

# INNOWACYJNE CZYSTE TECHNOLOGIE SZANSĄ ROZWOJU PRZEMYSŁU

Anna DUCZKOWSKA-KĄDZIEL, Jerzy DUDA, Marek WASILEWSKI

**Streszczenie:** W artykule na przykładzie przemysłu cementowego przedstawiono możliwości wdrożenia nowoczesnych czystych technologii. Proces technologiczny produkcji cementu, który wykorzystuje znaczne ilości surowców i paliw odpadowych z innych gałęzi przemysłu jest dobrym przykładem takiego innowacyjnego działania, które odpowiada założeniom „czystych technologii”.

**Słowa kluczowe:** czyste technologie, wypalanie klinkieru, paliwa i energia odnawialna.

## 1. Wstęp

Jednym z głównych celów Unii Europejskiej wynikającym ze strategii „Zrównoważona Europa dla lepszego świata”, jest zobowiązanie krajów UE do ograniczenia emisji z procesów spalania paliw oraz wykorzystywanie alternatywnych źródeł paliw i energii elektrycznej. Strategia rozwoju źródeł energii sformułowana w Białej Księdze Komisji UE „Energia dla przyszłości - odnawialne źródła energii”, zakłada rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE). W unijnym pakiecie klimatyczno-energetycznym tzw. 3x20 przyjęto, że do roku 2020 udział odnawialnych źródeł energii w zaspokojeniu potrzeb UE będzie wynosił 20% zapotrzebowania na energię pierwotną. Dodatkowo pakiet klimatyczny zobowiązuje kraje UE do redukcji o 20% emisji CO<sub>2</sub> (w stosunku do roku bazowego 1998r.) oraz zmniejszenie o 20% energochłonności (w stosunku do PKB).

Warunkiem wypełnienia założeń Pakietu jest wdrożenie w przemyśle innowacyjnych „czystych technologii” energetycznych. Czyste technologie obejmują działania mające za cel ograniczenie szkodliwego oddziaływania procesu na środowisko, racjonalizację wykorzystania paliw i surowców odnawialnych oraz zapobieganie powstawaniu odpadów poprodukcyjnych. Szerokie zastosowanie w przemyśle czystych technologii spowoduje m.in. ograniczenie zużycia paliw nieodnawialnych-kopalnianych, obniżenie emisji CO<sub>2</sub> oraz efektywne zarządzanie energią.

Możliwości wdrożenia czystych technologii oraz analiza ekologiczna tego działania zostanie przedstawiona na przykładzie przemysłu cementowego. Przemysł cementowy, podobnie jak chemiczny i energetyczny, należy do branż, które zużywają znaczne ilości paliw kopalnianych i energii elektrycznej i w związku z tym mocno oddziałuje na środowisko. W ostatnich latach została przeprowadzona w kraju głęboka modernizacja przemysłu cementowego. Zastosowane nowe technologie produkcji cementu, a zwłaszcza techniki wypalania klinkieru spełniają warunki czystych technologii.

Wymagane zmiany technologiczne w przemyśle, wynikające z dążenia do obniżenia energochłonności i spełnienia norm emisji zanieczyszczeń zgodnie z Dyrektywą IPPC (Integrated Pollution Prevention Control). Normy te dla przemysłu cementowego zostały zdefiniowane w **BREF-ie** (BAT Reference Document - najlepsze dostępne techniki niepowodujące nadmiernego wzrostu kosztów, przeciwdziałające lub zmniejszające zanieczyszczenie powietrza) i obowiązują w UE od roku 1990. Rozwój nowych technik

wytwarzania cementu powoduje, że wymagania BREF są stale weryfikowane i dopasowywane do nowych możliwości technologicznych. Aktualnie obowiązującą jest wersja BREF z maja 2010 roku [1].

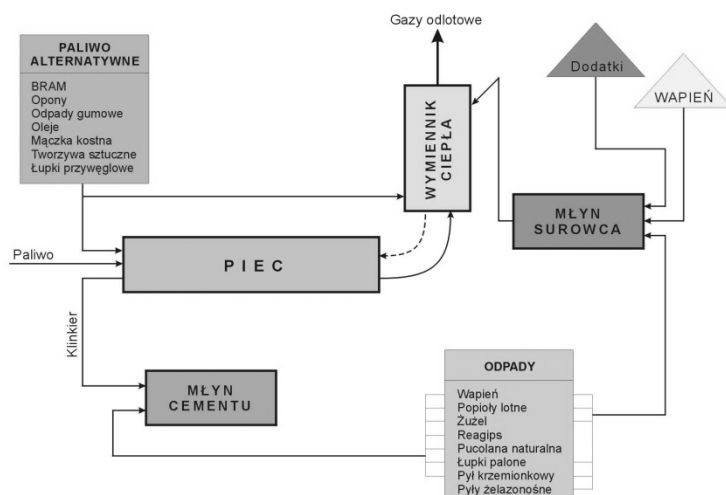
Przemysł cementowy, ze względu na wysoką energochłonność i duże zużycie surowców i paliw naturalnych-nieodnawialnych, włączył się do realizacji polityki efektywnego gospodarowania surowcami i energią, zgodnej z polityką zrównoważonego rozwoju. Działalność taka ukierunkowana jest głównie na:

- zwiększenie udziału w produkcji odnawialnych i alternatywnych źródeł energii,
- promowanie efektywnego zużycia energii,
- zmniejszenie szkodliwego oddziaływania procesów wytwarzania i użytkowania paliw i energii na środowisko.

Postęp w technologii produkcji cementu, jaki dokonał się w ostatnich latach spowodował, że przemysł ten nie tylko przestał być uciążliwy dla środowiska, ale dzięki wykorzystaniu w procesie produkcyjnym odpadów przemysłowych i komunalnych może spełniać bardzo pozytywną rolę w jego ochronie. Zainteresowanie problematyką wykorzystania odpadów wynika z jednej strony z dążenia do obniżenia kosztów produkcji, a z drugiej strony z występującego już braku lub złej jakości surowców naturalnych.

## 2. Paliwa i surowce odpadowe

Procesy, które do wytworzenia produktu zużywają ograniczoną ilość surowców nieodnawialnych, bądź nie zużywając ich w ogóle, można określić jako "czyste technologie". Przemysł cementowy, który sam nie wytwarza w procesie odpadów, może dzięki warunkom wynikającym z technologii produkcji cementu wykorzystywać znaczne ilości surowców odpadowych z innych przemysłów jako dodatki do cementu lub zamienniki paliw i surowców naturalnych – kopalnych nieodnawialnych. Na rys. 1 przedstawiono rodzaje stosowanych odpadów oraz sposób-miejsce ich wykorzystania w procesie produkcji cementu.

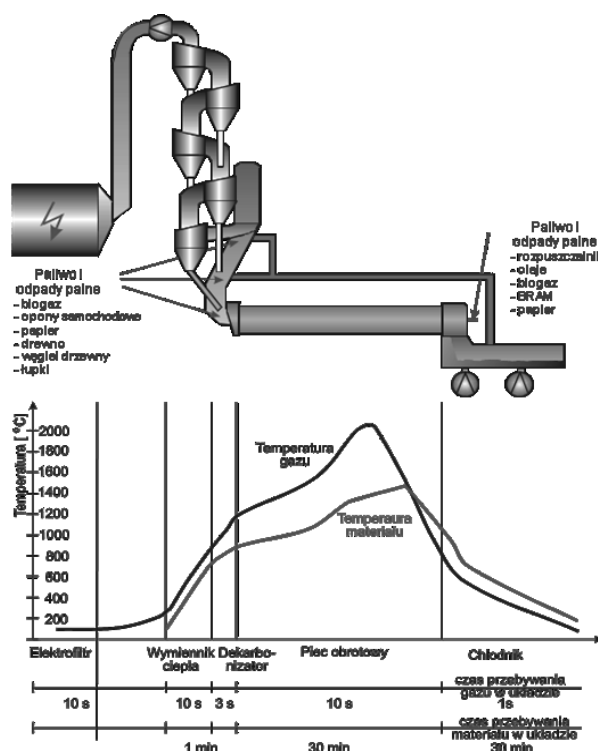


Rys. 1. Sposoby wykorzystania odpadów w procesie produkcji cementu, opracowanie własne na podstawie[1]

W nowych, innowacyjnych technologiach produkcji cementu wykorzystuje się obecnie znaczne ilości: popiołów lotnych z energetyki, żużli wielkopieczowych, pyłów krzemionkowych czy gipsu z odsiarczania spalin. Pozwala to na ograniczenie zużycie surowców nieodnawialnych i w związku z tym odpowiada warunkowi „czystej technologii”. Korzyści dla środowiska z wykorzystania w procesie produkcji cementu odpadów, jako substytutu surowców naturalnych to m.in.:

- ograniczenie degradacji terenów rolniczych (zmniejszenie wydobycia surowców naturalnych i węgla),
- całkowite wykorzystanie niepalnych części odpadów (wyeliminowanie składowania produktów z przemysłu hutniczego- żużli wielkopieczowych i energetycznego- popiołów lotnych),
- zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (ograniczenie klinkieru w cemencie).

Innym nowym procesem, który również odpowiada czystej technologii, jest wykorzystywanie w piecu obrotowym paliw alternatywnych, ograniczające zużycie węgla. Wymagania technologiczne wynikające z wysokotemperaturowego procesu wypalania klinkieru oraz własności konstrukcyjne pieca obrotowego, duża komora paleniskowa, zabezpieczająca odpowiedni czas spalania i dobre wymieszanie produktów spalania z alkaliczną atmosferą, stwarzają warunki do bezpiecznego współspalania węgla z paliwem z odpadów. Warunki temperaturowe w piecu obrotowym, jakie wynikają z technologii wypalania klinkieru przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Rozkład temperatur w piecu obrotowym i sposób wykorzystania paliw z odpadów, opracowanie własne na podstawie [2]

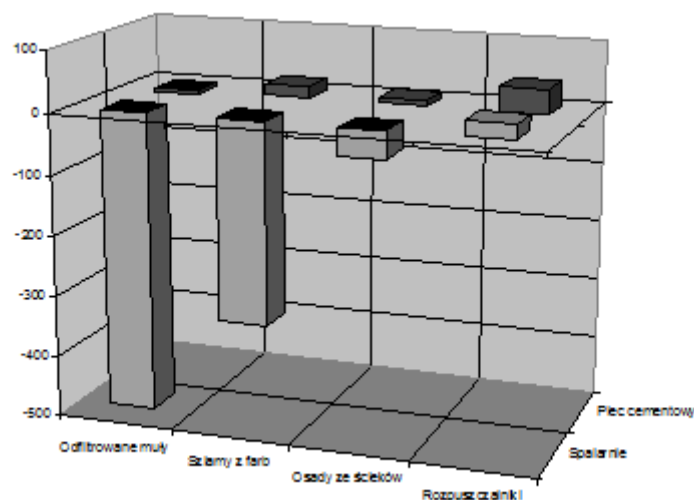
Temperatura i czas przebywania w piecu gazów, spełniają wymagania wynikające z destrukcji związków toksycznych PCDD i PCDF ( $> 1100^{\circ}\text{C}$  i czas 2 s). Wymagana (zgodnie z Dyrektywą Europejską) temperatura gazów powyżej  $1100^{\circ}\text{C}$  przy spalaniu paliw zawierających powyżej 1% chloru, jest utrzymywana w piecu znacznie dłużej (ok. 7 s). Warunki temperaturowe i atmosfera gazowa w piecu obrotowym pozwalają na wykorzystanie tego procesu do utylizacji nawet odpadów niebezpiecznych. Dzięki naturalnym warunkom technologicznym, cementowy piec obrotowy jest konkurencyjnym urządzeniem dla zawodowej spalarni. W porównaniu ze spalarnią odpadów jest to proces bezodpadowy. Popiół ze spalania paliwa z odpadów zostaje całkowicie wbudowany w klinkier. Wysoka temperatura materiału ( $>1430^{\circ}\text{C}$ ) i obecność w nim fazy ciekłej powoduje, że w wypalonym klinkierze następuje immobilizacja śladowych metali ciężkich, które mogą występować w tych paliwach [2].

Oprócz ograniczenia zużycia paliwa kopalnego-nieodnawialnego kosztem spalania paliw z odpadów, technologia ta pozwala na czystą, bez szkodliwego oddziaływania na środowisko utylizację odpadów, nawet niebezpiecznych. Dodatkowo, oprócz wyżej przedstawionych zalet współspalania w piecu to:

- alkaliczna atmosfera, która neutralizuje gazy kwasotwórcze,
- całkowite wykorzystanie energii cieplnej z paliwa alternatywnego,
- duża pojemność cieplna, zabezpieczająca ciągłość spalania,
- spalanie paliwa z odpadów w piecu obrotowym nie wymaga dodatkowego palnika i tym samym nie powoduje dodatkowego wzrostu emisji gazowej,
- niskie koszty i krótki czas przystosowania pieca do spalania odpadów,
- wysoka sprawność urządzeń odpylających.

Przedstawione zalety pieca obrotowego świadczą, że jest on nie tylko doskonałym urządzeniem do spalania paliw z odpadów, ale również spełnia praktycznie wszystkie teoretyczne wymagania stawiane przy spalaniu odpadów niebezpiecznych, zawierających PCB (polichlorowane bifenylo). Potwierdzają to badania porównawcze dotyczące spalania odpadów niebezpiecznych - tzw. hazardów- w piecu obrotowym i zawodowej spalarni. Na rys. 3 przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w Holenderskim Instytucie TNO [3], które obejmowały spalanie różnych odpadów jak: odfiltrowane muły, rozpuszczalniki, szlasy z farb i osady z oczyszczalni ścieków. Ocena dotyczyła m. in. szkodliwego oddziaływania na środowisko, zmniejszenia zużycia paliw i surowców naturalnych, efektu cieplarnianego oraz toksyczności produktu. Dodatni efekt wskazuje na pozytywny wpływ na środowisko, natomiast ujemny wskazuje na oddziaływanie szkodliwe. Z badań tych wynika, że proces wypalania klinkieru we wszystkich próbach okazał się lepszy, co potwierdza, że warunki spalania w cementowym piecu obrotowym są wystarczające do destrukcji niebezpiecznych związków organicznych. Podobne badania porównawcze przeprowadzono w USA przez Agencję Ochrony Środowiska. Wyniki destrukcji głównych niebezpiecznych związków organicznych (POHC) w spalarni odpadów i piecach cementowych, przedstawiono w tabeli 1.

Dzięki tym zaletom pieca obrotowego, obserwuje się w ostatnich latach na świecie intensywny rozwój technologii współspalania paliw alternatywnych w przemyśle cementowym. W krajach UE stowarzyszonych w Cembureau, paliwa z odpadów zabezpieczają już ponad 50% energii cieplnej w procesie wypalania klinkieru. Spotyka się technologie wypalania klinkieru, w których paliwa alternatywne zabezpieczają ponad 80% ciepła w procesie.

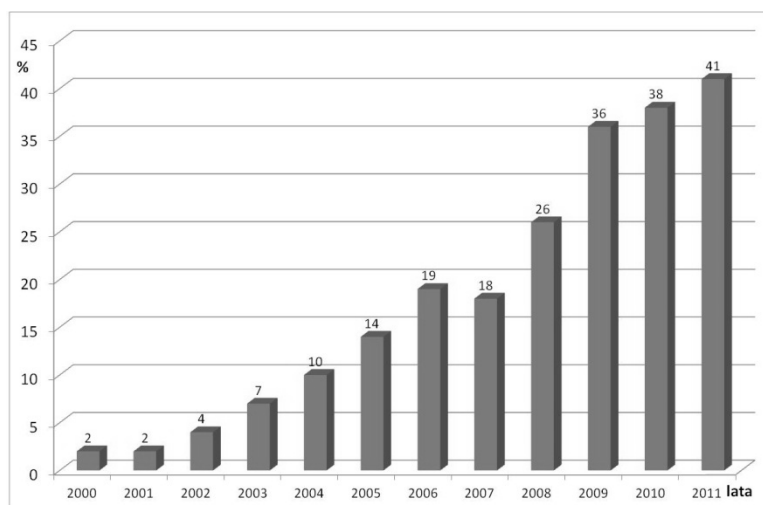


Rys. 3. Wyniki testu porównawczego spalania odpadów w spalarni i cementowni [3]

Tab. 1. Wyniki destrukcji głównych niebezpiecznych związków organicznych w spalarni odpadów i piecach cementowych, [3]

<b>POHC</b>	Spalarnia odpadów	Piece obrotowe
Carbon tetrachloride	99,9785	99,9989
Chlorobenzene	99,8375	99,9913
Dichlorometane	99,9257	99,9748
Freon 113	99,9983	99,9990
Methyl ethyl ketone	99,9882	99,9928
Tetrachlorobenzene	99,3330	99,9998
Tetrachloroethene	99,3032	99,9994

Podobną tendencję można zaobserwować również w Polsce. Obrazuje to przedstawiony na rys. 4 wykres dotyczący udziału ciepła z paliw alternatywnych w procesie wypalania klinkieru. Ważnym zagadnieniem przy spalaniu paliw z odpadów jest emisja metali ciężkich. Paliwa alternatywne, podobnie jak surowce i paliwa naturalne, zawierają w swym składzie śladowe ilości metali ciężkich. Metale w piecu mogą ulegać odparowaniu lub występować w postaci ciała stałego. Po spaleniu część metali stanowi składnik popiołu, który wbudowuje się w struktury klinkieru. Metale, które wprowadzane są do związków tworzących klinkier to: Cr, Be, Ba, Ni, As i Ag. Natomiast część metali o wysokiej lotności (Hg i Tl) opuszcza system piecowy w postaci gazowej. Metale o przeciętnej lotności i zdolności do tworzenia obiegów wewnętrznych (Sb, Se, Pb, Cd) mogą kondensować się na pyłach porywanych przez gazy w piecu lub wymienniku i powracać do procesu. Metale z systemu piecowego mogą być emitowane przez komin lub z powietrzem nadmiarowym z chłodnika. Jak wynika z badań i pomiarów przeprowadzonych w USA i Niemczech, substytucja węgla paliwami z odpadów nie powoduje wzrostu emisji metali. Uwzględniając fakt wiązania metali w klinkierze, przestrzegane są ograniczenia ich dopuszczalnych zawartości w paliwie, które nie wpływają na pogorszenie jakości klinkieru.



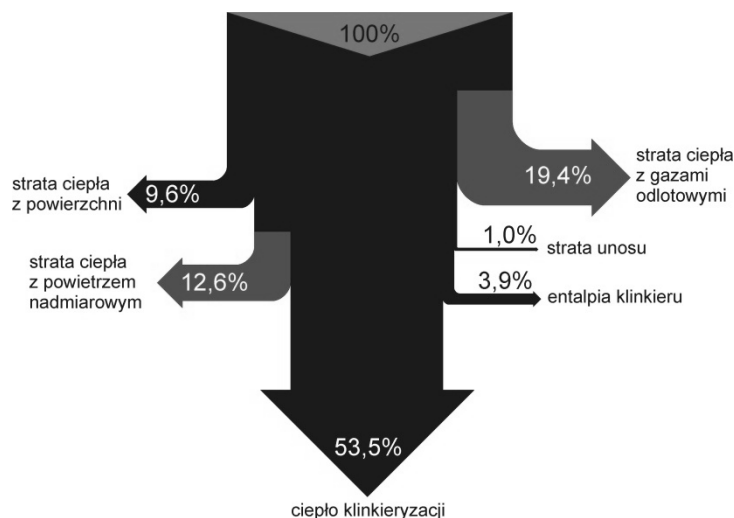
Rys. 4. Udział ciepła z paliw alternatywnych w procesie wypalania klinkieru [6]

### 3. Skojarzenie procesu wypalania klinkieru z wytwarzaniem energii elektrycznej

Strategia rozwoju źródeł energii sformułowana w Białej Księdze Komisji UE zakłada rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2001/77/WE wyznacza docelowy udział OZE na poziomie 22%. Polska, przystępując do Unii Europejskiej, zobowiązała się do systematycznego zwiększania, pozyskiwania i wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Zgodnie z rządową „Strategią rozwoju energetyki odnawialnej” [6] udział OZE w roku 2020 powinien przekraczać 15% krajowej produkcji energii elektrycznej. Zgodnie z Ustawą z lipca 2002 roku, za odnawialne źródła energii uważa się energię: wiatru, geotermalną, słoneczną, wody oraz pozyskiwaną z biomasy (gaz wysypiskowy lub fermentacyjny). Natomiast pomija się w „Strategii ..” źródło czystej energii, nieobciążające środowiska naturalnego i spełniające wymagania OZE. Źródłem takim jest energia odpadowa (entalpia gazów odlotowych) z wysokotemperaturowych procesów technologicznych. Przykładem takiego procesu technologicznego jest proces wypalania klinkieru cementowego w piecu obrotowym.

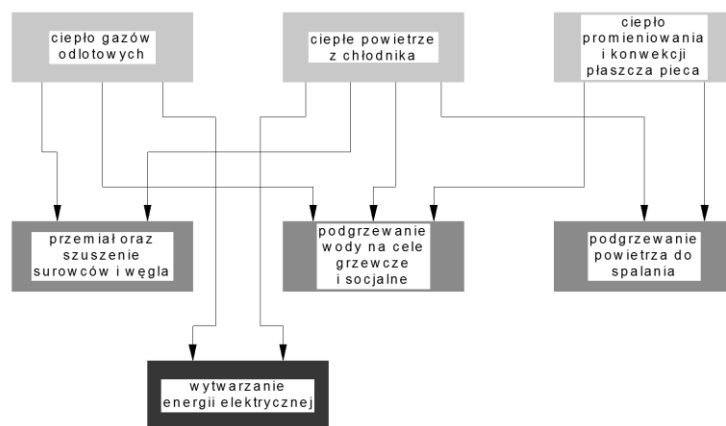
Rozwój nowych technologii wypalania w krótkich piecach obrotowych z wielostopniowym cyklonowym wymiennikiem ciepła i układem wstępnej dekarbonizacji pozwolił uzyskać znaczne obniżenie jednostkowego zużycia ciepła i poprawę sprawności cieplnej procesu. Praktycznie została już osiągnięta granica możliwości dalszego obniżenia zużycia ciepła poprzez optymalizację konstrukcji urządzeń. Istniejące jeszcze teoretyczne możliwości poprawy sprawności cieplnej procesu wypalania wymagają znacznych nakładów i na obecnym etapie są nieopłacalne. Jak wynika z przedstawionego na wykresie Sanke’a (rys. 5) bilansu cieplnego nowoczesnego pieca na metodę suchą, jest to proces energochłonny o sprawności na poziomie 50%. Znaczący, ponad 40% wpływ na wysoką energochłonność procesu wypalania klinkieru w piecu obrotowym mają straty ciepła:

- z gazami odlotowymi,
- z powietrzem nadmiarowym z chłodnika rusztowego klinkieru,
- promieniowania i konwekcji gorących powierzchni pieca.



Rys. 5. Bilans cieplny pieca z układem wstępnej dekarbonizacji [6]

Entalpia gazów odlotowych z pieca obrotowego i entalpia powietrza nadmiarowego z chłodnika klinkieru stanowi około 30% strat cieplnych procesu wypalania. Uwzględniając wydajności nowoczesnych technik wypalania, straty te wynoszą około 80-120 MW. W celu podwyższenia sprawności cieplnej procesu wypalania klinkieru prowadzone są w przemyśle cementowym prace nad wykorzystaniem ciepła odpadowego. Na rys. 6 przedstawiono źródła energii odpadowej z pieca obrotowego i możliwe sposoby jej wykorzystania.



Rys. 6. Źródła energii odpadowej z pieca obrotowego i sposoby jej wykorzystania

Szansą poprawy sprawności energetycznej procesu produkcji cementu jest maksymalne wykorzystanie entalpii odpadowej procesu wypalania klinkieru. Dotychczasowy sposób wykorzystania tej energii w procesach suszenia surowca rozwiązuje tylko częściowo ten problem. Wielkość strumienia energii odpadowej z pieca obrotowego i jej parametry termodynamiczne powodują, że poszukuje się innych, bardziej efektywnych sposobów jej

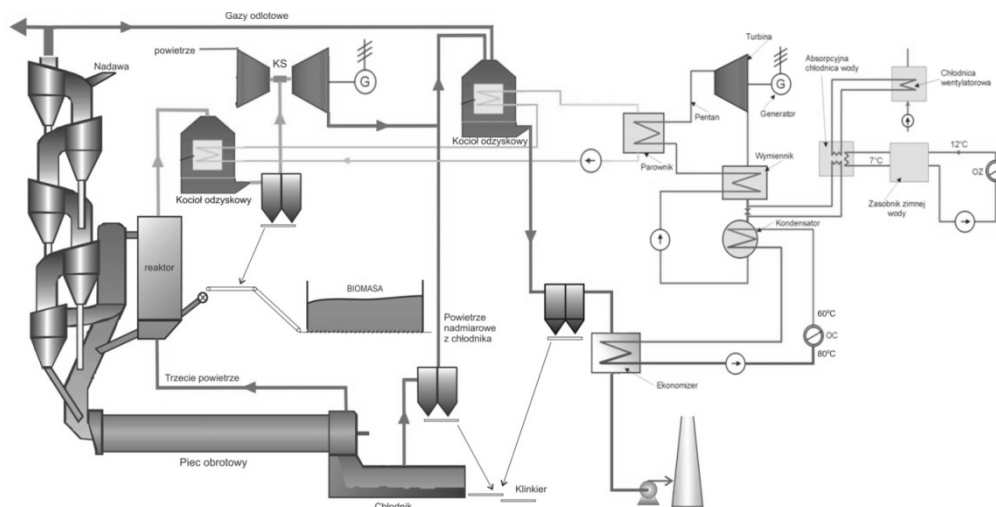
wykorzystania. W ostatnich latach obserwuje się na świecie inne podejście do zagadnienia wykorzystania procesowej entalpii odpadowej, polegające głównie na wykorzystaniu jej do produkcji energii elektrycznej w układzie skojarzonym, podobnym do układu kogeneracyjnego w elektrociepłowni. Skojarzenie procesu wypalania klinkieru, polegające na nadbudowie pieca obrotowego instalacją do wytwarzania energii elektrycznej, jest obecnie coraz częściej stosowaną technologią w przemyśle cementowym. Wzrost efektywności energetycznej należy do najszybszych i opłacalnych sposobów ograniczenia emisji gazów i pyłów oraz zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego kraju. Znalazło to odbicie zarówno w nowym BREF- ie, gdzie jedną z metod poprawy efektywności procesu wypalania jest skojarzenie go z instalacją do wytwarzania energii elektrycznej oraz w przepisach unijnych, które promują inwestycje dotyczące poprawy efektywności energetycznej [5]. Unia Europejska w rozwoju rozproszonej kogeneracji upatruje szanse na wzrost lokalnego bezpieczeństwa energetycznego z równoczesną redukcją emisji CO<sub>2</sub> (Dyrektywa 2004/8/WE-CHP). W Polsce podstawę prawną w tym zakresie stanowi Ustawa z dnia 12.01.2007 (Dz.U. z 9.02.2007r. Nr 21). Skojarzenie tych procesów pozwoli również na wypełnienie założeń pakietu klimatycznego (ustawa o efektywności energetycznej).

W ostatnich latach skojarzenie pieca obrotowego z tzw. układem WHR (Waste Heat Recovery) do wytwarzania energii elektrycznej w oparciu o klasyczny obieg parowy Clausiusa –Rankine’a jest technologią bardzo popularną w przemyśle cementowym. Jak wynika z danych statystycznych, średni odzysk energii w nowych układach kogeneracyjnych WHR w cementowniach wynosi ok. 30-45 kWh/t kl., co odpowiada ponad 30% zapotrzebowaniu na energię elektryczną w cementowni. Przewiduje się, że do roku 2020 w światowym przemyśle cementowym zostanie wykonanych około 1600 instalacji WHR o łącznej mocy elektrycznej ok. 15 GW [4].

W warunkach Polski, ze względu na wysoką wilgotność złożową surowców naturalnych i wynikające z tego duże zużycie energii odpadowej w procesie przygotowania nadawy surowcowej do pieca, klasyczny układ WHR wodno-parowy Rankine’a nie jest możliwy do zrealizowania. Rozwój nowych technik wytwarzania energii elektrycznej, zrealizowanych w oparciu o obieg Rankine’a, w którym zastosowano jako czynnik roboczy w miejsce wody ciecze organiczne (układ ORC- Organic Rankine a Cycle) lub roztwór amoniaku w wodzie (cykl Kaliny), znacznie zwiększył możliwość nadbudowy pieców obrotowych układami WHR. Praktycznie realizację technologii WHR w warunkach cementowni w Polsce można ograniczyć do dwóch technik - obiegu ORC i Kaliny. Układy te różnią się zasadniczo tylko czynnikami roboczymi, które w porównaniu do wody charakteryzują się niższymi temperaturami wrzenia i niższym ciepłem parowania. Są to układy niskotemperaturowe i dzięki temu będzie można zrealizować jednocześnie suszenie surowca i wytwarzanie energii elektrycznej wykorzystujące energię odpadową. Jednym z ważniejszych czynników, który decyduje o opłacalności układu WHR i o jego wdrożeniu w cementowni jest wielkość mocy wytwarzanej energii elektrycznej. Uwzględniając w warunkach krajowych zapotrzebowanie znacznej części ciepła odpadowego w procesach suszenia, moc wytwarzanej energii elektrycznej, mimo zastosowania układów ORC lub Kaliny, będzie za niska. Jak wynika z analizy efektywności ekonomicznej takiego rozwiązania, minimalną mocą wytwarzanej energii, która zapewni efektywność takiej inwestycji jest moc odpowiadająca co najmniej 20% zapotrzebowania. Jednym ze sposobów zwiększenia ilości wytwarzanej energii jest rozbudowa układu o dodatkowe źródło energii elektrycznej. Jest to rozwiązanie podobne do stosowanego w energetyce ciepłej układu kogeneracyjnego, polegające na skojarzeniu procesu Rankine’a z turbiną



gazową tzw. kombi proces, który składa się z dwóch turbogeneratorów- gazowego i parowego [5]. W cementowni, która wykorzystuje już znaczne ilości paliw alternatywnych realizacja takiego innowacyjnego rozwiązania jest możliwa do wykonania. Jednym z czynników ograniczających większe zużycie paliw alternatywnych w procesie wypalania klinkieru jest niska wartość opałowa tych paliw, wynikająca z wysokiej wilgotności (zawartość biomasy). Rozwiązaniem, które pozwoli zwiększyć udział tych paliw w procesie i jednocześnie zrealizować dodatkowe źródło wytwarzania energii elektrycznej jest zastosowanie w miejsce spalania, zgazowanie paliw alternatywnych. Schemat takiego rozwiązania przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Schemat technologiczny instalacji odzysku entalpii odpadowej z pieca z układem zgazowania paliw-biomasy [6]

Wytworzony w reaktorze gaz syntezowy można bezpośrednio wykorzystać w procesie wypalania (w kalcynatorze) oraz po schłodzeniu i następnie oczyszczeniu z pyłów i części smolistych zastosować do napędu turbiny lub silnika gazowego. Ciepło odpadowe z silnika gazowego i z procesu wypalania (entalpia gaz odlotowych i/lub powietrza nadmiarowego) zostanie wykorzystane w kotle odzyskowym do podgrzania termoleju, czynnika pośredniego, służącego w instalacji ORC do odparowania cieczy organicznej. Skojarzenie dwóch źródeł wytwarzania energii elektrycznej pozwoli na uzyskanie znacznie większej mocy wytwarzanej energii elektrycznej i tym samym poprawę efektywności ekonomicznej i ekologicznej (ograniczenie emisji  $\text{CO}_2$ ). Przedstawione innowacyjne rozwiązanie wykorzystania paliw alternatywnych i wytwarzania energii elektrycznej wykorzystujące procesowe ciepło odpadowe, spełnia wszystkie wcześniej przedstawione warunki dotyczące czystych technologii.

#### 4. Podsumowanie

Zagadnienia dotyczące obniżenia energochłonności, ograniczenia emisji gazów oraz wykorzystania w procesie produkcyjnym paliw i energii odnawialnej, stały się podstawowymi celami działań przemysłu cementowego na rzecz ochrony środowiska.

Przedstawione możliwości wykorzystania w procesie produkcji cementu surowców i paliw odpadowych z innych przemysłów oraz możliwości wytwarzania energii elektrycznej z ciepła odpadowego jest działaniem zgodnym z podstawową tezą zrównoważonego rozwoju. Oprócz poprawy sprawności energetycznej procesu, ograniczenia zużycia paliw naturalnych i wykorzystania-utylizacji odpadów komunalnych i przemysłowych z innych branż, działanie takie ma bardzo korzystny wpływ na środowisko naturalne i odpowiada celom pakietu klimatycznego 3x20. Przemysł cementowy dotychczas kojarzony jako jeden z przemysłów degradujących środowisko, dzięki warunkom procesowym i nowym „czystym technologiom” spełnia bardzo ważną rolę na rzecz ochrony środowiska.

Skojarzenie procesu wypalania klinkieru w piecu obrotowym z procesem wytwarzania energii elektrycznej, oprócz poprawy sprawności energetycznej procesu, ograniczenia zużycia paliw naturalnych, ma również korzystny wpływ na środowisko. Produktem jest „czysta” energia (Clean Energy), wyprodukowanie której odbywa się bez spalania paliwa oraz emisji szkodliwych gazów. Dla średniej pod względem wydajności wielkości pieca obrotowego wdrożenie przedstawionych wyżej innowacyjnych czystych technologii, pozwoli ograniczyć emisję dwutlenku węgla (przyjmując wskaźnik emisji CO<sub>2</sub> dla siłowni węglowej 0,8 kgCO<sub>2</sub>/kWh) o około 21000MgCO<sub>2</sub>/rok.

#### Literatura

1. Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries. 05.2010.
2. Duda J. : Paliwa alternatywne w przemyśle cementowym. Szkoła Gospodarki Odpadami, 2001. AGH oraz PAN. Kraków – Ryto, 2001.
3. Narayan V., Parlikar U.V., Anantharaman V.J.: Energy aspects of waste heat recovery systems, International Cement Review. Cement Plant Environmental. Handbook 2003, s. 133-134.
4. Harder J.: Trends in power generation from waste heat in cement plants. ZKG, No.5, 2011,s. 36-47.
5. GerickeB., Hansen O.: Integrierte Abwarmenutzung in Zementwerken. ZKG, No 5, 2000, s. 270-281.
6. Duczkowska –Kądziel A., Duda J.: Methods of increasing the electric power generated from waste heat in association with a rotary kiln, Heat Transfer and Renewable Sources of Energy HTRSE-2012, A.A. Stachel and D. Mikielewicz (Editors), Wydawnictwo Uczelniane ZUT w Szczecinie, 2012, s. 423-430.

Dr Anna Duczkowska-Kądziel,  
Dr hab. inż. Jerzy Duda, prof. PO,  
Mgr inż. Marek Wasilewski,  
Instytut Innowacyjności Procesów i Produktów  
Politechnika Opolska  
45-370 Opole, ul. Ozimska 75  
tel./fax: (0-77) 423 40 44  
e-mail: a.duczkowska-kadziel@po.opole.pl  
j.duda@po.opole.pl  
m.wasilewski@po.opole.pl