzone analizą możliwości dalszego ograniczenia emisji tlenków azotu metodami pierwotnymi, bądź też analizą zastosowania wtórnych metod redukcji tlenków azotu, jak zastosowaniem technologii typu SNCR lub też SCR. Jak dotychczas w krajowych cementowniach nie stosuje się selektywnej niekatalitycznej redukcji

tlenków azotu (SNCR), ani tym bardziej selektywnej redukcji katalitycznej (SCR). W krajach UE z instalacją SNCR pracuje 15 pieców cementowych uzyskując poziomy stężenie NO_x poniżej 800 mg/m^3_u . Natomiast selektywna redukcja katalityczna (SCR) jest dopiero na etapie wdrażania w przemyśle cementowym w Niemczech [1]. Autorzy pracy [2] podają, że koszt zainstalowania instalacji odazotowania typu SNCR wynosi dla emitora o emisji 2000 m^3 spalin/tonę klinkieru, w przybliżeniu dla wydajności pieca od 1000 do 5000 Mg/d, od 0,5 do 1,5 mln Euro. Natomiast dla instalacji typu SCR – pozwalającej uzyskiwać znacznie niższe stężenia NO_x , nawet poniżej 200 mg/m^3_u , koszt inwestycyjny wynosi około 2,5 mln Euro.

Tlenek węgla

⇒ emisja CO jest przede wszystkim związana z zawartością frakcji organicznych w surowcach wsadowych do wypalania klinkieru. Stąd też standard emisyjny jest w przypadku pieców do wypalania klinkieru bardzo łagodny w stosunku do standardów emisyjnych dla CO dla innych instalacji, w których podstawowym źródłem emisji tej substancji jest niezupełny proces spalania. Wg danych z 2000 r. stężenia tlenu węgla emitowanego z krajowych pieców cementowych, w tym również podczas współspalania odpadów, zawierały się w przedziale $300 - 2500 \text{ mg/m}^3_u$ [1]. Realnie zatem wydaje się do zachowanie poziomu stężeń tlenu węgla nie przekraczających 2000 mg/m^3_u , co wymagane jest w przypadku przeprowadzania współspalania odpadów.

Tlenki siarki

⇒ standard emisyjny dla SO_2 , obowiązujący dla pieców do wypalania klinkieru, w których współspalane są odpady, wynoszący mniej niż 50 mg/m^3_u , jest w stosunku do standardów proponowanych dla pieców cementowych o najlepszej dostępnej technice, w których nie są współspalane odpady bardzo rygorystyczny - wymaga 10-cio krotnie niższych stężeń SO_2 . O ilości emitowanego przez cementownię SO_2 decyduje przede wszystkim zawartość lotnej siarki w surowcach. Reprezentowane obecnie poziomy stężenie SO_2 mieszczą się w zakresie $10-600 \text{ mg/m}^3_u$ i silnie zależą od rodzaju surowca. Natomiast siarka zawarta w paliwie, w tym w paliwie z odpadów, nie prowadzi do istotnego wzrostu stężenia SO_2 , co wynika z silnie alkaicznego odczynu w strefie spiekania, jak także w strefie kalcynacji i w dolnych stopniach wymiennika. Siarka zawarta w paliwie wiąże się z klinkierem. Ponadto Ustawodawca standardów emisyjnych dla współspalania odpadów w piecach do wypalania klinkieru podaje, że standardu emisyjnego dla SO_2 można nie stosować w przypadkach gdy substancja ta nie powstaje w wyniku współspalania odpadów.

Pył

⇒ aktualnie stężenia pyłu emitowanego z większości polskich zakładów cementowych, pracujących wg metody suchej, mieszczą się w przedziale poniżej 50 mg/m^3_u [1]. Stosowane odpylacze, coraz częściej oparte na filtrach tkaninowych, są w stanie ograniczyć stężenie pyłu do poziomu $20 - 30 \text{ mg/m}^3_u$ – jako średnia dobowa. Są zatem w stanie bez trudu sprostać wymaganiom obowiązującym dla stężeń pyłu gdy w piecu do wypalania klinkieru współspalane są odpady.

Metale ciężkie, dioksyny

⇒ współspalanie odpadów w piecach do wypalania klinkieru na ogół nie skutkuje podwyższeniem emisji metali ciężkich, mikrozanieczyszczeń organicznych oraz

polichlorowanych dibenzo-p-dioksyn i polichlorowanych dibenzofuranów, zaś stopień destrukcji materii organicznej (skomplikowanych, często trwałych związków organicznych) może sięgać nawet 99,999%. Podobnie stopień wbudowania metali ciężkich w strukturę klinkieru zazwyczaj przekracza 99,7% i tym samym emisja metali ciężkich w gazach odlotowych nie stanowi większego problemu.

3.2. Wymagania dotyczące prowadzenia procesu współspalania odpadów

Zasadniczym aktem prawnym regulującym warunki realizacji procesu współspalania odpadów w instalacjach jest cytowane już rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów, a szczególnie rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 22 grudnia 2003 r. (Dz. U. 2004 Nr 1, poz. 2), które w aspekcie wymagań dotyczących współspalania odpadów wprowadziło kilka istotnych zmian w stosunku do rozporządzenia z dnia 21 marca 2002 r.

Do grupy najistotniejszych wymagań związanych z realizacją procesu współspalania odpadów w instalacjach, w tym w piecach do wypalania klinkieru, należą między innymi:

⇒ zgodnie z treścią § 3 wymienionego powyżej rozporządzenia MGPIPS proces współspalania odpadów powinien być tak prowadzony, aby temperatura gazów powstających w wyniku współspalania odpadów nawet w najbardziej niekorzystnych warunkach utrzymywana była przez co najmniej 2 sekundy na poziomie nie niższym niż:

- 1) 1100 °C – dla odpadów zawierających powyżej 1% masy związków chlorowcoorganicznych przeliczonych na chlor.
- 2) 850 °C – dla odpadów zawierających poniżej 1% masy związków chlorowcoorganicznych przeliczonych na chlor.

Komentarz:

Oba cytowane powyżej zakresy temperatur i wymagany czas przebywania spalin w tych temperaturach są w przypadku pieców cementowych możliwe do zachowania bez najmniejszych problemów technicznych czy technologicznych gdyż podczas wypalania klinkieru temperatura procesu przekracza w fazie gazowej 1400 °C, a czas przebywania spalin w tej temperaturze zawiera się średnio w przedziale 4 – 6 s. Są też przypadki takich instalacji, w których zarówno temperatura jak i czas przebywania spalin są jeszcze wyższe. Dla formalności należy dodać, że przypadek 1) nie powinien być brany pod uwagę – mimo, że uzyskanie temperatury 1100 °C nie stanowi problemu – gdyż jak podano w rozdziale 2 odpady zawierające więcej niż 1% substancji chloroorganicznych są wykluczone z grupy paliw alternatywnych zakwalifikowanych do współspalania w piecach do wypalania klinkieru.

⇒ zgodnie z treścią § 7 wymienionego powyżej rozporządzenia MGPIPS prowadzenie procesu współspalania odpadów wymaga przeprowadzania następujących pomiarów:

- temperatury gazów spalinowych - pomiar prowadzony w sposób ciągły,
- zawartości tlenu w gazach spalinowych - pomiar prowadzony w sposób ciągły,
- ciśnienia gazów spalinowych - pomiar prowadzony w sposób ciągły,
- weryfikacji podczas rozruchu czasu przebywania spalin w wymaganej temperaturze i po każdej modernizacji mogącej wpływać na zmianę czasu przebywania spalin,

- monitorowania zawartości pary wodnej w gazach spalinowych, o ile techniki pomiarowe zastosowane do poboru i analizy składu gazów spalinowych nie obejmują osuszania gazów przed ich analizą.

Konkluzja:

Piece do wypalania klinkieru stanowią grupę instalacji, w których przeprowadzenie zgodnego z aktualnymi przepisami procesu współspalania odpadów nie wymaga konieczności dokonania kapitałochłonnej modernizacji obecnie stosowanego, a tym bardziej spełniającego standardy BAT systemu oczyszczania spalin. Wyjątek tutaj może stanowić instalacja odazotowania spalin. Po stronie pozostałych rodzajów instalacji, które w aspekcie współspalania odpadów mogłyby być brane pod uwagę jako instalacje konkurencyjne dla pieców do wypalania klinkieru znajdują się jedynie energetyczne kotły pyłowe posiadające rozbudowaną instalację odsiarczania spalin oraz kotły fluidalne.

4. Podsumowanie

Piece do wypalania klinkieru stanowią najbardziej uprzywilejowaną grupę instalacji do podjęcia procesu współspalania odpadów. Jako nieliczne instalacje tego typu są w stanie bez konieczności podejmowania kosztownych modernizacji sprostać aktualnym przepisom w zakresie standardów emisyjnych. Bez większych problemów technicznych mogą w piecach do wypalania klinkieru zostać także zachowane wymagania odnośnie przeprowadzania procesu współspalania odpadów. Z drugiej strony istnieje, jak także jest prognozowana, coraz większa grupa odpadów, których unieszkodliwienie powinno odbywać się metodami termicznymi. Dokonanie tego procesu poprzez profesjonalne spalarnie odpadów jest nadal kwestią przyszłości, a implementacja do prawa krajowego dyrektyw UE wymusza podjęcie w tym zakresie pilnych i jednoznacznych decyzji. Niniejszy artykuł wykazuje, że podstawowe przesłanki aby tego rodzaju decyzje podejmować w oparciu o współspalanie odpadów w piecach cementowych zostały spełnione. Kwestią, która wymaga oddzielnej analizy są aspekty ekonomiczne, wynikające przede wszystkim z nadal bardzo niskich kosztów deponowania odpadów, w stosunku do których bardziej zaawansowane i ekologicznie bardziej przyjazne metody unieszkodliwiania odpadów ciągle nie są konkurencyjne.

Literatura:

1. Zintegrowane Zapobieganie i Ograniczenie Zanieczyszczeń (IPPC). Przewodnik BAT dla najlepszych dostępnych technik w polskim przemyśle cementowo-wapienniczym. Praca wykonana przez Techniczną Grupę Roboczą ds. branży cementowo-wapienniczej, listopad 2003 r.
2. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available techniques in the Cement and lime Manufacturing Industries. European Commission, December 2001.
3. Pająk T.: Współspalanie odpadów w piecach cementowych a problem powstawania i emisji dioksyn. V Seminarium „Paliwa alternatywne w przemyśle cementowym”. Stowarzyszenie Producentów Cementu i Wapna w Krakowie, Kamień Śląski, maj 1999, s.33-41.
4. Neger D.: Entsorgung von Abfällen in Zementwerken. VDI Seminar Nr 43-59-10, „BAT-und preisorientierte Dioxin-/Gesamtemissionsminimierungstechniken, München, September 1998.
5. Pająk T.: Termiczne przekształcanie odpadów komunalnych w planach gospodarki odpadami – perspektywy i uwarunkowania. VI Międzynarodowa Konferencja „Kompleksowa Gospodarka Odpadami” – „Metody zagospodarowania odpadów w planach gospodarki odpadami. Pozwolenia zintegrowane”. Organizator Firma ABRYS, Szczyrk, wrzesień 2003.s. 157 – 174.