

# Krzysztof Biernat, Edward Fuszara

---

## Unieszkodliwianie odpadów w obrotowych piecach cementowych

---

*Studia Ecologiae et Bioethicae* 1, 291-307

---

2003

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej [bazhum.muzhp.pl](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Krzysztof BIERNAT\*  
Edward FUSZARA\*\*

## Unieszkodliwianie odpadów w obrotowych piecach cementowych

### Wprowadzenie

Problematyka unieszkodliwiania odpadów, a szczególnie odpadów uznawanych za niebezpieczne ma bardzo istotne znaczenie dla ochrony środowiska. Wytwarzane odpady zasadniczo można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej z nich zalicza się odpady przemysłowe, pochodzące z wszelkich procesów wydobywczych, przetwórczych i syntezowych, a do drugiej, odpady komunalne powstające w wyniku egzystencji człowieka. Zarówno w pierwszej jak i w drugiej grupie znajdować się mogą odpady uznawane za niebezpieczne, przy czym ilości odpadów niebezpiecznych w grupie drugiej powinny być znacznie mniejsze i zmniejszające się w miarę wzrostu poziomu edukacji ekologicznej. Pojęcie „odpad niebezpieczny” jest terminem prawnym, ponieważ do tej pory nie udało się jednoznacznie określić stopnia i sposobu oddziaływania istotnych zagrożeń stwarzanych przez różne substancje, w tym odpadowe. W zasadzie każda substancja może stwarzać zagrożenia w zależności od jej stężenia, jednorazowej dawki, czasu ekspozycji, wrażliwości osobniczej i tym podobnie. Dla soli kuchennej przyjmuje się, że jednorazowa dawka śmiertelna dla człowieka wynosi około 2 kg.

W wysoko uprzemysłowionych państwach istnieje zauważalna tendencja do zmniejszania się ilości odpadów przemysłowych. Ta tendencja jest wynikiem stosowania coraz bardziej doskonałych technologii, których aplikacja uwarunkowana jest tak zwaną „przyjaznością dla środowiska” nawet kosztem wzrostu ceny tej aplikacji oraz wysoką społeczną świadomością ekologiczną. Świadomość ta przyzwala na tworzenie i budowanie, nawet w wielkich aglomeracjach miejskich, instalacji do skutecznego unieszkodliwiania odpadów, także uznawanych za niebezpieczne.

Nadmierne, w stosunku do nowoczesnych technologii, wytwarzanie odpadów przemysłowych widoczne jest w krajach o niskim stopniu za-

\* Szkoła Główna Służby Pożarniczej.

\*\* Cementowania Rejowiec S.A.

awansowania technologicznego, szczególnie przy małym poziomie edukacji ekologicznej społeczeństwa oraz w tych państwach, w których następują skokowe przemiany technologiczne. Do tej grupy państw można także zaliczyć Polskę, gdzie wprowadzane są już nowe technologie przyjazne środowisku ale pozostały hałdy odpadów z okresu poprzedniego, które pilnie wymagają unieszkodliwienia. Należy także z ubolewaniem stwierdzić, że poziom świadomości ekologicznej w społeczeństwie polskim jest bardzo mały, raczej zbliżony do „strachu ekologicznego”. Stąd też wszelkie próby uporania się z zagrażającymi hałdami i wysypiskami odpadów poprzez przerób w nowoczesnych i nie zagrażających środowisku instalacjach stwarzają nie tylko duży opór społeczny, ale także nie znajdują zrozumienia wśród urzędników, szczególnie szczebla samorządowego odpowiedzialnych za ochronę środowiska. Ważnym także elementem jest opłacalność inwestycji budowy i eksploatacji instalacji unieszkodliwiającej odpady. W tym przypadku, istniejący w Polsce system opłat za gromadzenie, wywóz i składowanie odpadów stanowi dosyć istotne ograniczenie w prawidłowym funkcjonowaniu obiektów unieszkodliwiania odpadów, szczególnie komunalnych. Zbiórka odpadów i unieszkodliwianie odpadów w Polsce możliwa jest dopiero po uzyskaniu stosownej decyzji administracyjnej szczebla starosty, bądź wojewody w zależności od stopnia zagrożenia dla środowiska przez proponowane metody unieszkodliwiania. Problem jednak polega na tym, że na skutek braku definicji, a przede wszystkim odpowiednich norm określających precyzyjnie stopień zagrożenia dla środowiska i co za tym idzie kompetencje właściwego organu, proces wydawania decyzji zależy jedynie od dowolnej interpretacji urzędniczej. Jak już wspomniano powyżej, poziom edukacji ekologicznej w Polsce daleki jest od stopnia dostatecznego. Stąd też osoby odpowiedzialne za wdrażanie niedoskonałych przepisów prawa ochrony środowiska w jednostkach samorządowych, mające wykształcenie dalece odbiegające od zagadnień związanych ze składem chemicznym odpadów, ich oddziaływaniem na środowisko i współczesnymi technologiami bardzo często przekazują stosowne wnioski o wydanie zezwolenia na unieszkodliwianie odpadów do instytucji nadrzędnych, bądź wydają decyzje negatywne, tym samym ewidentnie szkodząc środowisku. Klasyfikacja odpadów stanowiąca załącznik do ustawy do odpadów grupuje te odpady nie pod względem składu chemicznego, a tym samym metod unieszkodliwiania ale pod względem pochodzenia. Stąd też odpady mające ten sam skład chemiczny i podlegające tym samym procesom unieszkodliwiania mając wielokrotnie różne kody muszą być oddzielnie wykazywane we wnioskach wraz z oddzielnym przypisywaniem im stosownej technologii unieszkodliwiania. Załącznik ten, jako obowiązujący jeszcze w krajach UE został błędnie przetłumaczony na język polski, co wprowadza dodatkowo niejednoznaczno-

ści interpretacyjne. Ustawodawca nie pokusił się wzorem innych krajów, opracowania własnej klasyfikacji odpadów, która grupowałaby odpady o kodach UE w grupach składu chemicznego, właściwości, czy też stopniu zagrożenia właściwym metodom ich unieszkodliwiania. Dodatkowo jeszcze z tak zwanej „ustawy czyszczącej” o odpadach usunięto załącznik definiujący odpady niebezpieczne, pozostawiając zapis twierdzący błędnie, że mieszanina odpadów zawierająca choć jeden odpad niebezpieczny, bez podania jego stężenia, stanowi także odpad niebezpieczny. A zatem skoro dawka śmiertelna soli kuchennej, jak to podano, wynosi 2 kg to powinno się zakazać jej sprzedaży jednorazowo w tej ilości, a nawet sprzedaży w ogóle. Z tych samych powodów nie powinny być wytwarzane i sprzedawane wszelkie paliwa płynne i inne płyny eksploatacyjne.

Konieczność stosowania metod unieszkodliwiania odpadów nie powinna podlegać wszelkiej dyskusji. Budowa instalacji do unieszkodliwiania procesami chemicznymi lub termicznymi, bo takie są możliwe, wymaga konieczności pokonywania oporów społecznych i barier administracyjnych, co w wielu przypadkach może stanowić progi trudne do pokonania. Szczególnie to jest utrudnione w przypadku spalarni odpadów, wymagających dużych nakładów finansowych, konieczności zapewnienia stałych dostaw niezbędnej energii i możliwości zagospodarowania energii po procesowej. Istnieją jednak, znane od wielu lat technologie umożliwiające w wielu przypadkach skuteczne i bezpieczne wykorzystywanie substancji odpadowych w procesach wapienniczych i cementowych, obniżające jednocześnie koszty wytwarzania cementu.

Przemysł cementowy, z racji istoty technologii, w trakcie procesów wypalania zużywa znacznych ilości paliw i surowców naturalnych. Wiele złóż surowcowych, intensywnie eksploatowanych uległo, bądź ulega wyczerpaniu. Z kolei wzrastające ceny paliw kształtują wzrost kosztów wytwarzania cementu, co powoduje konieczność opracowywania i stosowania energooszczędnych technologii. Postęp w tym zakresie dokonał się w najbardziej istotnym etapie, to jest na etapie nowych technologii wypalania klinkieru i przemiału cementów. Nowoczesne piece z sześciostopniowym wymiennikiem cyklonowym i systemem dekarbonizacji, wyposażone w „chłodnik” rusztowy klinkieru trzeciej generacji oraz palnik wielokanałowy, zużywające około 2 950 kJ/kg energii stanowią rozwiązanie graniczne, ponieważ została osiągnięta granica możliwości dalszego obniżania zużycia energii poprzez optymalizację konstrukcji urządzeń.

Stąd też możliwość stosowania tanich paliw, głównie odpadowych staje się przedmiotem zainteresowania technologów. To zainteresowanie wynika nie tylko z konieczności obniżenia kosztów produkcji, ale także z możliwości wykorzystania pieców cementowych w bezpiecznych procesach unieszkodliwiania substancji odpadowych. Warunki fizyczne i chemiczne, które panują w wysokotemperaturowym procesie wypalania

klinkieru są wyjątkowo korzystne do bezodpadowego unieszkodliwiania zarówno odpadów palnych jak i też niepalnych odpowiednio komponowanych. Tego typu rozwiązania są stosowane w wielu uprzemysłowionych krajach świata, tym samym ograniczając konieczność budowy i eksploatacji typowych spalarni odpadów, jako instalacji znacznie podrażających procesy ochrony środowiska. W krajach UE, stowarzyszonych w organizacji producentów cementu „CEMBUREAU”, paliwa z substancji odpadowych pokrywają średnio 20% zapotrzebowania energetycznego cementowni. Są tam także takie cementownie, w których udział paliw z substancji odpadowych obejmuje ponad 50% zapotrzebowania energetycznego, gdy w Polsce udział paliw alternatywnych sięga około 2% udziału w źródłach energii, tym samym podrażając koszty wytwarzania cementu oraz podwyższając stopień zagrożenia środowiska. Taki stan wynika głównie z braku sprawnie działającego systemu zbiórki odpadów, uwzględniającego ich skład chemiczny i właściwości dla technologii ich wykorzystania w procesach wypalania klinkieru oraz niedostateczną wiedzę w tym zakresie u osób odpowiedzialnych za wydawanie decyzji administracyjnych w zakresie zbiórki i unieszkodliwiania odpadów. Niezależnie od tego, zbiórka substancji odpadowych w celu ich bezodpadowego unieszkodliwiania, nawet zgodnie z potwierdzonymi badaniami, przy braku świadomości ekologicznej, wywołuje nieuzasadnione sprzeczwy społeczne.

## **1. Zasada działania obrotowych pieców cementowych. Metody wytwarzania cementu**

Podstawowy składnik w procesie wytwarzania cementu powstający w wyniku wypalania głównie margli stanowi klinkier cementowy zawierający przeciętnie około 68% CaO, 22% SiO<sub>2</sub>, 6% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Surowcami do produkcji klinkieru cementowego są więc wapienie, margle i gliny zawierające te tlenki. Do korekty składu chemicznego mieszanki surowcowej w mniejszych ilościach wykorzystywane są surowce typu: piasek, rudy żelaza czy boksyt. Ze względu na konieczność zapewnienia odpowiednich właściwości cementów, w skład substancji podstawowych jak i korygujących, w procesach wypalania wykorzystywane są odpadowe surowce wtórne takie jak: żużle, popioły lotne, pyły wielkopieczowe, itp. Sposób przygotowania surowców zależy od rodzaju metody stosowanej w procesie wytwarzania cementu. I tak w „metodzie suchej” przemiał surowca odbywa się najczęściej w młynach kulowych lub walcowo - misowych, w których jednocześnie z przemiałem materiał jest suszony przepływającymi przez młyn gorącymi gazami odlotowymi z pieca. Zmielony materiał w postaci mąki magazynowany jest w silosach.

W „metodzie mokrej” mielenie surowca odbywa się w młynach kulowych do tak zwanego mokrego przemiału, który w postaci szlamu o zawartości wody 32...38 % magazynowany jest w basenach magazynowych. W obu metodach materiał jest mieszany i w razie potrzeby następuje korekcja jego składu tak, aby odchylenie składu chemicznego w pobieranych próbach nie przekraczało 0,2% od wartości zadanej. Tak przygotowany materiał dozowany jest do wypału.

W procesach zestawiania i kontroli składu chemicznego mieszanki surowcowej powszechnie stosowane są nowoczesne systemy sterowania przygotowaniem mieszanki surowcowej, w których urządzenia ważące – dozujące sterowane są komputerowo na podstawie wyników analiz kontrolnych, wykonywanych na analizatorach rentgenowskich.

W procesie wypalania mieszanka surowcowa poddawana jest działaniu wysokich temperatur i jej składniki mieszanki ulegają rozkładowi. W trakcie procesu uwalniane są gazowe produkty rozkładu jako gazy technologiczne. Stanowią one głównie ditlenek węgla ( $\text{CO}_2$ ) powstający z rozkładu wapienia lub margla w ilości około 0.5 Mg/Mg wypalanego klinkieru, oraz w od śladowych do niewielkich ilości: para wodna oraz ditlenek siarki ( $\text{SO}_2$ ), powstające z rozkładu uwodnionych minerałów i minerałów będących zanieczyszczeniami w mieszance surowcowej. W metodzie mokrej uwalniane są duże ilości pary wodnej powstałej z odparowania wody ze mokrego szlamu. Produkty rozkładu mieszanki surowcowej reagują ze sobą, tworząc podstawowe minerały klinkierowe w postaci krzemianów, glinianów, i glinożelazianów wapnia. Synteza tych substancji zachodzi w temperaturze około 1450°C. Minerale klinkierowe cechuje zdolność reakcji z wodą, a powstające w wyniku tych reakcji nowe minerały krystalizując, tworzą stwardniałą strukturę betonu.

Wypalanie klinkieru prowadzone jest w obrotowych piecach cementowych. Są to urządzenia, których podstawowym elementem jest piec rurowy o pochylonym i obracającym się walcu o średnicy kilku metrów i długości kilkudziesięciu metrów (w metodzie mokrej nawet do 200 m). Piece obrotowe wyposażone są w rozbudowane systemy wymienników ciepła. Dostarczane do pieca paliwo spalane jest w niżej położonej części walcza tworzącego piec, a strumień gazów spalinowych ogrzewa wypalany materiał przepływający w kierunku nachylenia pieca. W najnowszych rozwiązaniach technicznych piece wyposażone są w tak zwane „kalcynatory”, które umożliwiają spalanie części paliwa również poza obrotowym walcem, tuż przed wymiennikiem ciepła. Jako paliwo stosuje się zmielony węgiel w postaci pyłu węglowego. Popiół powstający ze spalania węgla miesza się wraz z wypalaniem materiałem i stanowi składnik klinkieru. Gazy spalinowe, w mieszaninie z gazami technologicznymi, emitowane są do atmosfery jako gazy odlotowe.



Ruch materiału w wymiennikach ciepła pieców metody suchej odbywa się pod działaniem sił grawitacji, natomiast w piecach walcowych, w wyniku ich obrotów. Wypalony klinkier opuszczający piec, przechodzi do chłodnika klinkieru. Czas przejścia materiału przez instalację to około minuta na przejście przez wymiennik ciepła i jedna godzina na przejście przez piec rurowy, w metodzie suchej, a w metodzie mokrej od 3 do 4 godzin.

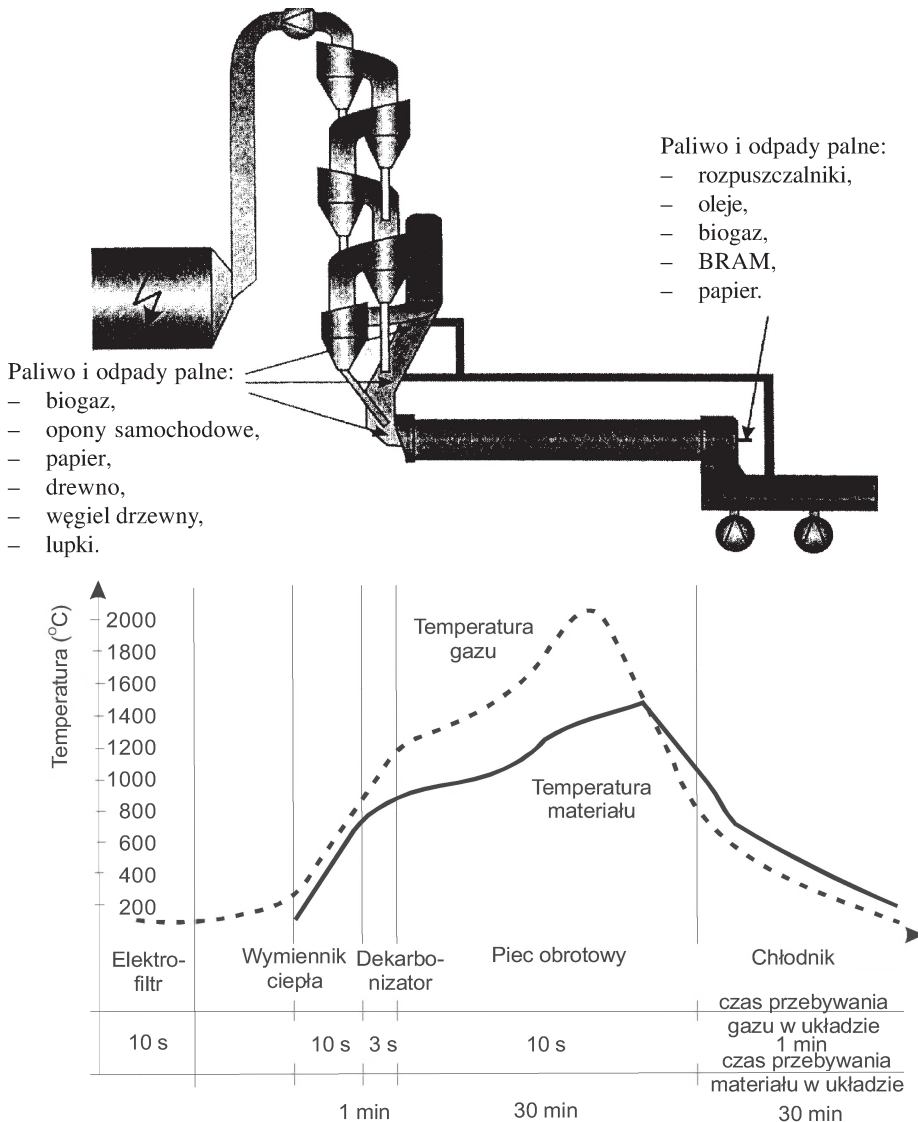
W piecu materiał ogrzewany jest do temperatury około 1450 °C. W najwyższej temperaturze materiał ten przebywa około 0,5 godziny. Ilość energii cieplnej zużywanej na jego wypalenie wynosi zwykle 3140...3768 kJ/kg wypalanego klinkieru w metodzie suchej i 5233...5652 kJ/kg w metodzie mokrej. Wypalony klinkier schładzany jest w chłodniku do temperatury rzędu 100 °C. Maksymalna temperatura spalania w piecu obrotowym sięga 2000 °C. Tak wysoka temperatura jest niezbędna dla zapewnienia odpowiednio intensywnej wymiany ciepła, a więc i wydajności pieca. Na wylocie z pieca, w metodzie suchej wynosi ona 1100-1200 °C.

Na pracę instalacji piecowych w dużym stopniu wpływają zanieczyszczenia zawarte w surowcach i paliwie, przede wszystkim związki chloru, potasu, sodu i siarki. Związki te posiadają zdolność do tworzenia tak zwanych wewnętrznych obiegów w instalacji piecowej, w wyniku których powstawać mogą zaburzenia w przepływie wypalanego materiału przez instalację piecową, a nawet tworzyć się tak zwane „napięki” blokujące ten przepływ. Przebieg procesu wypalania klinkieru, na każdym etapie poddawany jest kontroli w zakresie utrzymania odpowiedniej temperatury i jej rozkładu oraz składu chemicznego paliwa, a także surowca przed i po wypaleniu w celu zapewnienia odpowiednich właściwości produktu finalnego, to jest cementu.

Z powyżej opisanych warunków pracy obrotowego pieca cementowego wynikają jego szerokie możliwości w zakresie bezodpadowego unieszkodliwiania odpadów, które mogą stanowić tak zwane „paliwo alternatywne”, o ile posiadają one właściwości energetyczne, bądź też mogą być dodawane w odpowiednich proporcjach do paliwa zasadniczego. A zatem najcenniejsze, z punktu widzenia ekonomiki procesu wypalania będą wszelkie substancje odpadowe, posiadające właściwości energetyczne, a nie zawierających pierwiastków, głównie z grupy metali ciężkich oraz związków chemicznych, które mogą wpływać na pogorszenie jakości cementu.

Do takich substancji zaliczyć można w zasadzie wszystkie odpady zawierające w składzie elementarnym węgiel i wodór, to jest odpady z przemysłu gumowego, zużyte opony, odpady drzewne, tekstylia, papier nie nadający się do recyklingu, plastiki, odpady porafineryjne, petroi karbochemiczne, zużyte oleje, rozpuszczalniki i farby, odpady z przemysłu spożywczego, papierniczego, meblarskiego, materiały palne z roz-

biórki złomowanych samochodów, odwodnione osady ściekowe i inne. Ograniczenia w tym zakresie wynikają tylko w nielicznych przypadkach ze względów sanitarnych i epidemiologicznych, względnie zawartości w odpadach składników stwarzających szczególne zagrożenie dla środowiska, np. posiadających właściwości promieniotwórcze. Rozkład temperatury gazów spalinowych i wypalanego materiału w instalacji piecowej przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Rozkład temperatury gazów spalinowych i materiału w obrotowym piecu cementowym

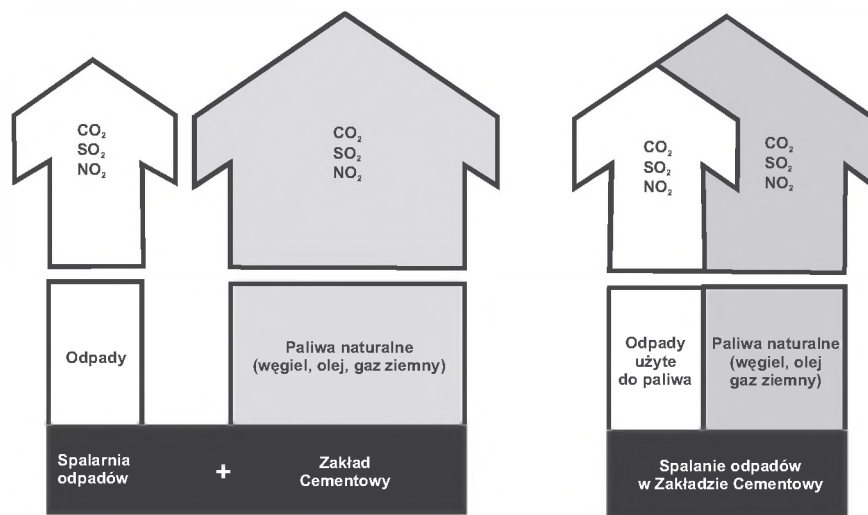


## 2. Emisja gazowa w procesach cementowych

Piece cementowe emitują do atmosfery gazowe produkty spalania paliwa, także pyły oraz w metodzie mokrej, znaczne ilości pary wodnej. Niezależnie od tego, że współczesne systemy filtracyjne typu elektrofiltry i filtry workowe skutecznie ograniczają ilość pyłów, to przy prawidłowym przebiegu procesu spalania do atmosfery dostawać się mogą: dwutlenek węgla, tlenki azotu i para wodna. Zawartość pozostałych gazowych produktów spalania zależy będzie od składu chemicznego wsadu paliwowego (paliwa zasadniczego i odpadów palnych). Stąd też odpowiednio zestawiając wsad paliwowy można kontrolować emisję tlenków siarki, tak aby nie przekroczyć dopuszczalnych stężeń, pamiętając, że warunki konstrukcyjne i temperaturowe panujące w piecu obrotowym oraz czas procesu pozwalają skutecznie rozłożyć tak niebezpieczne substancje jak polichlorodwufenyle (PCB) lub trwale jak freony.

W procesach cementowych występuje duża powierzchnia wymiany masy i ciepła, szacowana na 1200...3200 m<sup>2</sup> w metodzie mokrej i do nawet 80 000 m<sup>2</sup> w metodzie suchej co daje pełną gwarancję, że lotne produkty rozkładu spalania większości odpadów jak: HCl, HF, Cl, CN, NH<sub>3</sub> oraz SO<sub>2</sub> przereagują ze składnikami wsadu surowcowego lub ulegną adsorpcji na powierzchni rozproszonej fazy stałej, tym samym nie opuszczając układu pieca cementowego. Z kolei alkaliczny charakter wsadu surowcowego, w którym dominuje tlenek wapnia pozwala na skuteczną neutralizację kwaśnych produktów spalania. Obecność tlenku wapnia pozwala także na pełną neutralizację gazowych, organicznych związków fluoru (freonów), które w temperaturze pieca obrotowego rozpadają się z wydzieleniem fluorowodoru. W temperaturze procesu fluorowodor reaguje z tlenkiem wapnia, tworząc bardzo trudno rozpuszczalne w wodzie fluorki wapnia, przechodzące do masy cementowej i trwale w niej związane.

Wykorzystanie obrotowych pieców cementowych w procesie unieszkodliwiania odpadów znacznie zmniejsza ilości gazowych produktów spalania dostających się do atmosfery, co zilustrowano na rys. 2.



Rys. 2. Porównanie emisji gazów powstających w spalarniach i piecach cementowych, przy wykorzystaniu odpadów palnych

Jak widać z przedstawionego powyżej schematu, przy konieczności unieszkodliwiania coraz większych ilości odpadów, niezależnie od procesów cementowych, powstaje sumaryczna ilość gazowych produktów spalania z obu procesów. Wykorzystanie odpadów palnych w procesach cementowych, zmniejsza ilość zużywanego paliwa o ilość unieszkodliwianych odpadów, tym samym zmniejszając łączną emisyjność z obu procesów.

### 3. Unieszkodliwianie odpadów w obrotowych piecach cementowych

Skład substancji odpadowych, w których znajdować się może wiele różnych składników, głównie organicznych, narzuca określone wymagania co do warunków ich spalania. Konieczne jest przede wszystkim zapewnienie odpowiednio wysokiej temperatury w procesie spalania i czasu utrzymywania się tej temperatury w komorze spalania. Temperatura ta nie może być niższa od 850 °C, a przy spalaniu paliw w których składzie znajdują się odpady niebezpieczne nie niższa niż 1100 °C. Ograniczenia te dotyczą zarówno spalarni odpadów, tj. instalacji zbudowanych specjalnie w celu spalania odpadów, jak też technologicznych instalacji przemysłowych, których podstawowym celem jest produkcja określonego wyrobu, a substancje odpadowe zastępują w nich część paliwa zasadniczego. Z uwagi na zawartość w odpadach składników szkodliwych dla środowiska, ograniczone są również dopuszczalne granice zawartości

składników szkodliwych w gazach emitowanych do atmosfery pochodzących z instalacji. Cementowniane instalacje piecowe mogą być, z pewnymi ograniczeniami wykorzystywane także do unieszkodliwiania odpadów niepalnych.

Zasadniczymi cechami pieca cementowego umożliwiającymi jego wykorzystanie w procesach unieszkodliwiania odpadów oraz istoty procesu są:

- temperatura spalania i procesu: Temperatura w procesie spalania osiąga wartość 2000 °C. Na wylocie z pieca w metodzie suchej wynosi ona około 1100...1200 °C, a spalanie przebiega w atmosferze utleniającej. Temperatura wypalanego surowca na długości pieca w tej metodzie wzrasta od 830...850 °C do 1450 °C. W najwyższej temperaturze materiał przebywa około 20 min.
- czas przebywania gazów w wysokich temperaturach: Temperatura gazów przekracza 1100 °C przez 8...10 s, przy czym temperatury powyżej 1600 °C utrzymują się przez 2...3 s.
- bardzo duża pojemność cieplna pieca: Masa pieca wymurowanego cegłą ogniotrwałą wraz ze znajdującym się w nim surowcem i paliwem, zależnie od wielkości instalacji wynosi od kilkuset do blisko trzech tysięcy ton. Pojemność cieplna rozgrzanego pieca jest tak duża, że nawet w przypadku awaryjnego przerwania spalania paliwa przez około pół godziny temperatura powierzchni wymurówki i znajdującego się w piecu materiału nie ulega obniżeniu.
- bezdopadowe spalanie paliw: Popiół pozostający po spaleniu paliwa miesza się z wypalonym materiałem i jego składniki wchodzi w skład klinkieru cementowego.
- alkaliczne środowisko: Wypalany wsad ma charakter alkaliczny, wiążąc zawarte w gazach spalinowych składniki o charakterze kwaśnym, np.  $\text{SO}_2$ , a powstające związki wchodzi w skład klinkieru.

Podane wyżej zalety cementowego pieca obrotowego są wystarczające dla stwierdzenia, że jest to jedno z najlepszych, jeśli nie najlepsze, urządzenie technologiczne do unieszkodliwiania odpadów w procesie wypalania klinkieru, w którym unieszkodliwiane być mogą niebezpieczne związki organiczne.

Techniczne rozwiązanie sposobu podawania odpadów wraz z paliwem do instalacji piecowej zależy od typu instalacji oraz od właściwości fizykochemicznych substancji odpadowych.

Podawanie odpadów wprost do strefy spalania, wspólnie z podstawowym paliwem zasadniczym. W ten sposób podawane mogą być odpady płynne, pyliste lub drobno rozdrobnione. Korzystne jest aby były to odpady wysoko kaloryczne, nie powodujące obniżenia temperatury płomienia w piecu. Przy niskiej wartości opałowej odpadów, ich ilość musi być ograniczona. Jest to najkorzystniejszy sposób podawania substancji odpadowych, gdyż spalane są one w strefie najwyższych tempe-

ratur w piecu, rzędu do 2000 °C. Tym sposobem powinny być podawane do pieca odpady zawierające cały szereg niebezpiecznych związków organicznych, trudno ulegających rozkładowi termicznemu. Sposób ten może być stosowany jest w piecach metody suchej i mokrej.

Podawanie odpadów od strony „zimnego” końca pieca. Metoda ta jest powszechnie stosowana w instalacjach piecowych metody suchej, wyposażonych w cyklonowe wymienniki ciepła. Odpady podawane są do pieca poprzez specjalną służę. W miejscu ich podawania temperatura gazów wynosi 1100...1200 °C, a temperatura wypalanego surowca w granicach 830...850 °C. Podawany odpad, wraz z materiałem przemieszcza się w stronę coraz wyższych temperatur, spala się i oddaje ciepło do wypalanego materiału, w ten sposób podawane być mogą do spalania odpady stałe. Nie ma ograniczeń co do ich postaci fizycznej; mogą to być np. całe opony samochodowe, jak też substancje odpadowe rozdrobnione, luzem lub w opakowaniach. Ilość podawanych odpadów jest ograniczona i zależy od zawartości tlenu w gazach przepływający przez piec. Zawartość ta wynosi 6...7%. Nadmierne zwiększenie ilości tlenu w gazach, możliwe do osiągnięcia poprzez zwiększenie współczynnika nadmiaru powietrza w strefie spalania, powodowałoby spadek temperatury spalania, a w konsekwencji wydajności pieca.

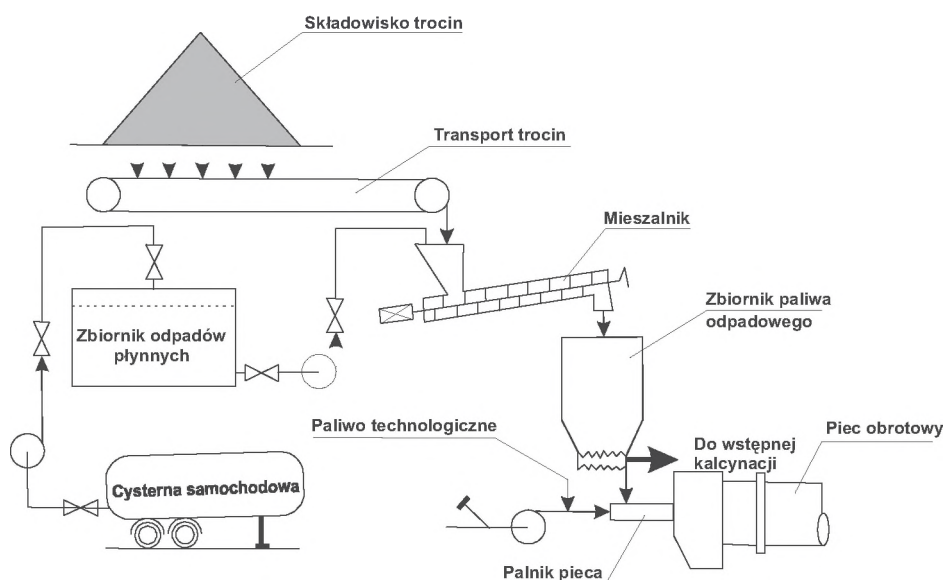
Podawanie paliwa alternatywnego do kalcynatora. Kalcynator jest to dodatkowa komora spalania, która w nowoczesnych konstrukcjach instalacji piecowych metody suchej z cyklonowymi wymiennikami ciepła instalowana jest za piecem rurowym, a przed wymiennikiem cyklonowym. Do komory tej doprowadzane jest dodatkowe powietrze do spalania, dzięki czemu proces spalania w kalcynatorze jest niezależny od procesu spalania w piecu. Spalanie w kalcynatorze przebiega w mieszaninie odpadów i paliwa zasadniczego z wypalonym materiałem, a temperatura spalania wynosi około 1000...1100 °C. W kalcynatorze spalane jest około 60% paliwa zużywanego w całej instalacji piecowej. Do kalcynatora podawane być mogą odpady palne, płynne lub stałe drobno rozdrobnione, w dowolnej ilości.

Podawanie paliwa do strefy kalcynacji. Sposób ten stosowany jest w długich piecach metody mokrej. Odpady podawane są do pieca poprzez specjalne służy zabudowane na piecu, w odległości około jednej trzeciej jego długości od strony gorącej. Odpady stałe podawane są w opakowaniach, np. w małych plastikowych kontenerach. W miejscu podawania odpadów temperatura gazów wewnątrz pieca wynosi 1200...1400 °C, a temperatura materiału około 800 °C. Ilość podawanych odpadów ograniczona jest zawartością tlenu w gazach przepływających przez piec.

Instalacja pieca cementowego umożliwi więc unieszkodliwianie odpadów stałych, ciekłych, a nawet gazowych.

Unieszkodliwianie odpadów gazowych odbywać się może poprzez podawanie ich w gorącą strefę pieca obrotowego i stanowi jak na razie jedyną skuteczną metodę unieszkodliwiania bardzo groźnych dla środowiska freonów.

Unieszkodliwianie odpadów płynnych realizowane może być poprzez stosowanie ciekłych, palnych odpadów, w tym niebezpiecznych jako paliw zastępczych (alternatywnych) bezpośrednio lub w części w mieszaninach z paliwem zasadniczym. Ze względów technologicznych, korzystne jest zagęszczanie tych odpadów trocinami z odpadowego drewna, odpadowymi tekstyliami, przed podaniem do pieca, jak to pokazano na rys.3.



Rys. 3. Schemat technologiczny przygotowania i unieszkodliwiania paliwa zastępczego z wykorzystaniem odpadów ciekłych

W procesach cementowych mogą być unieszkodliwiane takie odpady z tej grupy jak:

- odpadowe rozpuszczalniki organiczne, w tym również chlorowcopochodne oraz ich mieszaniny;
- pozostałości podestylacyjne, poreakcyjne, produkty uboczne z przemysłu chemicznego, farmaceutycznego i rolno-spożywczego;
- frakcje uboczne, porafinacyjne i pozostałości z przemysłu karbo i petrochemicznego;
- odpadowe chemikalia i produkty chemiczne nie spełniające wymagań norm;
- zużyte oleje smarowe, smary plastyczne i emulsje olejowe;

- produkty naftowe i płyny eksploatacyjne nie spełniające wymagań norm;
- polichlorobifenyle, węglowodory aromatyczne, itp.

Unieszkodliwianie ciekłych, niebezpiecznych odpadów niepalnych, w postaci preparowanych wodnych roztworów związków nieorganicznych odbywać się może poprzez wprowadzanie ich do ciasta cementowego w metodzie mokrej. Ograniczenie co do ilości wprowadzanych tych odpadów do wsadu, wynika z wymagań technologicznych procesu wytwarzania cementu. Ograniczenie środowiskowe, to zakaz wprowadzania do ciasta cementowego substancji lotnych.

W piecach cementowych możliwe jest unieszkodliwianie całej gamy odpadów stałych, których sposób unieszkodliwiania wynika z ich właściwości grupowych. W związku z tym, ze względu na właściwości tych odpadów procedurę postępowania można podzielić w następujący sposób.

Grupa pierwsza, to odpady palne, które mając odpowiednio wysoką wartość opałową mogą zastąpić w części paliwo zasadnicze (węgiel). W tej grupie mieścić się mogą tworzywa sztuczne, gумы i kauczuki, zużyte katalizatory z procesów rafineryjnych i petrochemicznych oraz odpady z wytwarzania aluminium stanowiące mieszaninę węgla i tlenków glinu.

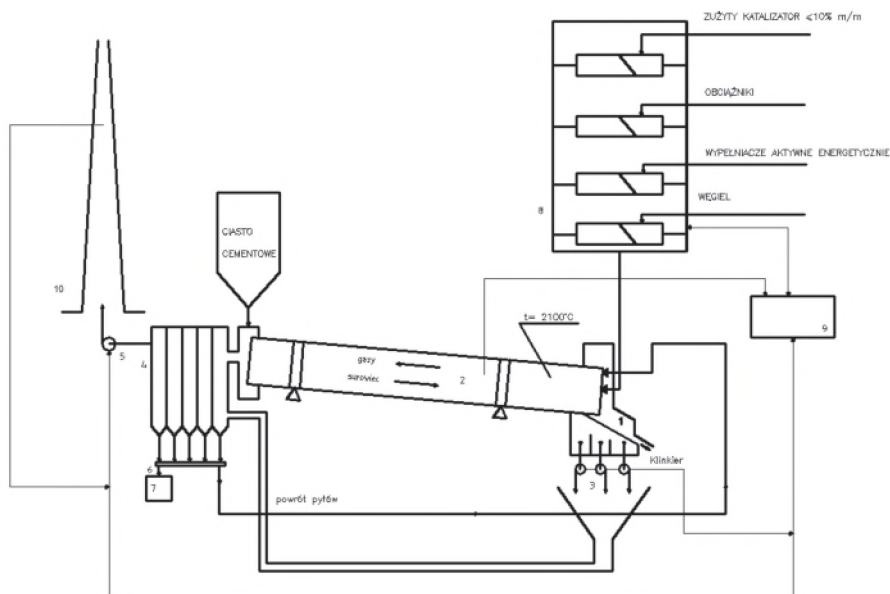
W grupie drugiej mieszczą się stałe odpady, trudne do rozdrobnienia oraz odpady plastyczne i półpłynne, których dodawanie do paliwa zasadniczego jakim jest węgiel jest utrudnione lub niemożliwe. Odpady te powinny być poddane procesowi odgazowania, z wykorzystaniem gazu w procesie zasilania pieca, a powstały rozdrobniony koks może stanowić, korzystny energetycznie składnik paliwa zasadniczego.

W trzeciej grupie mieszczą się stałe odpady niepalne, które nie zawierając składników organicznych, mogą być unieszkodliwiane w piecach cementowych, pod warunkiem, że nie zawierają składników pogarszających jakość cementu. Stąd też zawartość takich związków jak związki sodu, potasu, chromu, ołowiu i innych metali oraz chlorków i siarczanów musi być oznaczana i kontrolowana co do dopuszczalnych zawartości we wsadzie surowcowo-paliwowym. W tej grupie także mieszczą się inne substancje odpadowe, trudne do unieszkodliwiania ale korzystne w procesie produkcji i jakości cementu takie jak: szlamy i osady z dekarbonizacji wody, szlamy ze stacji oczyszczania wody (zawierające  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) oraz inne szlamy i osady zawierające tlenki i wodorotlenki żelaza, krzemionkę, węglany wapnia.

W zasadzie jedynym ograniczeniem co do unieszkodliwiania odpadów stałych w procesach wytwarzania cementu, poza składem cementu jako produktu finalnego, jest możliwość powstania lotnych organicznych produktów destrukcji zagrażających środowisku. Ze względu na właściwości energetyczne, a także możliwość przypadkowości składu odpa-



dów możliwych do unieszkodliwiania w procesach cementowych, korzystne jest takie zestawianie odpadów aby stanowiły one paliwo zastępcze, korzystnie wpływające na skład klinkieru. Stąd też korzystnym jest tak zwany proces „proporcjonowania”, to jest proces przygotowania paliwa zastępczego zawierającego substancje odpadowe tak, aby zapewnić odpowiednią wartość opałową układu odpady-paliwo zasadnicze oraz zagwarantować właściwy skład chemiczny klinkieru. Proces ten możliwy jest do realizacji poprzez zestawianie wsadu surowcowo-paliwowego uwzględniającego oczekiwane właściwości. Schemat takiego procesu przedstawiono na rys. 4, gdzie uwzględniono, poza paliwem zasadniczym i odpadami uznanymi jako niebezpieczne, wypełniacze to jest substancje odpadowe korygujące wartość opałową oraz obciążniki, jako substancje inne niż niebezpieczne upraszczające sposób dostarczenia do pieca obrotowego niebezpiecznej substancji odpadowej.



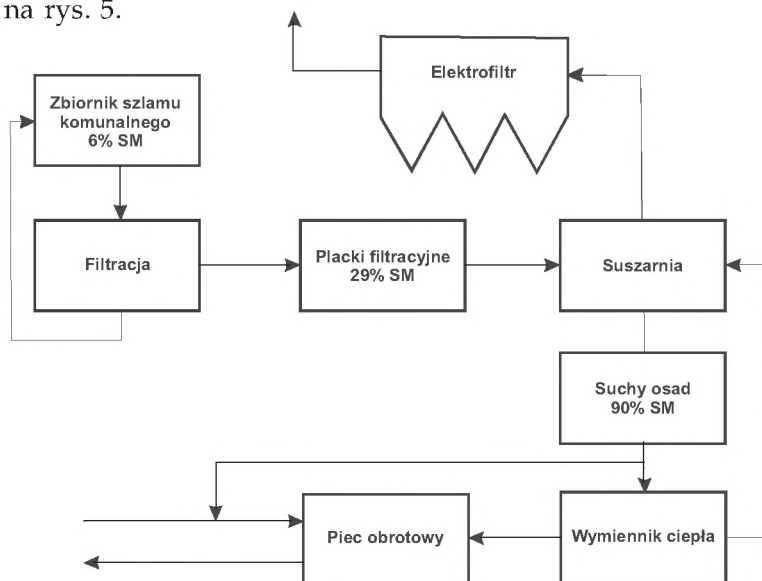
**Rys. 4. Schemat instalacji do unieszkodliwiania stałych odpadów niebezpiecznych w procesach cementowych**

- |  |  |
|--|--|
| 1 – chłodzenie klinkieru                 | 7 – filtry workowe                                     |
| 2 – piec obrotowy dł. = 118 m, śr. = 3 m | 8 – mieszalniki ślimakowe                              |
| 3 – wentylatory                          | 9 – stanowisko automatyki kontroli sterowania procesem |
| 4 – elektrofiltr                         |  |
| 5 – wentylator                           |  |
| 6 – transporter pyłów                    | 10 – komin   |

Odpady komunalne stanowiącą oddzielną grupę odpadów możliwych do unieszkodliwiania w procesach cementowych, ponieważ zawierając odpady przypadkowe, charakteryzują się wysoką niestabilnością składu. Przypadkowość składu tych odpadów wynika z niskiego stopnia edukacji ekologicznej społeczeństwa i niestety osób odpowiedzialnych za zarządzanie środowiskiem oraz braku spójnego systemu zbiórki tych odpadów. Odpady te mogą więc także być unieszkodliwiane bezodpadowo, przy omówionej poprzednio absorpcji trwałej produktów rozkładu w strukturach krystalicznych i fazy szklistej klinkieru. Proces przygotowania tych odpadów polega na oddzieleniu składników palnych od pozostałości poprzez cały szereg opracowanych procedur, w celu umożliwienia ich przygotowania jako wsadu do pieca obrotowego. Możliwy jest następujący sposób postępowania:

- sprasowanie w bele po małym ciśnieniu, wstępnie rozdrobnionych odpadów dla otrzymania tak zwanego paliwa piecowego, grubokawałkowego (wada - niska gęstość nasypowa oraz mała wartość opałowa);
- brykietowanie pod dużym ciśnieniem (zaleta - łatwość składowania i transportu);
- przemiał do postaci pyłu, przy dwustopniowym mieleniu z suszeniem, przy wykorzystaniu ciepła gazów odlotowych z pieca obrotowego.

Schemat blokowy systemu spalania szlamów komunalnych przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Schemat blokowy procesu spalania odpadów komunalnych w cementowym piecu obrotowym

## Wnioski

Jak wynika z powyższych rozważań, wydzielenie choć jednej z większych cementowni w Polsce, umożliwiłoby realizację procesu bezpiecznego unieszkodliwiania wielu grup odpadów niebezpiecznych, w korzystnych warunkach ekonomicznych. Proces ten, realizowany pod odpowiednim nadzorem technologicznym, przy uwzględnieniu poniższych zastrzeżeń, znanych technologom, spełniał by warunki istotne dla realizacji zasady „zrównoważonego rozwoju”.

W procesie wykorzystania istniejących instalacji cementowych, zasadniczy produkt, klinkier cementowy, oprócz podstawowych pierwiastków tworzących minerały klinkierowe, zawiera w swoim składzie cały szereg pierwiastków występujących w surowcach lub w paliwie jako zanieczyszczenia. Są to tak zwane składniki akcesoryczne. Składniki te wchodzi w skład sieci krystalicznej minerałów klinkierowych. W niewielkich lub określonych ilościach, niektóre z nich wpływają korzystnie na właściwości klinkieru cementowego ale w większych ilościach mogą jednak powodować pogorszenie tych właściwości. Przykładem jest tlenek cynku, który nawet przy niewielkich stężeniach znacznie obniża wytrzymałość cementu. Z tego powodu zawartość w odpadach pierwiastków wpływających niekorzystnie na właściwości klinkieru musi być kontrolowana. Jeśli ich ilość byłaby na tyle duża, że ich absorpcja przez klinkier w procesie wypalania wpływałaby niekorzystnie na jego właściwości, wówczas odpady takie nie mogą być unieszkodliwiane w instalacjach cementowych, względnie mogły by być unieszkodliwiane w określonych technologią, ograniczonych ilościach.

## Bibliografia

- BARAN S., TURSKI R., 1995 – *Wybrane zagadnienia z utylizacji i unieszkodliwiania odpadów*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie.
- BIERNAT K., CISEK M., GŁOWACKI M., OKNIŃSKI R., Zgłoszenie Patentowe nr P-357070, pt „Sposób utylizacji zużytego katalizatora z instalacji HOG i urządzenie do stosowania tego sposobu”.
- CZARNOMSKI K., 1996 – *Rozwiązania systemowe w gospodarce odpadami niebezpiecznymi*, „Eko-problemy Utylizacji Odpadów Przemysłowych i Komunalnych”, nr 1.
- CZARNOMSKI K., BARAŃSKI A., 1992 – *Unieszkodliwianie odpadów przemysłowych – technologia spalania w piecach cementowych*, „Eko-problemy Utylizacji Odpadów Przemysłowych i Komunalnych”, nr 1.
- DUDA J., 1991 – *Przystosowanie pieców obrotowych do utylizacji odpadów*, Prace IMMB nr 17, Opole.
- DUDA J., 1998 – *Energetyczne i ekologiczne aspekty wykorzystania odpadów przemysłowych i komunalnych w procesie produkcji cementu*, Prace IMMB nr 23, Opole.

- GARBACIK A., SZCZERBA J., CHRĄDZYŃSKI S., 1997 – *Ocena wpływu utylizacji odpadów w piecu obrotowym na jakość klinkieru i cementu na przykładzie Cementowni Rejowiec*, mat. Konferencji nt: *Utylizacja odpadów niebezpiecznych w piecach obrotowych*, Kamień Śląski, kwiecień.
- HÖIDALEN O., 1992 – *Liquid Organic Waste, as Secondary Fuel*, Wydawnictwo „Thermie” Berlin.
- NOWAK E., 1998 – *Unieszkodliwianie odpadów przemysłowych i komunalnych sposobem ekologicznie czystego spalania w cementowych piecach obrotowych*. „Ochrona Powietrza i Gospodarka Odpadami”.
- NOWAK E., PAWŁOWSKI L., PEUKERT S., KOZAK Z., FUSZARA E., 1994 – *Rozwiązania techniczne dla sposobów przygotowania i podania do pieca obrotowego odpadów komunalnych i przemysłowych*, „Cement, Wapno, Gips” (6), s. 25...65.
- PAJAK T., 1998 – *Termiczna utylizacja odpadów komunalnych jako element współczesnej kompleksowej gospodarki odpadami*, Przegląd Komunalny nr 3, marzec.
- PAJAK T., 2001 – *Termiczne unieszkodliwianie odpadów w systemie gospodarki odpadami komunalnymi*, Materiały IV-go Międzynarodowego Forum Gospodarki Odpadami, Poznań-Piła, maj.
- PAWŁOWSKI J., 1997 – *Utylizacja odpadów niebezpiecznych w piecach cementowych*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej.
- ROSIK-DULEWSKA Cz., 2000 – *Podstawy Gospodarki Odpadami*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- SYREK H., NOWAK E., 1993 – *Ekologiczne czyste spalanie w cementowniach jako alternatywna metoda utylizacji odpadów produktowych*, „Cement, wapno, Gips”, (5), s. 153...158, (6), s. 169...175.

## **„Utilizing waste in circulating cement furnaces”**

### SUMMARY

The article presents technical and economical possibilities of utilizing normal and liquid waste, including hazardous, through circulating cement furnaces, at the same time complying to environment protection regulations. Technology for producing cement without waste was presented, by using energetically and chemical aspects of many groups of hazardous substances, including PCB as well as freons. Environmental safe methods of utilizing technical and local waste, normal and liquid, was defined, using cement furnaces and at the same time reducing substantially cement production costs.