

---

**PRACE**

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Building Materials

---

**Nr 17**  
(kwiecień–czerwiec)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

**Rok VII**

**Warszawa–Opole 2014**

---

JERZY DUDA\*

# Nowe wyzwania wynikające z pakietu klimatyczno-energetycznego dla przemysłu materiałów budowlanych i ceramicznych

**Słowa kluczowe:** pakiet klimatyczno-energetyczny, emisja CO<sub>2</sub>, oszczędność energii.

Wysoka energochłonność przemysłu materiałów budowlanych i ceramicznych, wynikająca głównie z wysokotemperaturowych procesów wypalania, powoduje, że praktycznie większość działań innowacyjnych ukierunkowana jest na ograniczenie energochłonności i szkodliwego oddziaływania tych procesów na środowisko. Działalność ta jest zgodna z głównym celem klimatycznym Unii Europejskiej, tj. walką z globalnym ociepleniem, zawartym m.in. w pakiecie klimatycznym 3 x 20. Zgodnie z założeniami Komisji Europejskiej opublikowanymi w 2013 r. w *Zielonej księdze*, zakłada się zmianę obowiązującego do 2020 r. pakietu 3 x 20. W nowej propozycji dotyczącej polityki klimatyczno-energetycznej do 2030 r., Komisja Europejska ogranicza pakiet do dwóch celów, tj. redukcji gazów cieplarnianych o 40% oraz do 27% udziału odnawialnych źródeł energii w końcowym wytworzeniu energii. Założone ok. 40% ograniczenie emisji gazów cieplarnianych wymaga od przemysłu, który ze względu na proces technologiczny charakteryzuje się wysokimi emisjami CO<sub>2</sub>, poszukiwania nowych technik wytwarzania, które pozwolą zrealizować te cele. W artykule przedstawiono obecny stan realizacji pakietu 3 x 20 oraz możliwości (rezerwy techniczne i technologiczne) wypełnienia nowych obowiązujących po 2020 r. celów polityki klimatycznej.

## 1. Wprowadzenie

Przemysł mineralny, ze względu na masową produkcję i energochłonne procesy technologiczne, należy do szczególnie uciążliwych dla środowiska. Dotyczy to zwłaszcza produkcji cementu, wapna i materiałów ogniotrwałych – procesów, które wymagają wysokotemperaturowego wypalania. W związku z tym, większość działań innowacyjnych w tym przemyśle ukierunkowana jest na

---

\* Dr hab. inż., prof. PO, Politechnika Opolska, j.duda@po.opole.pl

ograniczenie energochłonności i szkodliwego oddziaływania tych procesów na środowisko. Działalność ta odpowiada głównemu celowi klimatycznemu Unii Europejskiej, zawartemu w pakiecie 3 x 20, jakim jest walka z globalnym ociepleniem. Cel 3 x 20, określony w 2007 r. przez Radę Europejską, zakłada osiągnięcie w 2020 r. następujących efektów:

- redukcję gazów cieplarnianych o 20% w porównaniu do 1990 r.,
- ograniczenie zużycia energii o 20%,
- 20% udział odnawialnych źródeł energii (OZE) w wytwarzaniu energii.

W ostatnich latach obserwuje się w kraju duże zaangażowanie przemysłu mineralnego w realizację zobowiązań wynikających z pakietu klimatyczno-energetycznego. Dotyczy to zwłaszcza przemysłu materiałów budowlanych i ceramicznych. Wdrożone w ostatnim okresie nowe, energooszczędne techniki przemiału i wypalania spowodowały to, że wskaźniki dotyczące zużycia paliw i energii oraz emisji szkodliwych gazów i pyłów w tym przemyśle, odpowiadają już najnowszym technologiom i wskaźnikom emisyjnym zdefiniowanym w BREF 2010 (BAT Referenc Dokument) [1]. Praktycznie tylko ograniczenie emisji dwutlenku węgla, który ze względu na znaczny udział w atmosferze, traktowany jest jako główny gaz odpowiedzialny za tzw. efekt cieplarniany, stanowi obecnie poważny problem dla przemysłu mineralnego, zwłaszcza cementowego.

## 2. Emisja CO<sub>2</sub> a przemysł mineralny

Polska w ramach Konwencji klimatycznej Narodów Zjednoczonych (Protokół z Kioto, 1997 r.) zobowiązała się do obniżenia emisji gazów cieplarnianych (*GHGs – greenhouse gases*) o 6% w stosunku poziomemu z 1988 r. (roku bazowego). Przemysł mineralny, który w latach 1990–2000 przeszedł generalną modernizację, nie miał praktycznie żadnych problemów z wypełnieniem tego limitu. Pierwsze trudności wystąpiły, kiedy Komisja Europejska, uwzględniając korzystne zmiany, jakie zaszły w wyniku tej restrukturyzacji w polskim przemyśle (powstałe rezerwy emisji CO<sub>2</sub>), zdecydowała się w 2005 r. ograniczyć przyznane Polsce limity. Praktycznie w ostatnich latach obserwuje się znaczny, stale postępujący, wzrost ograniczenia dopuszczalnych emisji gazów cieplarnianych. Jest to szczególnie niekorzystne dla przemysłu cementowego, gdzie duża część (ok. 60%) emisji dwutlenku węgla nie pochodzi ze spalania paliwa, ale z procesu technologicznego – dekarbonizacji wapieni, które należą do podstawowych surowców w produkcji cementu. Dzięki wykorzystaniu w procesie produkcji cementu paliw i surowców odpadowych z innych przemysłów lub odpadów komunalnych oraz znacznemu ograniczeniu zużycia paliwa i energii elektrycznej, przemysł ten wypełnia już w znacznym stopniu założenia pakietu 3 x 20. Dotyczy to zwłaszcza ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> oraz zużycia surowców i paliw kopalnych. Ograniczenie klinkieru w cemencie i zastąpienie go dodatka-

mi o właściwościach hydraulicznych, np.: żużłem wielkopieczowym, popiołami lotnymi z energetyki, pyłem krzemionkowym lub kamieniem wapiennym, pozwoli na znaczne obniżenie emisji CO<sub>2</sub>. W tabeli 1 przedstawiono przykładowo wpływ dodatków do cementu na redukcję dwutlenku węgla związanego z produkcją cementu [2].

T a b e l a 1

*Wpływ dodatków do cementu na redukcję CO<sub>2</sub>*

Rodzaj cementu	Emisja [kgCO <sub>2</sub> /kg cem.]	Udział dodatku [%]	Stopień redukcji CO <sub>2</sub> [%]
CEM I 32,5	0,81	0	0
CEM III/A 32,5	0,52	45	35
CEM II/A-V 32,5	0,60	20	25

Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Znaczne ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> można uzyskać obniżając energochłonność procesu wypalania klinkieru w wyniku modyfikacji składu fazowego klinkieru (ograniczenie alitu w klinkierze). Efektem energetycznym tego jest obniżenie temperatury syntezy klinkieru oraz jednostkowego zużycia ciepła.

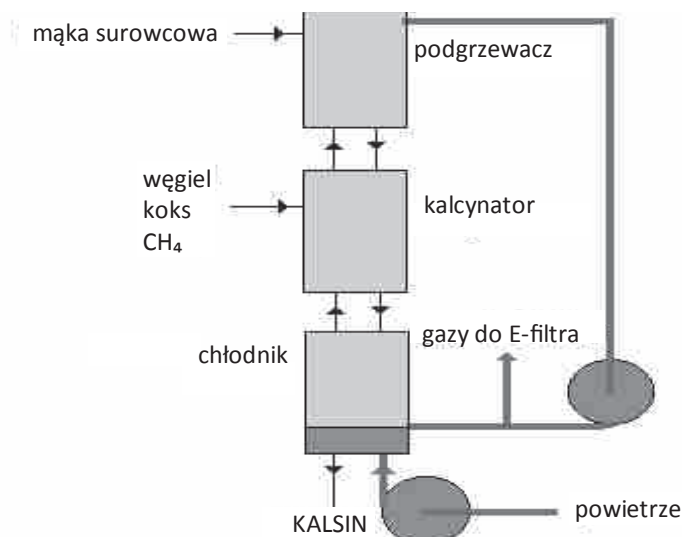
Nowym sposobem redukcji, jeszcze w przemyśle mineralnym niestosowanym, który pozwoli na ograniczenie zużycia paliwa i ograniczenie emisji szkodliwych gazów (CO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>) jest spalanie paliwa w powietrzu wzbogaconym w tlen (tzw. zeroemisyjny sposób spalania – oxyfuel). Zakłada się, że zastosowanie technologii oxyfuel pozwoli zredukować emisję CO<sub>2</sub> o ok. 4%.

O ile wypełnienie limitu dopuszczalnej emisji CO<sub>2</sub> o 20% do 2020 r. (zgodnie z pakietem) może zostać osiągnięte, problemem, przed którym stoi obecnie przemysł materiałów mineralnych jest spodziewane dalsze po 2020 r. obniżenie limitu. Jak wynika z propozycji zmian dotyczących pakietu klimatycznego, które zostały opublikowane przez Komisję Europejską w 2013 r. w *Zielonej księdze*, po 2020 r. zakłada się dalsze, znaczne ograniczenie emisji dwutlenku węgla. Nowa propozycja KE dotycząca polityki klimatyczno-energetycznej po 2020 r. ogranicza pakiet klimatyczny do dwóch celów, które mają zostać osiągnięte w roku 2030, tj. redukcji gazów cieplarnianych (CO<sub>2</sub>) o 40% oraz wzrostu do 27% udziału odnawialnych źródeł energii w końcowym wytworzeniu energii elektrycznej. Jest to zadanie nie do wykonania przez przemysł cementowy, który praktycznie wykorzystał już wszystkie rezerwy technologiczne. Uzyskiwane obecnie wskaźniki technologiczne w szeroko pojętym przemyśle materiałów mineralnych odpowiadają technologiom BAT i w związku z tym, dalsze technologiczne ograniczenie emisji jest już praktycznie niewykonalne. Wypełnienie założonych po roku 2020 dalszych ograniczeń emisji gazów cieplarnianych będzie wymagało poszukiwania nowych, innowacyjnych technik wytwarzania, charakteryzujących się niższymi, dopuszczalnymi emisjami CO<sub>2</sub>.

### 3. Nowe metody redukcji emisji CO<sub>2</sub>

Innowacyjne, energooszczędne techniki wypalania oraz wykorzystanie w procesie surowców odpadowych pozwoliło znacząco obniżyć emisję dwutlenku węgla. Jednak uzyskane efekty nie odpowiadają jeszcze założonym w pakiecie 3 x 20 limitom dopuszczalnej emisji gazów cieplarnianych. Jeszcze gorzej wygląda to przy uwzględnieniu nowych, proponowanych przez Komisję Europejską po 2020 r. limitów, dotyczących ograniczenia emisji CO<sub>2</sub>. Przy obecnym poziomie technicznym oraz stosowaniu węgla jako paliwa technologicznego, uzyskanie takiego stopnia redukcji gazów cieplarnianych możliwe będzie (podobnie jak jest to założone w energetyce zawodowej) poprzez wychwytywanie i magazynowanie CO<sub>2</sub> (zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/31/WE w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla); jest to tzw. system CCS (*Carbon Capture and Storage*). Jednak sposób ten jest nie tylko bardzo drogi inwestycyjnie i eksploatacyjnie, ale również bardzo skomplikowany logistycznie. Póki co, jest to sposób przyszłościowy, który będzie musiał być uwzględniony po wyczerpaniu innych możliwości. W artykule, na przykładzie wybranych, reprezentacyjnych pod względem energochłonności i uciążliwości dla środowiska procesów produkcji cementu i materiałów ogniotrwałych, przeprowadzono analizę możliwości wypełnienia nowych założeń pakietu klimatycznego, głównie pod kątem ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> oraz wykorzystania OZE.

Proces ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> w przemyśle mineralnym można sprowadzić do redukcji emisji ze spalania paliwa oraz z procesu dekarbonizacji surowców węglanowych. Przy obecnym wysokim (w wyniku modernizacji) poziomie technicznym tych procesów, które w większości przypadków charakteryzują się parametrami optymalnymi – teoretycznymi, dalsze obniżenie energochłonności i ograniczenie emisji szkodliwych gazów jest już nieopłacalne i trudne do zrealizowania. W związku z tym wymaga to poszukiwania innych rozwiązań, poza zasadniczym procesem technologicznym, które pośrednio pozwolą na ograniczenie szkodliwego oddziaływania tych procesów na środowisko. Jednym z takich sposobów jest wyprodukowanie zamiennika klinkieru o niższym module nasycenia (belitowego), który będzie charakteryzował się niższą temperaturą wypalania – ok. 1500 K i niższą emisją CO<sub>2</sub>. Na rycinie 1 przedstawiono schemat takiej techniki (tzw. technologia K-Tech), która bazuje na surowcach i paliwach odpadowych – ubogich w węglany.



Ryc. 1. Schemat instalacji K-Tech [4]

Jak wynika z danych literaturowych, wyprodukowany tą technologią spiek (tzw. Kalsin) jest zamiennikiem tradycyjnego klinkieru, który – zastosowany w cemencie – pozwala obniżyć, w porównaniu do cementu klasycznego o tych samych właściwościach, energochłonność cementu o ok. 300 kWh/Mg i dodatkowo znacznie obniżyć emisję  $\text{CO}_2$ . Klasyczny cement charakteryzuje się emisją na poziomie ok. 0,8 kg  $\text{CO}_2$ /kg kl., natomiast emisja cementu z wykorzystaniem Kalsinu wynosi ok. 0,3 kg  $\text{CO}_2$ /kg kl. [2, 4]. Jest to jedna z obiecujących nowych technik wytwarzania materiałów wiążących, spełniająca warunki pakietu 3 x 20 i przyszłych limitów emisji gazów cieplarniarnych. Obecne coraz ostrzejsze wymagania, dotyczące dopuszczalnych emisji oraz ograniczone już możliwości redukcji w tradycyjnych technikach wytwarzania, mogą być sprzymierzeńcem rozwoju tej technologii.

Jedną z nowych technik, które pośrednio ograniczają emisję  $\text{CO}_2$ , jest zagospodarowanie entalpii odpadowej z wysokotemperaturowych procesów technologicznych. W ostatnich latach, głównie za sprawą programu Unii Europejskiej dotyczącego polityki efektywnego gospodarowania surowcami i energią, zmieniło się podejście przemysłu materiałów budowlanych i ceramicznych do wykorzystania energii odpadowej. Jednym z priorytetowych działań w UE jest stworzenie zrównoważonego systemu energetycznego. Ważnym działaniem w gospodarce krajowej, które odpowiada polityce zrównoważonego rozwoju energetycznego, jest m.in.: zwiększenie w procesie produkcji przemysłowej udziału odnawialnych i alternatywnych źródeł energii, poprawa efektywności energetycznej oraz przeciwdziałanie zmianom klimatycznym. Efekty te można uzyskać m.in. dzięki wtórnemu wykorzystaniu energii odpadowej z procesu produkcyjnego. Zarówno przemysł cementowy, jak i materiałów ogniotrwałych, w których jednym z podstawowych są wysokotemperaturowe procesy wypalania, charakteryzują się wysokimi stratami ciepła odpadowego. W procesie wypalania klinkieru stratę ciepła odpadowego stanowią:

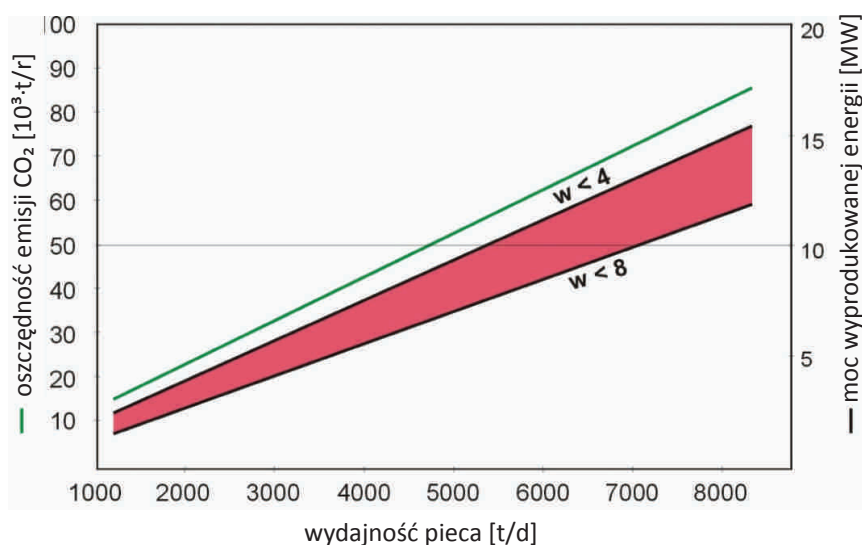
- entalpia gazów odlotowych,
- entalpia powietrza nadmiarowego z chłodnika klinkieru,
- promieniowanie i konwekcja gorących powierzchni pieca.

Powszechnym dotychczas w przemyśle cementowym sposobem zagospodarowania ciepła odpadowego (zwłaszcza entalpii gazów odlotowych i powietrza nadmiarowego) jest wykorzystanie go do suszenia surowców, węgla i żużla. Jednak ze względu na coraz niższą wilgotność surowców i węgla, jest to w wielu przypadkach sposób niewystarczający. W związku z tym celowe jest poszukiwanie innych metod wykorzystania tego ciepła. Nowoczesne instalacje wytwarzania energii elektrycznej, tzw. WHR (*Waste Heat Recovery*), stosowane w przemyśle cementowym, zabezpieczają już ponad 30% zapotrzebowania na energię elektryczną przez cementownię [3]. Wytwarzanie energii elektrycznej w cementowni z odpadowej energii cieplnej z pieca obrotowego może zostać zrealizowane za pomocą:

- klasycznego obiegu parowego (cykl Clausiusa-Rankine'a),
- organicznego cyklu Rankine'a (ORC),
- cyklu Kaliny,
- innych rozwiązań wywodzących się z cyklu Rankine'a, jak np. instalacje z parowym silnikiem śrubowym.

Liderem światowym we wdrażaniu układów kogeneracyjnych WHR w przemyśle cementowym jest japońska firma Kawasaki Heavy Industries (KHI). Średni odzysk energii w nowych układach kogeneracyjnych w cementowniach wynosi ok. 32–45 kWh/tkl. W ostatnich latach obserwuje się duże zainteresowanie tymi technologiami w przemyśle światowym, zwłaszcza w krajach azjatyckich. Przewiduje się, że do 2020 r. w światowym przemyśle cementowym zostanie wykonanych ok. 1600 instalacji WHR o łącznej mocy elektrycznej ponad 15 GW [5]. Uzasadnieniem wykorzystania ciepła odpadowego do wytworzenia energii elektrycznej, oprócz efektów ekonomicznych, jest efekt ekologiczny, który wynika z pośredniego ograniczenia emisji CO<sub>2</sub>. Energia elektryczna wyprodukowana w elektrowni zawodowej z wykorzystaniem węgla (tzw. czarna energia), powoduje emisję ok. 0,8 kgCO<sub>2</sub>/kWh. Natomiast wyprodukowanie energii elektrycznej z wykorzystaniem procesowego ciepła odpadowego można traktować jako tzw. czystą energię – zeroemisyjną, bez dodatkowego szkodliwego oddziaływania na środowisko. W związku z tym, każda wyprodukowana kWh energii z wykorzystaniem procesowego ciepła odpadowego ogranicza pośrednio emisję odpowiadającą ok. 0,8 kg CO<sub>2</sub>.

Na rycinie 2 przedstawiono możliwe do uzyskania w układach WHR moce wytwarzanej energii oraz wynikający z tego efekt ograniczenia emisji CO<sub>2</sub>, w zależności od wydajności pieca i wilgotności surowców.



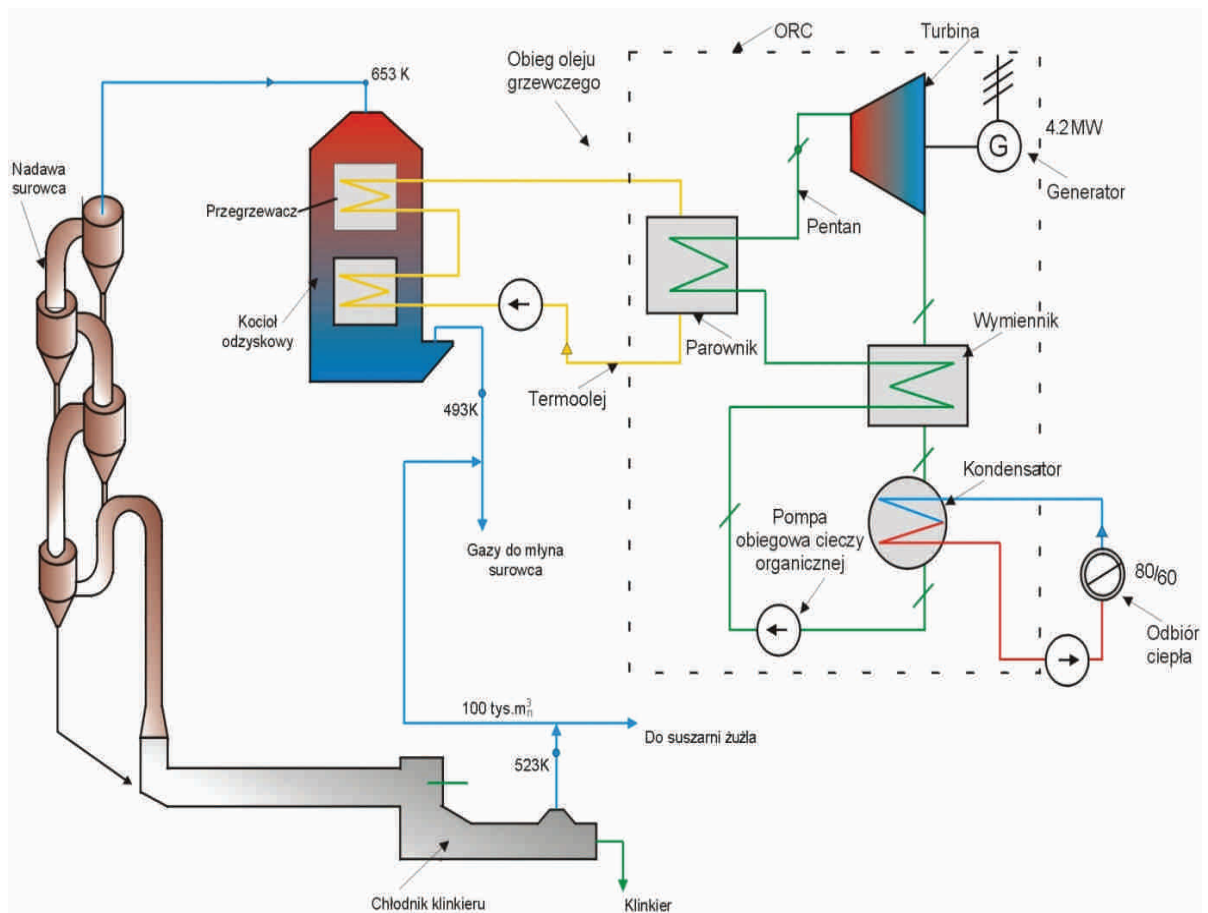
Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 2. Moc wytwarzanej energii elektrycznej w zależności od wydajności pieca i wilgotności surowców

Ograniczeniem dla skojarzenia procesu wypalania klinkieru z układem C-R jest zapotrzebowanie ciepła do suszenia surowców i paliwa, ze względu na ich wysoką wilgotność. W warunkach krajowych, gdzie wymagane jest praktycznie zawsze suszenie zarówno surowców, których wilgotność złożowa wynosi ok. 7–10% oraz węgla o podobnej zawartości wody, takie rozwiązanie jest niemożliwe. W związku z tym wymagane jest inne rozwiązanie, które oprócz zabezpieczenia ciepła do wysuszenia surowców i paliwa, pozwoli jeszcze wyprodukować czystą energię elektryczną. Nowe, niskotemperaturowe techniki wytwarzania energii elektrycznej w oparciu o układy ORC (*Organic Rankine's Cycle*) lub obieg Kaliny, w których wodę zastąpiono cieczami organicznymi (np. izopentan lub izobutan) lub mieszaniną wody i amoniaku ( $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ ), stworzyły warunki do kompleksowego wykorzystania procesowego ciepła odpadowego zarówno do wytwarzania energii elektrycznej, jak i w procesach technologicznych – suszenia.

Na rycinie 3 przedstawiono jeden ze sposobów wykorzystania ciepła odpadowego w układzie skojarzonym, gdzie oprócz wyprodukowania energii elektrycznej zabezpiecza się ciepło w procesach suszenia surowca i paliwa.

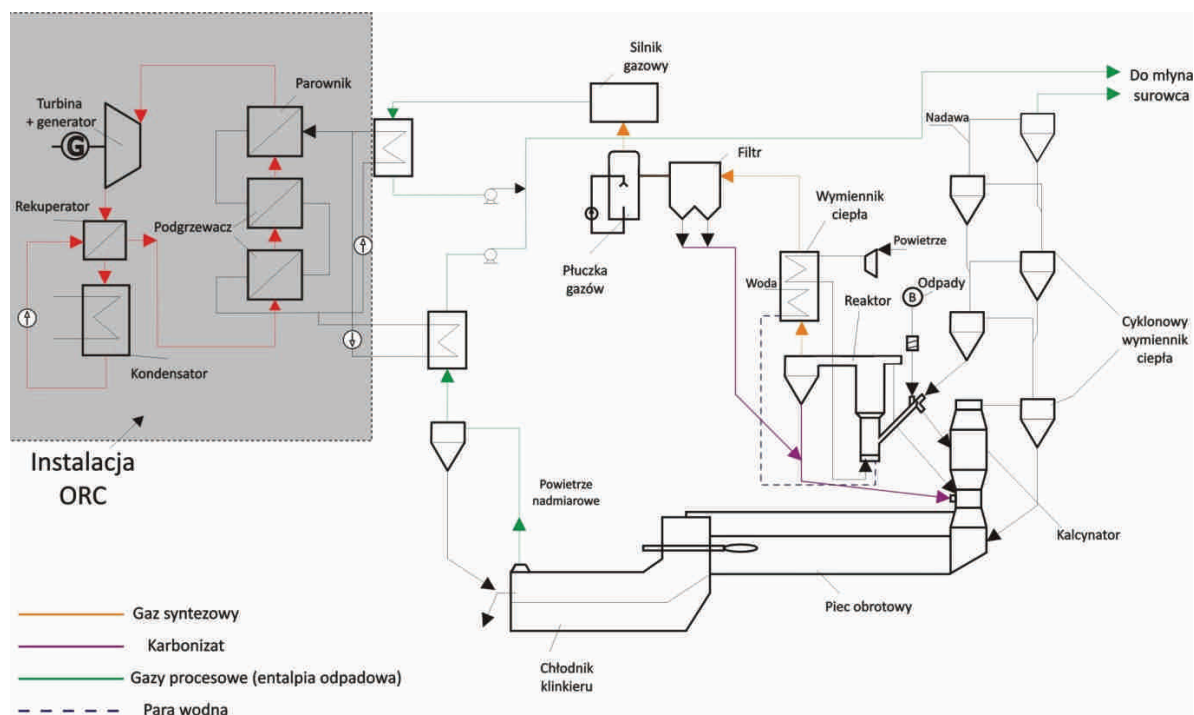




Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 3. Przykład kompleksowego wykorzystania entalpii odpadowej z pieca obrotowego do wypalania klinkieru cementowego

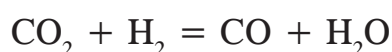
Nowy, oryginalny sposób nadbudowy pieca obrotowego układem kogeneracyjnym, który w pełni odpowiada celom pakietu klimatyczno-energetycznego 3 x 20, przedstawiono na rycinie 4. Oprócz zwiększenia efektywności energetycznej oraz wykorzystania źródeł odnawialnych (biomasa, odpady), dodatkowo, pośrednio, uzyskano ograniczenie emisji dwutlenku węgla, wykorzystując wytworzony syngaz oraz entalpię powietrza nadmiarowego z chłodnika do wytworzenia energii elektrycznej.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 4. Schemat nadbudowy pieca obrotowego układem kogeneracyjnym WHR-ORC oraz układem gazowym

Wytworzenie gazu – zgazowanie odpadów – przeprowadzone jest w reaktorze ze złożem cyrkulującym z wykorzystaniem gorącej mąki surowcowej w atmosferze  $\text{CO}_2$ . Wysoka temperatura mąki i powstały w procesie dekarbonizacji dwutlenek węgla stwarzają korzystne warunki do pirolizy odpadów i endotermicznej reakcji Boudouarda:



W wyniku tej reakcji nastąpi wzrost zawartości tlenu węgla w wytworzonym gazie, kosztem redukcji  $\text{CO}_2$ . Otrzymany w reaktorze gaz (surowy) częściowo wykorzystany może zostać bezpośrednio w procesie dekarbonizacji, natomiast po schłodzeniu i oczyszczeniu z pyłów i frakcji smolistych zostanie wykorzystany w silniku gazowym, sprzężonym z generatorem prądu. Powstały w procesie zgazowania odpadów karbonizat, wraz z mąką, wprowadzony zostaje do pieca, gdzie ulega spaleni, natomiast powstały popiół wchodzi w skład klinkieru.

Ciepło odpadowe z silnika gazowego i z pieca obrotowego (entalpia powietrza nadmiarowego) są następnie wykorzystane w układzie WHR-ORC do wytworzenia energii elektrycznej o znacznie wyższej mocy. Natomiast w procesie suszenia surowców wykorzystuje się entalpię gazów odlotowych z pieca obrotowego, która może być wspomagana gazami z układu WHR.

Przedstawione uprzednio sposoby skojarzenia procesu wypalania klinkieru w piecu obrotowym z wytwarzaniem energii elektrycznej, mogą być wykorzystane również w innych wysokotemperaturowych procesach technologicznych wypalania. Przykładem takich technologii jest np. wypalanie ceramiki w piecach tunelowych. Z uwagi jednak na znacznie niższą entalpię gazów odlotowych z pieca tunelowego (niższa temperatura i ilość gazów odlotowych), moc wytwarzanej energii elektrycznej będzie mniejsza od tej, którą można uzyskać z entalpii gazów odlotowych z cementowego pieca obrotowego. Jednym z istotnych czynników, oprócz nakładów inwestycyjnych, który decyduje o opłacalności takiego rozwiązania, są koszty eksploatacyjne związane z obsługą i konserwacją układu WHR. Praktycznie koszty te są stałe, niezależnie od wytwarzanej mocy w układzie kogeneracyjnym. Dla układów wykorzystania ciepła odpadowego niskiej mocy, koszty stałe stanowią znaczny udział po stronie wydatków, co w porównaniu z uzyskiwanymi efektami powoduje, że wskaźniki dynamiczne, charakteryzujące opłacalność takiej inwestycji, jak: NPV (wartość bieżąca netto) i IRR (wewnętrzna stopa zwrotu) oraz czas zwrotu nakładów ( $> 10$  lat), nie zachęcają do realizacji takiego rozwiązania. Warunkiem uzyskania korzystniejszego NPV i IRR jest zwiększenie mocy wytwarzanej energii elektrycznej.

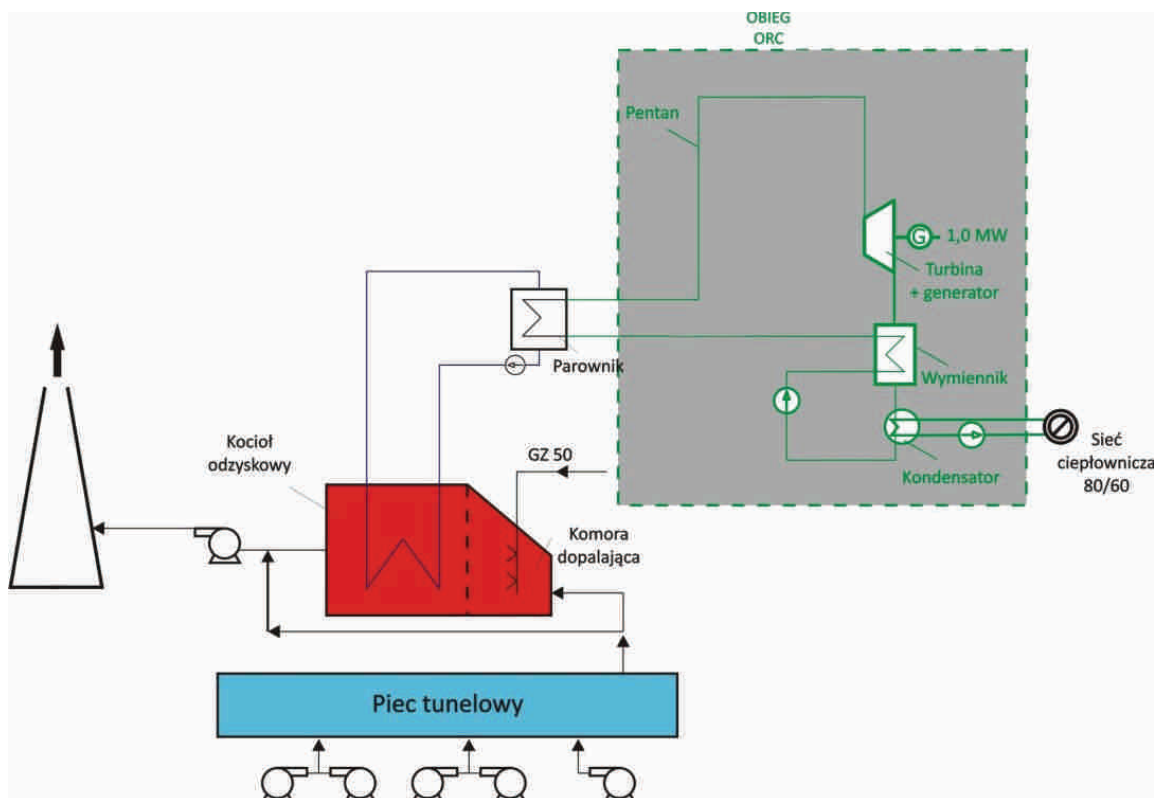
Na przykładzie typowego pieca tunelowego do wypalania materiałów ogniotrwałych przedstawiono sposób takiego rozwiązania. Przykładowa analiza dotyczy pieca o długości 156 m, który opalany jest gazem ziemnym GZ50. Jednostkowe zużycie ciepła wynosi ok. 4200 kJ/kg produktu. Jak wynika z danych eksploatacyjnych i bilansowych pieca, zasadniczą stratę ciepła stanowi entalpia gazów odlotowych, których średnia temperatura wynosi ok. 500 K [6]. Aby poprawić sprawność tego procesu, entalpia gazów odlotowych wykorzystana jest w kotle odzyskowym o nominalnej mocy 1 MW do produkcji ciepłej wody użytkowej na potrzeby zakładu. Ze względów technologicznych, dla zabezpieczenia wymaganego rozkładu temperatury w piecu, wydzielona jest część gazów odlotowych (ok. 5000 Nm<sup>3</sup>/h) jako tzw. by-pass kotła, natomiast reszta gazów (ok. 30 000 Nm<sup>3</sup>/h) skierowana jest do kotła odzyskowego. Zakładana teoretycznie całkowita moc strumienia energii odpadowej po wprowadzeniu drobnych usprawnień (wyeliminowanie fałszywego powietrza), wynosi ok. 2,35 MW. Nadbudowując piec tunelowy układem kogeneracyjnym ORC o sprawności ok. 15%, będzie można uzyskać moc netto na poziomie 300 kW, lub za pomocą sprawniejszego obiegu Kaliny ok. 350 kW. Szacunkowy koszt takiej nadbudowy to ok. 11 mln zł [6]. Stosunkowo niska moc oraz wysokie nakłady inwestycyjne i eksploatacyjne powodują, że jest to rozwiązanie nieefektywne i w związku z tym nie znalazło większego zainteresowania. Efektywność wykorzystania ciepła odpadowego można znacznie poprawić, zwiększając moc wytworzonej energii elektrycznej.

Wspólną cechą zakładów ceramicznych jest opalenie pieców tunelowych gazem. Istniejąca infrastruktura gazowa sprzyja stosunkowo taniemu wykorzystaniu

gazu do zwiększenia ilości wyprodukowanej energii. Podobnie jak w energetyce zawodowej, gdzie coraz większą popularność zyskały układy gazowo-parowe, można również tutaj, na wzór tych rozwiązań, zastosować układ gazowy sprzężony z układem WHR. Jako instalację gazową można zastosować silnik gazowy lub – dla większych mocy – turbinę gazową. Ciepło odpadowe z układu gazowego wspólnie z gazami odlotowymi z pieca tunelowego doprowadzone zostaną do olejowego kotła odzyskowego współpracującego z instalacją ORC.

W zależności od zapotrzebowania mocy elektrycznej w zakładzie (moc zainstalowana), można dobrać moc układu gazowego, który wspólnie z mocą układu WHR, pracującego na entalpii gazów odlotowych z pieca tunelowego i z turbiny lub silnika gazowego, pozwoli uzyskać wymaganą moc końcową. Jest to rozwiązanie drogie, ale pozwalające całkowicie zabezpieczyć zakład i jego otoczenie w energię elektryczną oraz ciepłą wodę na cele grzewcze i socjalne. Celowym jest zastosowanie tutaj tzw. polikogeneracji, która w okresie letnim pozwoli wykorzystać ciepło z kondensatora do produkcji wody lodowej na cele klimatyzacyjne, dla pomieszczeń szczególnie narażonych na wysokie temperatury, co w przemyśle ceramicznym jest bardzo uciążliwe. Dodatkowym argumentem przemawiającym za takim rozwiązaniem jest to, że zakłady ceramiczne ulokowane są zazwyczaj w małych miejscowościach i praktycznie to jedyny większy zakład w okolicy. W związku z tym, nadmiar mocy elektrycznej i ciepłej wody będzie bez problemu sprzedawany w danej gminie po cenach konkurencyjnych. Efekt ekonomiczny i ekologiczny takiego rozwiązania jest wówczas pewny. Uwzględniając, że takie rozwiązanie jest zgodne z dyrektywą unijną, dotyczącą rozwoju energetyki rozproszonej i układów kogeneracyjnych, istnieje duża szansa na dofinansowanie go z funduszy unijnych, co znacznie poprawi efektywność takiej realizacji. Rozwiązaniem tańszym, ale również znacznie poprawiającym efektywność wykorzystania entalpii gazów odlotowych z pieca tunelowego jest nadbudowa istniejącego kotła odzyskowego komorą dopalającą wyposażoną w dodatkowy palnik gazowy. Jak wynika z pomiarów kontrolnych, gazy z pieca tunelowego zawierają znaczne ilości tlenu, który można będzie wykorzystać do spalania dodatkowego gazu, w celu zwiększenia strumienia energii do wykorzystania w instalacji WHR.

Jak wynika z danych pomiarowych wykonanych w czasie audytu pieca, temperatura gazów z pieca charakteryzuje się dużą zmiennością wynikającą z technologii (okresowe zmniejszanie ilości spalanego gazu) [6]. Dodatkowe palenisko w kotle odzyskowym pozwoli wyeliminować to zjawisko i ustabilizować pracę kotła, co pozytywnie wpłynie na pracę układu WHR oraz pieca. Na rycinie 5 przedstawiono układ rozbudowy istniejącego kotła odzyskowego o komorę dopalającą, wyposażoną w dodatkowy palnik.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 5. Schemat nadbudowy pieca tunelowego układu WHR-ORC

Dzięki dostarczeniu dodatkowego ciepła do kotła odzyskowego, będzie można zwiększyć moc wytwarzanej energii, co pozwoli na poprawę wskaźników efektywności. Wydaje się, że w warunkach tego pieca, taką mocą jest 1 MWe i ok. 2,5 MWt. Ważną zaletą rozwiązania WHR-ORC jest praktycznie stała sprawność ORC, niezależnie od zmian obciążenia. Pozwala to dopasować moc wytwarzanej energii do potrzeb zakładu w bardzo szerokim zakresie zmian, bez strat wynikających ze spadku sprawności.

## 4. Podsumowanie

Coraz ostrzejsze limity dopuszczalnej emisji gazów cieplarnianych wymagają poszukiwania nowych technik wytwarzania, pozwalających spełniać te wymagania. Przemysł mineralny, a zwłaszcza produkcja cementu i ceramiki, ze względu na wysokotemperaturowe procesy wypalania i znaczną emisję CO<sub>2</sub> „surowcowa”, wymagają szczególnego podejścia do problemu ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Dotyczy to zwłaszcza planowanego po 2020 r. dalszego ograniczenia dopuszczalnej emisji dwutlenku węgla. Dzięki nowym technologiom, które zostały w ostatnich latach wdrożone w przemyśle i które spełniają wymagania najnowszego BREF z 2010 r., technologiczne ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> jest już

praktycznie niemożliwe. Szansą dla przemysłu cementowego jest ograniczenie zużycia klinkieru w cemencie, kosztem spoiwa o właściwościach zbliżonych do tradycyjnego klinkieru, wyprodukowanego energooszczędną technologią z materiałów odpadowych, ubogich w wapnienie. Inną pośrednią metodą ograniczenia CO<sub>2</sub> jest wyprodukowanie własnej tzw. czystej energii, wykorzystując do tego procesowe ciepło odpadowe. Każda wyprodukowana 1 kWh czystej energii z ciepła odpadowego odpowiada ograniczeniu emisji ok. 0,8 kg CO<sub>2</sub>, z którą związane jest wyprodukowanie 1 kWh energii w elektrowni węglowej. Zarówno w przemyśle cementowym, jak i materiałów ogniotrwałych istnieją duże szanse nadbudowy technologii wypalania w piecu obrotowym i tunelowym układami kogeneracyjnymi. Nowe organiczne techniki ORC pozwalają na wykorzystanie w bardzo szerokim zakresie niskotemperaturowego ciepła odpadowego do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła na cele ogrzewania i klimatyzację.

## Literatura

- [1] BREF 2010 Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries, May 2010, European Commission, [www.cembureau.be](http://www.cembureau.be) (2.02.2014).
- [2] D u d a J., *Energooszczędne i proekologiczne techniki wypalania klinkieru cementowego*, „Prace Instytutu Mineralnych Materiałów Budowlanych” 2004, wyd. spec.
- [3] D u d a J., *Methods for utilization of waste heat from the clinker burning process*, [w:] *Proceedings of the XIIth International Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy*, eds. J. Mikielwicz, W. Nowak, A.A. Stachel, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2008, s. 435–441,
- [4] P a l i a r d M., *High Energy Savings through the Use of a New High – Performance Hydraulic Component – The K-Process*, „Thermie” 1992, s. 457–468.
- [5] H a r d e r J., *Trends in power generation from waste heat in cement plants*, „Zement, Kalk, Gips” 2011, No. 5, s. 36–47.
- [6] Wstępny projekt nadbudowy prototypowym układem kogeneracyjnym instalacji pieca tunelowego w Zakładach Magnezytowych „ROPCZYCE” S.A., Sprawozdanie nr 4B003P13, ICiMB, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu, Opole 2013.

JERZY DUDA

NEW CHALLENGES FOR CERAMIC AND BUILDING MATERIAL  
INDUSTRY RESULTING FROM CLIMATE AND ENERGY PACKAGE

**Keywords:** climate and energy package, emission of CO<sub>2</sub>, energy savings.

High energy consumption of ceramic and building material industry resulting mainly from high-temperature burning processes causes that virtually most innovative actions are aimed at the reduction of energy consumption and harmful environmental impact of these processes. This activity corresponds

to main European Union climate goal, which is the fight against global warming presented in Package 3 x 20. According to EC assumptions published in 2013 in Green Book, the „20–20–20” package in force to 2020 will be changed. In the new proposal on climate and energy policy to year 2030, European Commission limits package to two goals, i.e. reduction of greenhouse gases by 40% and increase of RES share in final energy consumption to 27%. Set 40% reduction of greenhouse gas emission requires from industries, which due to the technological process have high emission levels of CO<sub>2</sub>, to search for new production techniques that would allow to meet these goals. This paper presents current status of implementation of main directions of „20–20–20” and possibilities (technical and technological reserves) of satisfying new goals of climate policy in force from 2020.