

Piec obrotowy w termicznym przekształcaniu odpadów

Rotary kiln in the thermal conversion of waste

Mgr inż. Agata WAJDA

Autorka jest doktorantką Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedry Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów Politechniki Śląskiej
e-mail: Agata.Wajda@polsl.pl



W KILKU SŁOWACH

Użytkowanie pieców obrotowych do realizacji procesów termicznych rozpoczęło się w XIX wieku w Anglii. Urządzenie można scharakteryzować jako pochylony pod niewielkim kątem do podłoża cylinder wykonujący obroty wokół własnej osi. Piec obrotowy znajduje szerokie zastosowanie w gospodarce odpadami, a szczególnie w ich termicznym unieszkodliwianiu gdzie jest dedykowany przede wszystkim odpadom niebezpiecznym. W artykule dokonano przeglądu najnowszych technik związanych z wykorzystaniem pieca obrotowego w różnych aspektach gospodarki odpadami.



SUMMARY

The use of rotary kilns to perform thermal processes began in the nineteenth century in England. The device can be characterized as tilted at a slight angle to the ground cylinder performing rotation around its axis. The rotary kiln is widely used in waste management, especially in their thermal treatment, which is dedicated in particular various types of hazardous waste. This article reviews the latest techniques related to the use of the rotary kiln in various aspects of waste management.

Wstęp

Pierwsze wzmianki dotyczące użytkowania pieca obrotowego w przemyśle pojawiają się pod koniec XIX wieku, a dokładnie w roku 1887 w Anglii. Początkowo piec obrotowy służył wyłącznie do wytwarzania klinkieru cementowego, co zresztą jest praktykowane także w dzisiejszych czasach. Z biegiem czasu nastąpiło jednak znaczące ulepszenie technologii produkcji cementu oraz odkrycie innych możliwości zastosowania pieca obrotowego. Aktualnie spektrum zastosowań pieca obrotowego można przedstawić rozpoczynając od wspomnianego przemysłu cementowego, poprzez przemysł metalurgiczny oraz spożywczy, a kończąc na gospodarce odpadami. Ostatnia z wyżej wymienionych gałęzi gospodarki stanowi prężnie rozwijające się zagadnienie. To skutek przede wszystkim charakterystyki procesu realizowane-

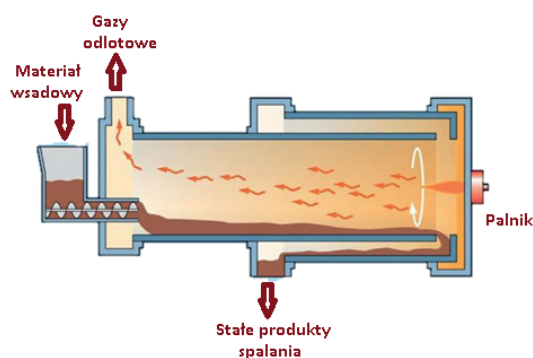
go przy wykorzystaniu pieca obrotowego oraz wysokiej uniwersalności tego rodzaju instalacji, która z powodzeniem unieszkodliwia termicznie problematyczną i zróżnicowaną grupę odpadów niebezpiecznych[1,2]

Charakterystyka pieca obrotowego

Piec obrotowy jako element całej instalacji termicznego przekształcania odpadów stanowi kluczową, ale zazwyczaj niewielką część. Jego budowę można określić jako wydłużony, cylindryczny stalowy walczek o określonej średnicy, który od wewnątrz został wyłożony materiałem ogniotrwałym. Piec wykonuje obroty wokół własnej osi z prędkością obrotową zawierającą się w przedziale 0,25 - 4,5 obrotów/minutę. Zapobieżenie przed niewłaściwym przemieszczaniem się wsadu stanowi pochylenie pieca do podłoża pod niewielkim kątem. Wymusza to

jednoznaczny kierunek transportu masy odpadów w tym urządzeniu[2-4].

Wsad podany do komory paleniska przemieszcza się w wyniku obrotów pieca. Materiał na wejściu znajduje się w dolnej części komory spalania pieca obrotowego, następnie podnosi się aż do osiągnięcia określonej wysokości na wymurówce, po czym zsuwa się ponownie w dół w stronę pochylenia pieca, co powoduje, że wsad cały czas jest w ruchu, kierując się w stronę wylotu z pieca. Charakterystyka ruchu ciepła w piecu obrotowym sprawia, że można go określić jako przeciwprądowy wymiennik ciepła. Oznacza to, że wsad w piecu jest nieustannie ogrzewany przez spaliny, które powstały w wyniku spalania paliwa doprowadzanego do procesu z drugiej strony pieca, i osiąga bardzo wysokie temperatury[3-5]. Jednocześnie ruch masy materiału odpadów transportowanych w piecu jest poddany ciąglemu, silnemu mieszaniu poprzecznemu (ruch wznoszący i opadający na pobocznicę walca-ściany) i wzdłużnemu odpowiadającemu głównemu kierunkowi przemieszczającej się masy odpadów. Poniżej zamieszczono ogólny schemat podstawowej konstrukcji pieca obrotowego.



Rys.1. Schemat pieca obrotowego[6]

Ta konstrukcja w zależności od zastosowania może być wyposażona w dodatkowe wyposażenie:

- system magazynowania i podawania wsadu,
- system przygotowania i podawania paliwa,
- zewnętrzne i wewnętrzne wymienniki ciepła,
- urządzenie chłodzące wypalony produkt,
- system oczyszczania i monitorowania spalin,
- komorę dopalania gazów procesowych, itd. [2,7].

Ważnym aspektem budowy pieca obrotowego jest zastosowanie odpowiedniej wymurówki

ogniotrwałej do wyłożenia wnętrza pieca. W zależności od rodzaju procesu w poszczególnych strefach pieca oraz rodzaju materiału wsadowego, stosuje się różne materiały ogniotrwałe. We wnętrzu pieca obrotowego można wyróżnić kilka stref odpowiedzialnych za realizację zróżnicowanych zadań. Każda z nich podlega innym obciążeniom, dlatego istotne jest dobranie odpowiedniego materiału ceramicznego do wyłożenia poszczególnych stref we wnętrzu pieca. Zasadniczo można wyróżnić trzy strefy realizacji procesu termicznego w piecu obrotowym, a mianowicie: podgrzewanie, spalanie, studzenie. Ponadto można rozważyć materiały, z których są wykonane elementy takie jak głowice i palnik. Natomiast wśród materiałów ogniotrwałych wymurówek najczęściej stosuje się materiały szamotowe, betonowe, wysokoglinowe czy też magnezjowe z domieszkami[2,8-10].

Poniżej zamieszczono rodzaje materiału ogniotrwałego dla poszczególnych stref występujących w piecu obrotowym .

Strefa pieca	Rodzaj materiału wymurówki
Podgrzewanie	Szamotowe, Wysokoglinowe, Betonowe
Wypalanie (spiekanie)	Szamotowe, Wysokoglinowe, Magnezjowe, Magnezjowo-chromitowe, Magnezjowo-spinelowe, Dolomitowe (tylko pod napiekami)
Studzenie	Szamotowe, Wysokoglinowe, Magnezjowo-chromitowe, Betonowe
Głowice i palnik	Szamotowe, Betonowe ogniotrwałe, Masy lub betony wysokoglinowe

Tab.1. Rodzaje materiału wymurówki pieca obrotowego[2,10]

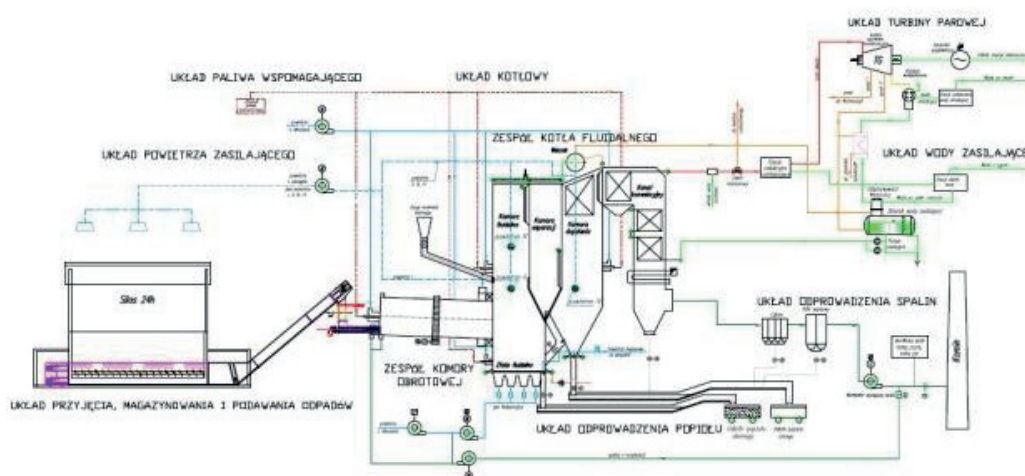
Termiczne przekształcanie odpadów w piecu obrotowym

Termiczne przekształcanie odpadów w piecu obrotowym jest jedną z niewielu metod realizujących proces unieszkodliwiania praktycznie każdego rodzaju odpadu niebezpiecznego i nie tylko. Przekształca on odpady o konsystencji stałej, półpłynnej, ciekłej oraz pastowatej. Co więcej nie jest wymagane wstępne przygotowanie odpadów polegające chociażby na ich homogenizacji czy rozdrobnieniu (ograniczenie systemu podawania i dozowania paliwa).

Piec obrotowy umożliwia realizację podstawowych procesów termicznych takich jak: piroliza, zgazowanie oraz spalanie. W praktyce jednak najczęściej unieszkodliwianie odpadów w piecu obrotowym zachodzi w wyniku ich spalania[5]. Zarówno piroliza jak i zgazowanie materiału odpadów w reaktorze obrotowym nie występują jako samodzielne metody termicznego unieszkodliwiania odpadów, gdyż są one niekompletnym działaniem. Zgodnie z ustawą o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 roku, produkty tych procesów muszą zostać spalone[11]. Istnieją natomiast rozwiązania technologiczne, które zakładają dwustopniowe przekształcanie odpadów, wykorzystujące w pierwszej fazie technikę pirolizy lub zgazowania, realizowanej w reaktorze obrotowym, a w drugiej spalanie w innym, optymalnie dobranym urządzeniu. Jest to ciekawe rozwiązanie przygotowujące materiał wsadowy do najbardziej efektywnego odzysku energii lub przystosowujące odpady do unieszkodliwiania w instalacjach pierwotnie służących innym celom.

Jednym z takich rozwiązań jest opatentowana technologia pirolityczno-fluidalnego unieszkodliwiania odpadów, zakładająca pirolizę materiału wsadowego w piecu obrotowym, a następnie fluidyzację powstałego gazu pirolitycznego oraz mieszaniny karbonizatu i popiołu. W komorze obrotowej ma miejsce intensywne mieszanie i ogrzewanie materiału wsadowego, dzięki czemu powstaje uśrednione paliwo gazowe i stałe, które następnie trafia do fluidalnej komory spalania. Połączenie wymienionych dwóch technik stanowi optymalne rozwiązanie. Piroliza odpadów

w piecu obrotowym zapewnia przekształcenie zróżnicowanego materiału odpadów w ujednoczone chemicznie i fizycznie substancje palne. W związku z niską temperaturą procesu, nie występuje w tym przypadku problem mięknięcia popiołu. Następnie produkty pirolizy trafiają do paleniska fluidalnego, gdzie gaz pirolityczny spala się w warstwie fluidalnej oraz górnej części komory, a substancje stałe w złożu fluidalnym. Fluidyzacja zapewnia wysoką, w porównaniu z innymi urządzeniami, sprawność wykorzystania energii zawartej w materiale wsadowym dzięki niezwykle efektywnemu wymieszaniu cząstek materiału z tlenem. Ponadto wybór tej techniki wpływa na zmniejszenie emisji szkodliwych produktów gazowych, co wynika ze specyfiki procesu – niska temperatura panująca w komorze fluidalnej i nadmiar tlenu ograniczają powstawanie tlenków azotu oraz tlenku węgla, natomiast możliwość bezpośredniego dozowania poszczególnych reagentów do fluidalnej komory spalania powoduje związanie kwaśnych gazów odlotowych w nieaktywny produkt o właściwościach użytkowych. Piec obrotowy i kocioł fluidalny działając w symbiozie realizują dwustopniowy proces termicznego przekształcania praktycznie wszystkich rodzajów odpadów, w tym również biomasy, bez ich wcześniejszego przekształcania. Zastosowanie jedynie pirolizy odpadów w piecu obrotowym byłoby działaniem niekompletnym ze względu na dużą zawartość części palnych w produktach procesu. Natomiast poddanie zróżnicowanych, wcześniej nierozdrobnionych odpadów fluidyzacji spowodowałoby niewłaściwą pracę złoża



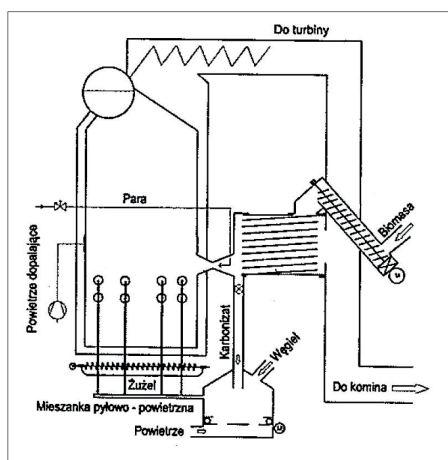
Rys.2. Schemat instalacji do termicznego przekształcania odpadów biodegradowalnych[12]

wynikającą z tworzenia się spieków, pogorszenia warunków eksploatacji urządzenia oraz jego sprawności czy też niedotrzymania standardów emisyjnych[12].

Poniżej na rys.2. zamieszczono schemat instalacji do termicznego przekształcania odpadów biodegradowalnych z wykorzystaniem technologii pirolityczno-fluidalnej[12].

Obiecujące są również badania w zakresie zgazowania paliw alternatywnych w piecu obrotowym zgodnie z opatentowaną technologią przedstawioną na rys.3., po czym następuje spalanie w kotle energetycznym produktu gazowego powstałego w reaktorze obrotowym. Za czynnik zgazowujący służą tu spaliny ze spalania paliw konwencjonalnych. Charakteryzują się one niską zawartością tlenu oraz wysoką entalpią fizyczną. Natomiast produkt zgazowania – gaz procesowy, stanowi w określonej wielkości zamiennik paliwa konwencjonalnego stosowanego w kotle energetycznym. Przepływ obydwu gazów wymuszony jest przez pracę strumienicy inżektorowej napędzanej parą. Istotną kwestią w przypadku tej koncepcji jest obniżenie sprawności kotła w wyniku doprowadzania paliwa – gazu procesowego o niższej wartości opałowej niż pyłu węglowego, oraz możliwość wystąpienia korozji niskotemperaturowej. W celu uniknięcia zjawiska korozji konieczne jest takie prowadzenie procesu, które pozwala na utrzymanie temperatury wypełnień zimnego końca powyżej temperatury kwasowego punktu rosy z pewnym marginesem bezpieczeństwa[13-15]. Technologie obróbki termicznej paliw alternatywnych takich jak biomasa czy odpady komunalne mogą spowodować zwiększenie poziomu ich wykorzystywania w energetyce konwencjonalnej, choć wymaga to wypracowania rozwiązań kilku istotnych problemów technologicznych.

Spalanie odpadów w piecu obrotowym wymaga wyposażenia instalacji w pionową komorę dopalania umiejscowioną u wylotu spalin, która ma za zadanie spalanie gazów i pyłów powstałych w reaktorze. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rozwoju, z dnia 21 stycznia 2016 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów oraz sposobów postępowania z odpadami powstałymi w wyniku tego procesu, proces spalania odpadów musi przebiegać w określonej



Rys.3. Układ technologiczny pieca obrotowego zgazowującego paliwo oraz kotła energetycznego[14]

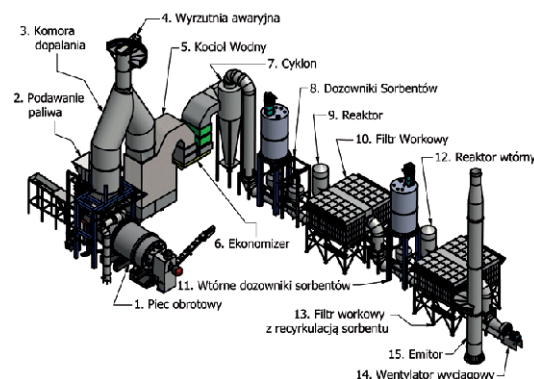
temperaturze minimalnej wynoszącej 850 °C lub 1100 °C w zależności od zawartości chloru w odpadach. Równie istotny jest czas przebywania spalin w komorze dopalania, który powinien wynosić minimum 2 sekundy[16].

Zastosowanie omawianej instalacji w stosunku do grupy odpadów niebezpiecznych ma swoje uzasadnienie. Otóż często zawierają one substancje, które w wyniku działania podwyższonej temperatury przechodzą w szkodliwe związki lotne. Dalsze postępowanie z tymi gazami wymaga zastosowania wysokich temperatur w komorze dopalania oraz stosunkowo długiego czasu przebywania w tej strefie. Piec obrotowy zapewnia wskazane warunki zarówno w zakresie temperatur, które oscylują w granicach 900-1200 °C oraz czasu przebywania spalin w komorze dopalania dłuższego niż wymagany[5]. Dodatkowo spełnienie standardów emisyjnych z instalacji termicznego przekształcania odpadów zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 4 listopada 2014r. w sprawie standardów emisyjnych dla niektórych rodzajów instalacji, źródeł spalania paliw oraz urządzeń spalania lub współspalania odpadów jest osiągnięte przez zastosowanie układu oczyszczania spalin, składającego się z odpowiednio dobranego ciągu elementów. Kolejnym ważnym aspektem jest możliwie najbardziej efektywny odzysk energii, najczęściej wykorzystywanej na potrzeby własne instalacji[17].

Poniżej przedstawiono przykładowy schemat instalacji do spalania odpadów i odzysku energii, wykorzystywanej przez zakład w celach energetycznych[18]. Moc instalacji to

Literatura
 [1] Duda J., Wasilewski M., Duczkowska-Kądziel A., Kierunki rozwoju konstrukcji cementowego pieca obrotowego, Logistyka 6/2014;
 [2] Piech J., Piece ceramiczne i szklarskie, Wydawnictwo AGH, Kraków 2001 ISBN 83-88408-02-X, s. 106-130;
 [3] Strzeszewski R., Stosowanie pieców obrotowych w odlewniach żeliwa, Kształcenie Metalu i Stopów, Rok 2000, Rocznik 2, Nr 44, PAN- Katowice PL ISSN 0208-9386;
 [4] <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/skrypt2/0063/R15.pdf>, strona własna Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie
 [5] Jaworski T., Problematyka modelowania matematycznego procesów termicznego przekształcania odpadów stałych, Piece przemysłowe i kotły 1/2015;
 [6] <http://www.eisenmann.com/en/products-and-services/environmental-technology/waste-disposal/rotary-kiln.html>, strona własna przedsiębiorstwa Eisenmann;
 [7] Jelonek J., Spalanie odpadów niebezpiecznych, Ekologia przemysłowa, 3/2008, s. 18-20;
 [8] Guziec M., Specyfikacja techniczna wykonania i odbioru robót, Wymurówka z wyrobów szamotowych pieca obrotowego w hali technologicznej Instytutu Materiałów Budowlanych w Krakowie;
 [9] Duda J., Siemiątkowski G., Innowacyjna metoda identyfikacji, uszkodzeń i planowania remontu wyłożenia ogniotrwałego w piecu obrotowym, s. 355-368;
 [10] Sperber J., Burgard R., Duennes F.J., Nowatorskie rozwiązania stosowane w wymurówkach pieców na przykładzie spalarni odpadów niebezpiecznych, Piece przemysłowe i kotły I-II/2014;
 [11] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 o odpadach, Dz.U. 2013 poz. 21;
 [12] <http://ero.biz.pl/oferta/piroliza-odpadow/>, strona własna spółki Energetyka i Recykling Odpadów Sp z o.o.;
 [13] Patent UPRP PL214645: Sposób i instalacja zgazowania biomasy przed procesem współspalania zwłaszcza w kotłach energetycznych;
 [14] Patent UPRP PL212557: Sposób oraz instalacja karbonizacji i zgazowania biomasy przed procesem współspalania zwłaszcza w kotłach energetycznych;
 [15] Kalisz S., Ostrowski P., Polok M., Pronobis M., Wejkowski R., Wojnar W.: Zgłoszenie patentowe: Sposób i system ciągłego monitorowania temperatury wypełnień koszy zim-

około 10MWth. Po podaniu i spalaniu odpadów w piecu obrotowym, w komorze spalania



Rys.4. Instalacja termicznego przekształcania odpadów w piecu obrotowym[18]

powstają dwa główne produkty. Są to: popiół, który zsypuje się do zgrzeblowego odzūżlacza i transportowany jest do kontenera, oraz gorące spaliny, które uchodzą do komory dopalania. Po dopaleniu palnych frakcji gazowych, spaliny wędrują do kotła odzysknicowego, tu kotła wodnego, gdzie oddają energię cieplną. Zachodzi wytworzenie gorącej wody energetycznej, która stanowi nośnik ciepła na potrzeby ciepłej wody użytkowej lub pary. Dalsza droga schłodzonych gazów spalinowych przebiega przez szereg urządzeń stanowiących system oczyszczania spalin. Cyklon oraz filtr workowy służą do odpylania, natomiast dozowniki sorbentów pozwalają na związanie szkodliwych gazów kwaśnych w związki wapniowe, w układzie dwóch filtrów workowych z zastosowaniem odpowiednich sorbentów następuje również redukcja związków organicznych oraz rtęci. Jest to jeden z wielu przykładów prowadzenia procesu spalania w piecu obrotowym. Na końcu znajdują się wentylator wyciągowy oraz emitor wyposażony w urządzenie monitorujące skład spalin, a tym samym poziom dopełnienia wymogów emisyjnych z instalacji tego typu[18].

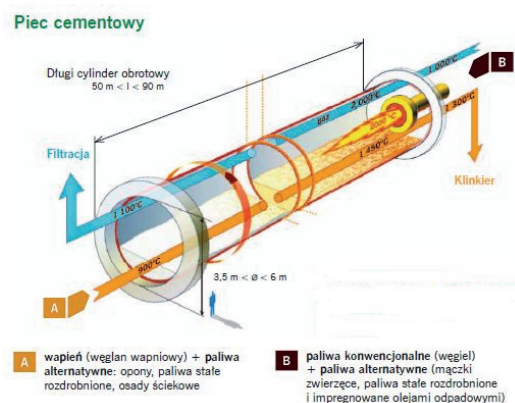
Współspalanie odpadów w przemyśle cementowym

Kolejnym zastosowaniem pieca obrotowego w gospodarce odpadami jest współspalanie paliwa alternatywnego (wyodrębnionej palnej frakcji odpadów) w procesie wypalania klinkieru cementowego. Mogłoby się wydawać, że termiczne unieszkodliwienie paliwa odpadowego

stanowi tu niejako wątek poboczny, to jednak jest to istotna kwestia zarówno pod względem środowiskowym jak i ekonomicznym.

Przede wszystkim należy zaznaczyć, że wytwarzanie klinkieru jest wysoce energochłonne i dodatkowo charakteryzuje się niską sprawnością, wynikającą z wysokich strat ciepła wraz z uchodzącymi gazami odlotowymi i nadmiarowym powietrzem[1,9,10]. Dlatego też czyniono starania, aby móc zastosować inne źródła energii, przy równoczesnym zwiększaniu efektywności instalacji. Dało to pozytywny efekt w warunkach krajowych. Zapotrzebowania na energię w cementowniach pokrywane jest w około 40% przez alternatywne źródło energii jakim są palne frakcje odpadów, które są współspalane z paliwem konwencjonalnym. Kolejnymi wymiernymi korzyściami procesu są ograniczenie ilości odpadów trafiających na składowiska oraz znikoma uciążliwość środowiskowa procesu, wynikająca z neutralizacji i trwałego związania produktów ubocznych, takich jak kwaśne produkty spalania oraz popiół[2,4,19,20].

Poniżej zamieszczono schemat przykładowego obrotowego pieca cementowego współspalającego paliwo alternatywne. Z jednej jego strony podawane są substraty będące bazą do produkcji klinkieru- wapień, a z drugiej paliwo konwencjonalne. Paliwo alternatywne, składające się z substancji odpadowych takich jak: tworzywa sztuczne, guma, mączki zwierzęce itd. podawane jest z obydwu stron, nie zakłócając jakościowo procesu produkcji cementu[4,20,21].



Rys.5. Schemat instalacji współspalania paliwa alternatywnego w cementowym piecu obrotowym[21]

Usuwanie zanieczyszczeń ropopochodnych z gruntów

Jest to kolejne możliwe zastosowanie pieca obrotowego w szeroko pojętej gospodarce odpadami. Obróbka cieplna gruntu ma na celu usunięcie zanieczyszczeń ropopochodnych, czyli związków organicznych, wśród których najliczniejszą grupę stanowią węglowodory. Jest to jedna z metod ex situ. Oznacza to, że zachodzi poza pierwotną lokalizacją gruntu w dedykowanej procesowi instalacji, do której dostarczany jest zanieczyszczony materiał. Realizacja procesu może przebiegać w warunkach zarówno tlenowych jak i beztlenowych. W obu przypadkach najbardziej efektywną technologią jest dwustopniowy system oczyszczania termicznego, który jest realizowany właśnie w reaktorze obrotowym wyposażonym w komorę dopalania. Spalanie zanieczyszczeń węglowodorowych polega na podgrzaniu gruntu do temperatury rzędu 600 °C, kiedy można zauważyć oddzielenie substancji zanieczyszczającej, która przeszła w stan lotny, od ziaren gruntu. W drugim etapie ma miejsce dopalanie wcześniej powstałych szkodliwych, gazowych związków węglowodorowych w temperaturze 900-1100 °C, które celem ostatecznego oczyszczenia trafią do systemu oczyszczania gazów odlotowych. Oczyszczony grunt, po wychłodzeniu może zostać ponownie wykorzystany. Piroliza zanieczyszczonego gruntu zachodzi w zbliżonym reżimie temperaturowym 650 °C, natomiast w późniejszym etapie faza lotna, zwana gazem pirolitycznym, podlega całkowitemu spalaniu w komorze spalania w temperaturze 1000-1100 °C. Również tu można mówić o ponownym wykorzystaniu gruntu w miejscu jego pobrania lub do rekultywacji terenów zdegradowanych[21,22]

Wnioski

Piece obrotowe, mające już ponad stu letnią historię użytkowania, znajdują liczne zastosowania w gospodarce odpadami. Można wręcz obserwować nieustający rozwój tej techniki oraz coraz szersze jej wykorzystanie dzięki odpowiednim przekształceniom. Specyfika urządzenia pozwala na wykorzystanie go w procesach wymagających wysokich temperatur, dobrego

wymieszania wsadu oraz długiego czasu przebywania w komorze dopalania. Skutkuje to zastosowaniem tego rodzaju pieca do unieszkodliwiania najtrudniejszych do zagospodarowania - odpadów niebezpiecznych. Aktualnie oprócz stosowania reaktora obrotowego do spalania odpadów, wykorzystuje się go również do realizacji procesów takich jak: piroliza i zgazowanie. W tym przypadku jest to jeden z elementów całego ciągu technologicznego spalania lub współspalania odpadów. Poza badaniami mającymi na celu poszukiwanie coraz to nowych zastosowań pieców obrotowych, równolegle czyni się starania ograniczenia ilości wykorzystywanej do procesu energii oraz minimalizowania strat. Pomimo osiągnięcia pewnych sukcesów w tej kwestii, obserwuje się dążenie do dalszego poprawiania parametrów pracy instalacji. Stanowi to dobrą prognozę możliwości wykorzystywania pieca obrotowego w gospodarce odpadami..

nego końca regeneracyjnego obrotowego podgrzewacza powietrza ROPP zwłaszcza kotła energetycznego;

[16] Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 21 stycznia 2016 roku w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów oraz sposobów postępowania z odpadami powstałymi w wyniku tego procesu, Dz.U.2016, poz. 108, tom 1;

[17] Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 4 listopada 2014 roku w sprawie standardów emisyjnych dla niektórych rodzajów instalacji, źródeł spalania paliw oraz urządzeń spalania lub współspalania odpadów Dz.U. 2014, poz.1546;

[18] http://www.ekokogeneracja.com/?page_id=45#, strona własna przedsiębiorstwa Ekokogeneracja;

[19] Duczowska-Kądział A., Duda J., Odpady komunalne i przemysłowe alternatywnymi surowcami i paliwami w procesie produkcji cementu, Prace ICiMB, Rok 2014, Nr 18;

[20] Bąbelwski P., Współspalanie paliw alternatywnych w cementowniach Cemex Polska, prezentacja Cemex Polska Cementownia Rudniki, czerwiec 2012, Warszawa,

[21] <https://adrianczajkowski.wordpress.com/2012/02/20/piec-cementowy-idealny-do-wspolspalania-paliw-alternatywnych/>;

[22] Lewkiewicz-Małysa A., Rogowska-Kwas R., Winid B., Redukcja zawartości węglowodorów zanieczyszczających środowisko naturalne, Wiertnictwo Nafta Gaz, Rok 2008, Tom 25, Zeszyt 2;

[23] Radwan K., Słosorz Z., Rakowska J., Efekty środowiskowe usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych, Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza, nr 3/2012, s. 107-114;

piece 
PRZEMYSŁOWE
 & kotły

**pismo branżowe,
 które warto znać**

www.ppik.pl
www.industrialfurnaces.pl

**portal branżowy,
 w którym warto być**