

Jerzy DUDA<sup>1</sup>  
Mariusz KOŁOSOWSKI<sup>2</sup>  
Jacek TOMASIAK<sup>3</sup>

## EKOLOGICZNE I TECHNOLOGICZNE UWARUNKOWANIA DZIAŁALNOŚCI INNOWACYJNEJ W PRZEMYSŁE MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

W artykule, na przykładzie przemysłu cementowego w Polsce, który zaliczany jest obecnie do najnowocześniejszych w Europie, przedstawiono wybrane działania innowacyjne. Liczba innowacyjnych rozwiązań i zakres ich zastosowań, pozwalają na stwierdzenie, że działalność innowacyjna w krajowym przemyśle cementowym jest praktycznie procesem ciągłym. Wynika ona z potrzeb ekonomicznych, a w ostatnich latach z konieczności ograniczenia szkodliwego oddziaływania na środowisko. Przemysł cementowy, ze względu na wysokotemperaturowy proces wypalania klinkieru i znaczny udział energochłonnych procesów przemiatu, należy do grupy przemysłów szczególnie energochłonnych i uciążliwych dla środowiska naturalnego. W związku z tym, ważnym czynnikiem pobudzającym działalność innowacyjną jest ograniczenie energochłonności i szkodliwego oddziaływania procesu produkcji cementu na środowisko naturalne. Działalność taka jest zgodna z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2001/77/WE oraz Pakietem Klimatycznym 3x20. Przemysł cementowy w Polsce w wyniku prowadzonej dotychczas działalności innowacyjnej spełnia już praktycznie wszystkie normy emisyjne, zgodnie z Dyrektywą IPPC. W związku z tym dalsza działalność ekologiczna, która wynika z zapowiadanych po roku 2020 znacznie ostrzejszych ograniczeniach dopuszczalnych emisji, wymaga zastosowania nowych, innowacyjnych technik. Ze względu na wykorzystane już praktycznie technologiczne możliwości ograniczenia energochłonności, jedyną szansą jest poszukiwanie pośrednich metod wykorzystania procesowego ciepła odpadowego z procesu wypalania klinkieru cementowego lub dalsze ograniczenie tradycyjnego klinkieru w cemencie. Na przykładzie wybranego procesu technologicznego w cementowni, przedstawiono strategię innowacyjną i sposób jej realizacji oraz uzyskane efekty ekonomiczne i ekologiczne.

**Słowa kluczowe:** innowacje, piec obrotowy, gazy cieplarniane, zarządzanie innowacjami, internalizacja kosztów.

---

<sup>1</sup> Dr hab. inż. Jerzy Duda, prof. PWSZ, Instytut Zarządzania, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nysie, 48-300 Nysa, ul. Armii Krajowej 7, e-mail: jerzy.duda@pwsz.nysa.pl

<sup>2</sup> Dr inż. Mariusz Kołosowski, Instytut Zarządzania, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nysie, 48-300 Nysa, ul. Armii Krajowej 7, e-mail: mariusz.kolosowski@pwsz.nysa.pl

<sup>3</sup> Mgr inż. Jacek Tomasiak, Instytut Zarządzania, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nysie, 48-300 Nysa, ul. Armii Krajowej 7, e-mail: jacek.tomasiak@pwsz.nysa.pl

## 1. WPROWADZENIE

Przemysł materiałów budowlanych, a zwłaszcza produkcja cementu, należy do grupy przemysłów energochłonnych, uciążliwych dla środowiska naturalnego. Zagadnienia dotyczące ograniczenia zużycia energii i emisji niebezpiecznych gazów oraz wykorzystanie odpadów w procesie produkcji cementu, stały się podstawowymi celami przemysłu, dotyczącymi działań na rzecz zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska. W związku z tym, działalność innowacyjna w przemyśle cementowym ukierunkowana została głównie na efektywność energetyczną i ekologię. W zależności od istniejącej technologii produkcji w cementowni, stanu technicznego urządzeń oraz możliwości finansowych, zakres modernizacji był różny, ale praktycznie wszystkie wdrożenia, ze względu na nowości technologiczne, produktowe i organizacyjne, odpowiadały działalności innowacyjnej. Dzisiaj, kiedy praktycznie wyczerpane zostały już technologiczne możliwości poprawienia efektywności produkcji cementu, poszukuje się nowych innowacyjnych technik, które pośrednio pozwolą na uzyskanie efektów ekonomicznych i ekologicznych. Przykładem takich rozwiązań jest np. nadbudowa procesu wypalania układem WHR (*Waste Heat Recovery*).

Innowacyjność pochodzi od słowa łacińskiego *innovatio* – odnowienie, które można tłumaczyć jako tworzenie czegoś nowego czy zmiany istniejącego rozwiązania. Pojęcie innowacji do nauk ekonomicznych wprowadził J.A. Schumpeter<sup>4</sup>. Od czasu pierwszej definicji innowacji, pojęcie to na przestrzeni lat ulegało licznym zmianom, od czystej technicznej interpretacji do ekonomicznej i społecznej.

W praktyce inżynierskiej oraz w języku potocznym, pojęcie innowacji kojarzone jest z działalnością techniczną, dotyczącą nowych lub istotnie ulepszonych produktów i procesów. Obowiązująca obecnie w krajach OECD i UE definicja, zgodnie z Podręcznikiem Oslo Manual, obejmuje wdrożenie nowego lub istotnie ulepszanego produktu, procesu, nowej metody marketingowej lub nowej organizacji miejsca pracy<sup>5</sup>. W badaniach innowacyjności ogranicza się ten zakres praktycznie do innowacji technicznych, tzw. TPPI (*Technological Product and Process Innovations*), obejmujących nowe lub istotnie ulepszone produkty i procesy.

Ważnym czynnikiem rozwoju innowacyjności w przedsiębiorstwie jest odpowiednia atmosfera do wdrażania nowych rozwiązań oraz kreatywna kadra kierownicza i techniczna. Z działalności innowacyjnej wynika szereg korzyści dla organizacji, oprócz efektów ekonomicznych i ekologicznych, zabezpiecza ona:

- przed utratą pozycji i zaufania klientów;
- przed stagnacją;
- możliwość opanowania nowych obszarów rynku.

## 2. DZIAŁALNOŚĆ INNOWACYJNA W PRZEMYŚLE CEMENTOWYM

Działalność innowacyjną w przemyśle cementowym można rozpatrywać jako typową innowacyjność TPP. Większość innowacyjnych rozwiązań jest wynikiem dostosowania istniejących technologii do nowych norm i ograniczeń wynikających z Dyrektyw Unij-

---

<sup>4</sup> J.A. Schumpeter, *Teoria rozwoju gospodarczego*, Warszawa 1960, s. 104.

<sup>5</sup> Oslo Manual, *Guidelines for Collecting and interpreting Technological Innovation Data*, OECD, 2008, s. 49.

nych. Zarówno Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2001/77/WE oraz Pakiet Klimatyczno-Energetyczny 3x20<sup>6</sup>, który zobowiązuje kraje UE do osiągnięcia w roku 2020:

- ograniczenia energochłonności o 20% w stosunku do roku 1990;
  - zwiększenia do 20% udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w wytwarzaniu energii pierwotnej (Polska została zobowiązana do 15-procentowego udziału);
  - ograniczenia o 20% emisji gazów cieplarnianych (CO<sub>2</sub>);
- wymuszają zmianę podejścia do problemu energochłonności i ochrony środowiska.

Już w roku 1990 opublikowano pierwsze przepisy BAT (*Best Available Techniques* – najlepsze dostępne techniki) dla przemysłu cementowego zawierające wykaz dostępnych najlepszych technik. Wraz z rozwojem nowych innowacyjnych rozwiązań, dokument ten jest stale uaktualniany. Obowiązująca obecnie wersja, to nowa z kwietnia 2013 roku BREF<sup>7</sup> (*BAT Reference Document* – najlepsze dostępne techniki niepowodujące nadmiernego wzrostu kosztów, przeciwdziałające lub zmniejszające zanieczyszczenie powietrza) dla przemysłu cementowego, który uwzględnia pośrednie metody obniżenia energochłonności i emisji szkodliwych gazów, zdefiniowanych w Dyrektywie IPPC (*Integrated Pollution Prevention Control* – zintegrowanego zapobiegania i ograniczania zanieczyszczeń)<sup>8</sup>. Działalność taka, zgodnie z polityką efektywnego gospodarowania paliwami i energią oraz zrównoważonego rozwoju, ukierunkowana jest głównie na:

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

Przemysł cementowy w Polsce należy obecnie do najnowocześniejszych w Europie. Osiągnięcie takiego poziomu technicznego jest wynikiem działalności innowacyjnej, jaka miała miejsce po latach 80. ubiegłego wieku. Korzyści ekonomiczne i ekologiczne z działalności innowacyjnej przeprowadzonej pod koniec XX wieku i zdobyte doświadczenia z wdrożeń spowodowały, że obecnie proces ten jest stale obecny w przemyśle cementowym. Świadczą o tym rosnące nakłady inwestycyjne na zakup nowych innowacyjnych technik oraz wysoki poziom techniczny i organizacyjny cementowni. Zakłady cementowe w Polsce należą do wiodących w kraju pod względem wdrożonych rozwiązań innowacyjnych. O efektach działalności innowacyjnej świadczą wskaźniki techniczne i ekologiczne. Efekty z działalności innowacyjnej w tym okresie przedstawiono na rys. 1.

Jeszcze pod koniec lat 70. ubiegłego wieku energochłonność przemysłu cementowego w Polsce była o ponad 50% wyższa od energochłonności przemysłu cementowego w krajach rozwiniętych (Europy Zachodniej). Podobnie było ze szkodliwym oddziaływaniem na środowisko, gdzie emisja pyłowa w naszych cementowniach przekraczała znacznie normy obowiązujące w państwach zachodnich.

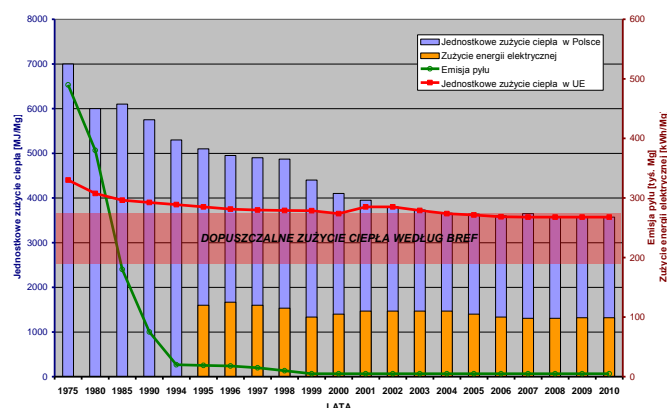
Kryzys energetyczny w latach 80. i wynikające z tego ograniczenia dostaw paliw i energii do zakładów cementowych, spowodowały znaczny spadek produkcji cementu,

<sup>6</sup> Rada UE w dniach 8–9 marca 2007 roku przyjęła nowe założenia dotyczące przeciwdziałania zmianom klimatycznym, Pakiet Klimatyczny.

<sup>7</sup> BREF 2013, *Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries*, European Commission, April 2013, [www.cembureau.be](http://www.cembureau.be)

<sup>8</sup> Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych, Dz. Urz. UE. 17.12.2010.

który i tak należał do najniższych (zużycie cementu na mieszkańca) w Europie. W związku z tym, w celu uzyskania wzrostu produkcji cementu, obniżenia energochłonności procesu i szkodliwego wpływu na środowisko, wymagana była głęboka jego restrukturyzacja. Niezależnie od rodzaju produkowanego cementu, ponad 50% kosztów energii i szkodliwej dla środowiska emisji, związana jest z procesem wypalania klinkieru.



Rys. 1. Wpływ modernizacji przemysłu cementowego na zużycie ciepła i emisję pyłową

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Stowarzyszenia Producentów Cementu.

W związku z tym jest to proces, na którym głównie skupia się działalność innowacyjna. Realizacja tego zadania w różnych okresach miała różne priorytety. W pierwszym okresie działalność innowacyjna koncentrowała się głównie na ograniczeniu produkcji klinkieru energochłonną metodą mokrą i wdrażaniu nowych energooszczędnych technologii wypalania metodą suchą.

Jak wynika z przedstawionych na rys. 1 danych eksploatacyjnych przemysłu cementowego w Polsce, spełnia on już praktycznie aktualne standardy BREF. Emisja pyłów, która jeszcze niedawno decydowała o negatywnym wizerunku przemysłu cementowego, została ograniczona praktycznie do minimum. Wzrost produkcji cementu, obniżenie energochłonności i ograniczenie szkodliwego oddziaływania na środowisko, uzyskano dzięki wyeliminowaniu produkcji klinkieru metodą mokrą, która obecnie stanowi niecałe 2% produkcji w kraju. A jeszcze pod koniec lat 80. ubiegłego stulecia udział metody mokrej wynosił ponad 60%. Ograniczenie produkcji metodą mokrą polegało na przebudowie pieców obrotowych na metodę suchą lub na fizycznej likwidacji cementowni mokrych. Działalność taka, bez większych strat produkcji, możliwa była dzięki znacznemu wzrostowi wydajności, jaki uzyskano wdrażając nowe, innowacyjne techniki wypalania w cementowniach pracujących metodą suchą.

Pomimo korzystnych zmian, jakie można zaobserwować w ostatnich latach, przemysł ten, ze względu na masową produkcję i wynikające z tego wysokie zużycie paliwa – pyłu węglowego, charakteryzuje się jeszcze niekorzystnym wpływem na środowisko naturalne. W związku z tym, problem poprawy efektywności energetycznej i ograniczenia szkodli-

wego oddziaływania na środowisko jest ciągle aktualny w działalności innowacyjnej w przemyśle cementowym.

### 3. INNOWACYJNE TECHNIKI WYPALANIA KLINKIERU CEMENTOWEGO

Proces wypalania klinkieru odbywa się w piecu obrotowym, który stanowi długi, stalowy walczak wyłożony wewnątrz wymurówką ogniotrwałą, obracający się wokół swojej osi z prędkością obrotową od 0,7 do 5,0 obr./min. W zależności od sposobu przygotowania surowca – nadawy piecowej, rozróżnia się dwie podstawowe technologie produkcji cementu, mokrą i suchą. Oprócz metod podstawowych spotyka się jeszcze metody pośrednie, tzw. półsuche lub półmokre. W metodzie mokrej surowiec przemieleny jest na mokro z dodatkiem wody. Wynikiem przemiału jest szlam o zawartości wody w granicach 35–40%, który po korekcy i uśrednieniu składu chemicznego, stanowi nadawę do pieca. Natomiast w metodzie suchej nadawa piecowa jest przygotowana w postaci suchej mąki, którą otrzymuje się najczęściej przemieleniając surowiec w młynie susząco-mielącym.

Działalność innowacyjną w przemyśle cementowym w Polsce można podzielić na dwa okresy. W pierwszym z nich (lata 1985–2004) jest to typowa działalność innowacyjna określana w literaturze jako radykalna<sup>9</sup>. Celem tej działalności było uzyskanie wzrostu produkcji cementu i obniżenie energochłonności (kosztów produkcji). Polegała ona głównie na ograniczeniu produkcji cementu metodą mokrą i unowocześnieniu zakładów pracujących metodą suchą. Ze względu na zakres i charakter prac innowacyjnych, była to działalność wymagająca znacznych nakładów finansowych (zakup nowych, drogiej urządzeń, wysokie koszty prac budowlano-montażowych) i znacznych strat finansowych, wynikających z postojów zakładu w czasie realizacji inwestycji. Czynniki te były często powodem rezygnacji z wdrożenia nowych innowacyjnych technik. Rozwiązaniem pozwalającym na obniżenie kosztów inwestycji i ograniczenia strat produkcji (skrócenie realizacji inwestycji), była możliwość znacznego wykorzystania istniejących urządzeń i infrastruktury zakładu, w nowej innowacyjnej technologii. Wymagało to od zespołu opracowującego projekt i strategię realizacji innowacyjnej technologii, oprócz dobrego przygotowania teoretycznego i wiedzy na temat aktualnie obowiązujących na świecie tendencji w przemyśle cementowym, bardzo dobrej współpracy z kadrą techniczną modernizowanej cementowni. Efektem ekonomicznym takiej współpracy było ograniczenie kosztów realizacji inwestycji, wynikające z dążenia załogi do maksymalnego wykorzystania sprawdzonych w praktyce istniejących urządzeń. Współpraca taka ma też duże znaczenie w pobudzeniu kadry technicznej do działalności innowacyjnej, co może zaowocować nowymi, oryginalnymi rozwiązaniami.

W pierwszym okresie restrukturyzacji przemysłu cementowego w Polsce, celem głównym był wzrost wydajności i ograniczenie produkcji energochłonną metodą mokrą. Na 17 pracujących obecnie w kraju pieców obrotowych, zmodernizowano 2 piece pracujące metodą mokrą i 5 pieców pracujących metodą suchą. W realizacjach tych zastosowano oryginalne rozwiązania krajowe opracowane w IMMB w Opolu, które uzyskały w większości ochronę patentową. Rozwiązania te parametrami techniczno-ekonomicznymi odpowiadają aktualnie obowiązującym najlepszym technikom BREF. Natomiast pozostałe piece w kraju (2 to nowe linie produkcyjne) zostały zmodernizowane lub wybu-

<sup>9</sup> M. Imai, *Kaizen. Klucz do konkurencyjnego sukcesu Japonii*, Warszawa 2007.

dowane przez nowych właścicieli (po prywatyzacji przemysłu cementowego) w oparciu o rozwiązania i urządzenia czołowych firm zagranicznych.

### 3.1. Innowacyjna metoda modernizacji mokrej metody wypalania klinkieru

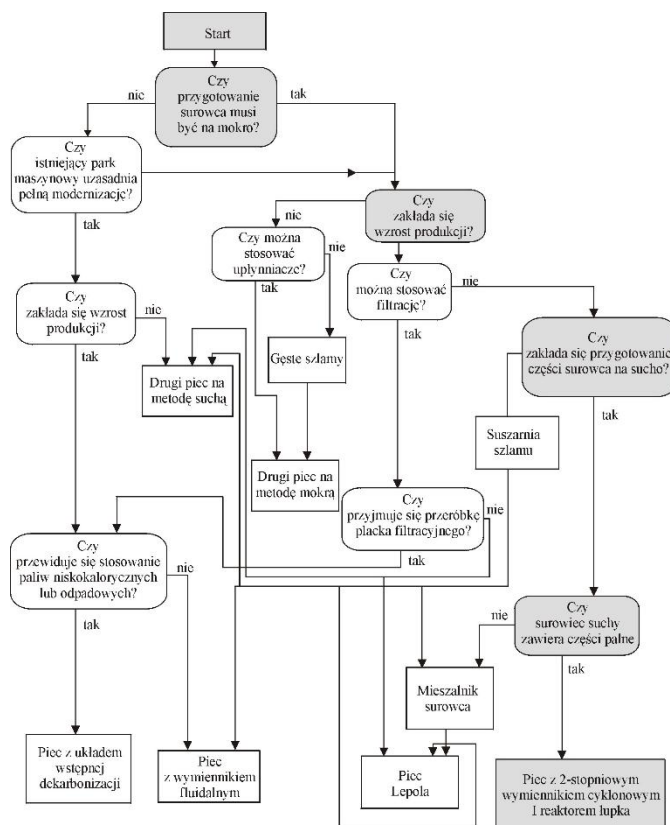
Pierwszą cementownią w kraju, w której przeprowadzono innowacyjny sposób modernizacji, była cementownia Warta II, wybudowana w latach 70. ubiegłego stulecia w oparciu o urządzenia z dostaw byłego ZSRR. Kryzys energetyczny lat 80. i związane z nim ograniczenia dostaw paliwa – mazutu (piece w cementowni Warta II opalane były mazutem), był przyczyną wstrzymania produkcji. Jedynym sposobem uruchomienia zakładu było przejście z opalania pieców mazutem na opalanie pyłem węglowym. Przejście z opalania mazutem na paliwo o znacznie niższej wartości opałowej – pył węglowy, groziło dalszym spadkiem wydajności i wzrostem zużycia ciepła, parametrów, które już należały do jednych z najgorszych w kraju. W związku z tym, zmiana paliwa nie gwarantowała uniknięcia likwidacji zakładu. Potwierdził to później los bliźniaczej, młodszej cementowni Strzelce Opolskie, w której zastosowano już na etapie realizacji inwestycji opalanie pyłem węglowym. Zastosowanie tańszego paliwa – pyłu węglowego w tej energochłonnej technologii, nie uchroniło cementowni przed fizyczną likwidacją.

Kierownictwo cementowni Warta II podjęło słuszną wówczas decyzję, polegającą na wykorzystaniu czasu postoju zakładu wynikającego z budowy nowego działu przygotowania pyłu węglowego, na przeprowadzenie głębokiej modernizacji procesu wypalania. Na rysunku 2 przedstawiono opracowany w tym celu algorytm, który pozwalał wstępnie, w zależności od własności fizycznych surowca, wybrać wariant modernizacji linii wypalania klinkieru<sup>10</sup>.

Dużym problemem technologicznym przy opracowaniu nowej linii wypalania był stwierdzony brak surowca niskiego – margla, jednego z istotnych składników nadawy piecowej. Najbliższe złożo surowca niskiego znajdowało się w odległości około 50 km od cementowni, w okolicy Widoradza. Dodatkowe koszty, wynikające z otwarcia nowej kopalni i z transportu surowca do cementowni powodowały, że zmiana technologii wypalania była nieopłacalna. Innowacyjnym rozwiązaniem było zastosowanie w tej technologii odpadów powęglowych (łupków), które swoim składem chemicznym odpowiadały własnościom surowca niskiego. Ze względu na zawartość w tych łupkach rozproszonego węgla (ok. 15%), wykorzystanie ich wymagało specjalnego rozwiązania, które zabezpieczało zupełne spalanie tego węgla. Warunek ten eliminował wymagany wspólny przemiał zestawu surowcowego, składającego się w zasadniczej części własnego surowca wapiennego (wysokiego) i odpadów powęglowych, który jest podstawą technologii produkcji klinkieru cementowego, ponieważ groziło to eksplozją w elektrofiltrze piecowym. W związku z tym, założono oddzielny przemiał tych surowców i wyprodukowanie dwóch mączek surowcowych: wapiennej i łupkowej.

W nowej innowacyjnej technologii, podstawowy surowiec – mąka wapienna – dozowana jest tradycyjnie pomiędzy pierwszy i drugi stopień wymiennika cyklonowego. Natomiast mączka łupkowa, ze względu na wymagane warunki spalania, dozowana jest oddzielnie do kalcynatora, w którym w atmosferze gazów wylotowych z pieca i powietrza trzeciego z chłodnika klinkieru, ulegnie spalaniu węgiel w niej zawarty.

<sup>10</sup> J. Duda, *Energooszczędne i proekologiczne techniki wypalania klinkieru cementowego*, Opole 2004.



Rys. 2. Algorytm wstępnego wyboru wariantu modernizacji metody wypalania

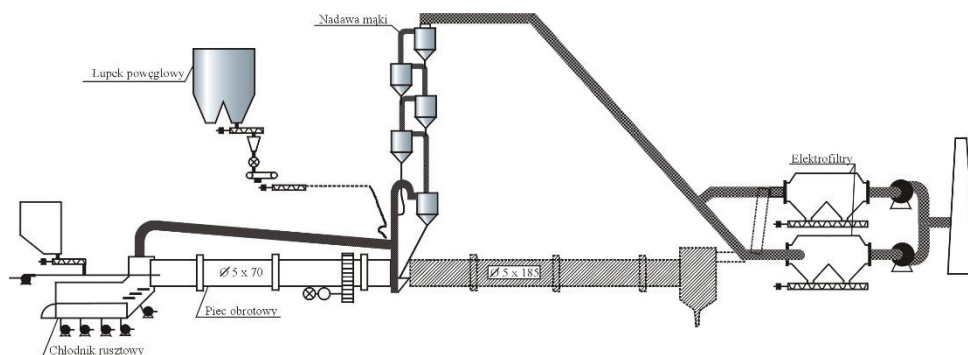
Źródło: opracowanie własne.

Powstały po spaleniu łupku popiół miesza się z surowcem wapiennym, który po obróbce cieplnej w cyklonach wymiennika wprowadzony zostaje do kalcynatora, skąd dopiero powstała mieszanina – nadawa piecowa, wprowadzona jest do pieca obrotowego, gdzie następuje ostateczny proces wypalania. Dzięki takiemu rozwiązaniu mąka łupkowa oprócz spełnienia roli surowca niskiego, jest jednocześnie źródłem ciepła (substytut pyłu węglowego) w endotermicznym procesie dekarbonizacji wapieni. Na rys. 3 przedstawiono schematycznie innowacyjną technikę zastosowaną przy modernizacji długich pieców pracujących metodą moką.

Od samego początku rozwiązanie to, które było zaprzeczeniem dotychczas stosowanych technologii, polegających na wypalaniu mąki piecowej dokładnie zestawianej już w procesie wspólnego przemiału surowców i homogenizacji, przy wykorzystaniu sterowania komputerowego i analizatora rentgenowskiego, budziło wiele wątpliwości i sprzeciwu.

Oprócz wyżej przedstawionych zmian w procesie, istotnym działaniem innowacyjnym była rekonstrukcja istniejącego pieca pod warunki wynikające z opracowanej technologii. Piec o wymiarach  $\phi 5 \times 185$  m planowano początkowo skrócić do 70 m, pozostawiając

tylko jego środkową część na podporach (patrz rys. 3). W wyniku licznych zmian w czasie realizacji tego zadania wynikały jako konsekwencji braku środków finansowych, zdecydowano się na etapową realizację projektu. W pierwszym etapie zrealizowano tzw. wariant przejściowy – metodę półsuchą, polegającą na skojarzeniu w jednym procesie przygotowania surowca w postaci szlamu wapiennego i suchej mączki łupkowej. Pozwoliło to na znaczne obniżenie kosztów związanych z budową nowego działu przygotowania surowca wapiennego w postaci suchej mąki. Drugim istotnym obniżeniem kosztów inwestycyjnych było zrezygnowanie z wymiany istniejącego chłodnika i zmodernizowanie istniejącego. W wyniku takich zmian można było zrezygnować z obciążenia pieca w jego gorącej części i wyburzenia pierwszej podpory pieca, co skutkowało zwiększeniem pieca do 92 m.



Rys. 3. Schemat technologiczny modernizacji długich pieców obrotowych na metodę suchą

Źródło: opracowanie własne.

Technologia przejściowa – półsucha została zrealizowana i uruchomiona w roku 1991 i pracowała do roku 2001. Eksploatacja tej jedynej na świecie technologii (chronionej patentem), polegającej na skojarzeniu metody mokrej i suchej, była bardzo uciążliwa. Pozwoliła jednak przy bardzo ograniczonych nakładach utrzymywać produkcję. Efektem niewymiernym eksploatacji tej jedynej na świecie, trudnej technologii, było bezproblemowe uruchomienie pieca po zrealizowaniu drugiego etapu modernizacji (rys. 3). Dzięki tej modernizacji uzyskano 100-procentowy wzrost wydajności pieców oraz najniższe w kraju jednostkowe zużycie ciepła. Obecnie w cementowni pracują dwa piece na metodę suchą, które zabezpieczają produkcję, jaką wcześniej uzyskiwano metodą mokrą na 4 piecach w Warcie I i 2 piecach Warty II. Oprócz efektów produkcyjnych, wzrost wydajności i obniżenie jednostkowego zużycia ciepła, nowa innowacyjna technologia zastosowana w cementowni Warta II ma duże znaczenie ekologiczne. Dzięki zastosowaniu w tej technologii odpadów górniczych, składowanych na hałdach, można było zrezygnować z otwarcia nowej kopalni surowca i ochronić znaczną część terenów rolniczych. Dotychczas cementownia zużyła już około 3 mln Mg odpadów powęglowych, które składowane na hałdach przy kopalniach, stanowią duże zagrożenie dla środowiska (samozapłon).



### 3.2. Innowacyjna metoda modernizacji suchej metody wypalania klinkieru

Znacznie tańszą i łatwiejszą w realizacji jest modernizacja linii wypału pracujących metodą suchą. Sprowadza się ona najczęściej do wymiany lub rozbudowy zewnętrznego wymiennika ciepła o dodatkowy stopień i kalcynator. Ograniczeniem wzrostu wydajności pieca jest wydajność istniejącego działu przygotowania surowca i urządzeń uczestniczących w procesie, chłodnika klinkieru, ekshaustora czy urządzeń transportowych mąki i klinkieru. W wielu przypadkach można wykorzystać rezerwy istniejącego działu przygotowania surowca. Ze względów oszczędnościowych, optymalnym rozwiązaniem jest określenie docelowej wydajności pieca w oparciu o rezerwy wydajnościowe urządzeń współpracujących z piecem lub w oparciu o możliwy wzrost wydajności tych urządzeń w wyniku ich modernizacji lub wymiany na nowe. Z przeprowadzonych modernizacji pięciu pieców pracujących metodą suchą wynika, że przy stosunkowo niewysokich nakładach, wzrost wydajności w granicach 100% był praktycznie możliwy na wszystkich liniach. Jedynym, znaczącym ograniczeniem była wydajność młynów surowca i chłodników klinkieru. Wymagało to przeprowadzenia dodatkowo modernizacji istniejących młynów surowca, która praktycznie ograniczała się tylko do zmiany ich wnętrza, wielkości komory suszącej, wypłytywania i zmiany zakulowania. Oprócz wzrostu wydajności tych pieców i obniżenia zużycia ciepła, nowe techniki wypalania stworzyły warunki do wykorzystania w procesie paliw alternatywnych z opadów przemysłowych i komunalnych. Wzrost wydajności pieców pracujących metodą suchą, pozwolił na zaprzestanie produkcji w kraju cementu metodą moką.

## 4. INNOWACJE EKOLOGICZNE W CEMENTOWNI

Po okresie innowacji radykalnej, której celem było wyeliminowanie energochłonnej metody mokrej oraz intensyfikacja produkcji w zakładach pracujących metodą suchą, nastąpił okres innowacji ciągłej. Przemysł cementowy w Polsce, w wyniku tej działalności, należy do najnowocześniejszych w Europie. Obecnie, kiedy praktycznie wykorzystane zostały już technicznie opłacalne możliwości obniżenia energochłonności produkcji cementu, poszukuje się innych tanich metod, które pośrednio wpływają na obniżenie zużycia paliw i energii oraz mają korzystny wpływ na środowisko naturalne. Działania te sprowadzają się zasadniczo do:

- wykorzystania w procesie paliw i surowców odpadowych;
- utylizacji ciepła odpadowego;
- modyfikacji nadawy surowcowej i metod wypalania;
- obniżenia udziału klinkieru w cemencie;
- obniżenia emisji gazów cieplarnianych<sup>11</sup>.

Jest to ciągła działalność przemysłu, który dzięki naturalnym warunkom technicznym, wynikającym z wysokotemperaturowego procesu wypalania klinkieru może wykorzystywać znaczne ilości odpadów z innych procesów przemysłowych. Działalność przemysłu cementowego jest dzisiaj mocna ukierunkowana na działalność na rzecz ochrony środowiska. Przemysł, który jeszcze niedawno uważany był za jeden z głównych szkodników dla środowiska naturalnego, dzisiaj, dzięki nowym technologiom i możliwości utylizacji

---

<sup>11</sup> J. Tomasiak, J. Duda, *Innowacyjne techniki w przemyśle cementowym* [w:] *Współczesne instrumenty innowacji*, „Prace Naukowe WWSZiP” 2015, t. 36 (6), s. 153–165.

odpadów, spełnia bardzo ważną rolę w ochronie środowiska. Ten okres działalności innowacyjnej w przemyśle cementowym, który dotyczy głównie ekologii, ma charakter ciągły, którego zadaniem jest ciągłe usprawnianie procesu produkcyjnego zgodnie z polityką zrównoważonego rozwoju i pakietu 3x20. Przykładem takiej działalności innowacyjnej jest redukcja dwutlenku węgla.

#### 4.1. Innowacyjne techniki redukcji CO<sub>2</sub>

Wysoki poziom techniczny przemysłu cementowego w Polsce nie pozwala jednak na wypełnienie limitu dopuszczalnych emisji dwutlenku węgla. Wynika to ze zmiany dotyczącej limitu dopuszczalnej emisji, jaką w 2005 roku wprowadziła Komisja Europejska. Dzięki innowacyjnym zmianom technologicznym, jakie w ostatnich latach zastosowano, osiągnięcie w 2020 roku ograniczenia wynikającego z pakietu klimatycznego 3x20, jest realne. Problemem dla przemysłu jest zapowiedź nowych po roku 2020 ograniczeń emisji CO<sub>2</sub>, jakie zostały zapowiedziane przez KE w roku 2013 w Zielonej Księdze<sup>12</sup>.

Cała dotychczasowa działalność przemysłu cementowego, bezpośrednio lub pośrednio dotyczyła redukcji dwutlenku węgla. Zamiana produkcji klinkieru z metody mokrej na suchą pozwoliła na obniżenie emisji o 360 kg CO<sub>2</sub>/Mgkl. Przykładem podobnej działalności, która pośrednio wpływa na redukcję emisji CO<sub>2</sub>, jest wykorzystanie w procesie paliw i surowców odpadowych. Nowe innowacyjne instalacje pozwalające wykorzystywać w procesie paliwa z odpadów, które zostały zrealizowane w ostatnich latach (2007–2014), pozwalają już na wykorzystanie około 1,2 mln Mg/r paliw alternatywnych, w tym około 1,1 mln Mg paliw z odpadów komunalnych, tzw. RDF (*Refuse Derived Fuel*)<sup>13</sup>. Efektem tak wysokiego (ok. 50%) udziału paliw alternatywnych w procesie wypalania klinkieru jest zmniejszenie zużycia w nim węgla o około 800 Mg/r.

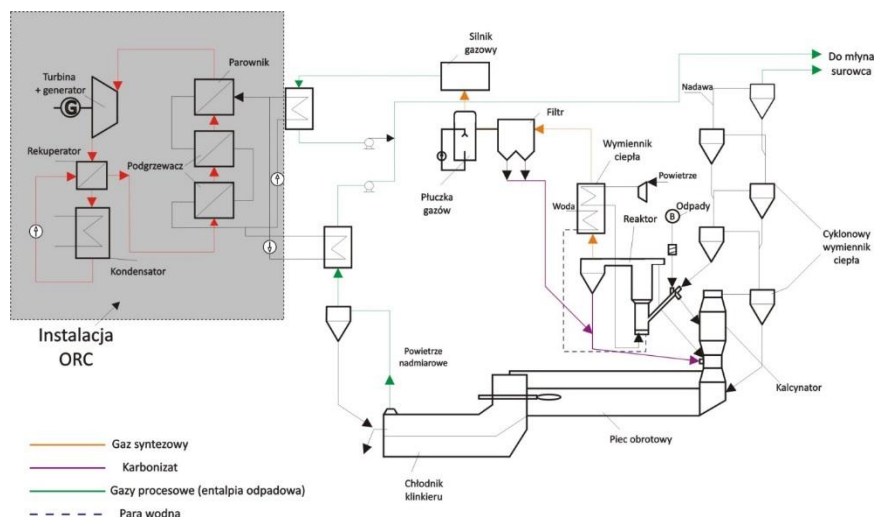
Barierą większego wykorzystania paliw RDF jest wysoka zawartość w nich biomasy, która powoduje wzrost wilgotności i spadek wartości opałowej tych paliw. Niska wartość opałowa RDF oraz mały stopień rozdrobnienia są główną przyczyną ograniczonego ich wykorzystania. Jednym ze sposobów zwiększenia udziału paliw alternatywnych jest zastosowanie pyłu węglowego o wyższej wartości opałowej lub suszenie paliw alternatywnych. Znacznie korzystniejszym rozwiązaniem może być zgazowanie tych paliw i wykorzystywanie w procesie wypalania wytworzonego gazu syntezowego. Instalacje zgazowania paliw RDF są stosowane w energetyce zawodowej, ciepłownictwie i spalarniach odpadów, ponieważ bezpośrednie spalanie tych paliw w kotłach jest ograniczone ze względu na wymagane warunki spalania paliw z odpadów. W przemyśle cementowym zgazowanie paliw z odpadów ograniczono jedynie do zużytych opon samochodowych.

Ograniczone już możliwości bezpośredniego spalania paliw RDF powodują, że aktualny jest problem poszukiwania innych sposobów ich przygotowania lub spalania. Coraz częściej paliwa te poddawane są suszeniu. Proces ten stwarza jednak duże problemy ze względu na kłopoty eksploatacyjne suszarni i duże zagrożenie pożarowe. Korzyści, jakie wynikają ze spalania gazu syntezowego, powodują, że problem zgazowania tych paliw w cementowni jest już aktualny. Gaz syntezowy stwarza dodatkowo warunki do zastosowania innowacyjnych technik wypalania. Na rysunku 4 przedstawiono schemat technolo-

<sup>12</sup> Zielona Księga – Ramy polityki w zakresie klimatu i energii do roku 2030, [http://www.mos.gov.pl/g2/big/2013\\_05/3dea32c1403f7e52a91aeca337bc5343.pdf](http://www.mos.gov.pl/g2/big/2013_05/3dea32c1403f7e52a91aeca337bc5343.pdf).

<sup>13</sup> J. Duda, M. Kołosowski, J. Tomasiak, *Technologia CCS w zakładzie cementowym*, „Logistyka” 2016, nr 3, s. 1040–1050.

giczny innowacyjnej linii piecowej skojarzonej z reaktorem – zgazówką i instalacją WHR (*Waste Heat Recovery*), typu ORC. Rozwiązanie to, oprócz możliwości zwiększenia udziału paliw alternatywnych w procesie wypału i poprawy warunków spalania, stwarza warunki do produkcji energii elektrycznej w instalacji skojarzonej z piecem obrotowym.



Rys. 4. Schemat technologiczny linii piecowej z układem zgazowania i ORC<sup>14</sup>

Źródło: opracowanie własne.

Innowacyjność ekologiczna tego rozwiązania wynika z tego, że zgazowanie odbywa się ciepłem gorącej mąki w atmosferze CO<sub>2</sub> wytworzonego w procesie dekarbonizacji:



co stwarza możliwość przeprowadzenia reakcji Boudouarda:



Aby zintensyfikować reakcje Boudouarda, zakłada się możliwość wprowadzenia do przewodu doprowadzającego paliwo RDF, dodatkowo pył węglowy. Rozwiązanie to pozwoli zwiększyć w procesie udział paliwa RDF, ale ważniejszym efektem jest ograniczenie emisji CO<sub>2</sub>. Wytworzony w procesie dekarbonizacji dwutlenek węgla zostanie zgodnie z rów. (2) przetworzony na CO, dzięki temu, oprócz redukcji CO<sub>2</sub>, uzyska się wzrost wartości opałowej wytworzonego gazu. Dodatkowy efekt redukcji wynika z wy-

<sup>14</sup> A. Cenian, J. Duda, *Sposób i urządzenie do skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej z ciepła odpadowego z pieca obrotowego i gazu wytworzonego w reaktorze powiązanym technologicznie z wymiennikiem ciepła*, Instytut maszyn przepływowych im. Roberta Szwalskiego PAN, Gdańsk, Polska, Opis patentowy, 222866, Zgłosz. P. 222866 z 25.03.2013. Opubl. 30.09.2016.

tworzenia czystej energii elektrycznej w instalacji ORC, będącej nadbudową kogeneracyjną pieca obrotowego.

## 5. PODSUMOWANIE

Energochłonny, wysokotemperaturowy proces wypalania klinkieru cementowego stwarza duże zagrożenie dla środowiska naturalnego. Prowadzone w ostatnich latach innowacyjne zmiany technologiczne pozwoliły na uzyskanie znacznej poprawy wskaźników eksploatacyjnych i ekologicznych. Dzięki znacznemu wykorzystaniu w procesie paliw i surowców odpadowych, przemysł ten odgrywa dzisiaj ważną rolę w ochronie środowiska. Problemy energochłonności (koszty produkcji), surowcowe i ograniczenia dopuszczalnych emisji wymagają ciągłego udoskonalania tego procesu. Ponieważ technologiczne innowacje zostały już praktycznie wykorzystane, szansą dla tego przemysłu może być nadbudowa procesu układami WHR i zgazowanie paliw alternatywnych. Instalacje WHR, to obecnie jeden z najpopularniejszych sposobów pośredniego ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> w przemyśle cementowym, który bardzo intensywnie rozwijany jest na świecie. W Polsce, mimo wielu opracowań dotyczących WHR, metoda ta nie znalazła jeszcze zastosowania. Szansą dla wykorzystania w kraju innowacyjnej technologii WHR, może być zgazowanie paliw z odpadów.

## LITERATURA

- [1] BREF 2013 „Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries”, April 2013, European Commission, [www.cembureau.be](http://www.cembureau.be).
- [2] Duda J., Kołosowski M., Tomasiak J., *Technologia CCS w zakładzie cementowym*, „Logistyka” 2015, nr 3, s. 1040–1050.
- [3] Duda J., *Energooszczędne i proekologiczne techniki wypalania klinkieru cementowego*, Prace IMMB – wydanie specjalne, Opole 2004.
- [4] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych, Dz. Urz. UE. 17.12.2010.
- [5] Masaaki I., *Kaizen. Klucz do konkurencyjnego sukcesu Japonii*, MT Biznes Sp. z o.o., Warszawa 2007.
- [6] Oslo Manual, *Guidelines for Collecting and interpreting Technological Innovation Data*, OECD 2008.
- [7] Schumpeter J., *Teoria rozwoju gospodarczego*, PWN, Warszawa 1960.
- [8] Tomasiak J., Duda J., *Innowacyjne techniki w przemyśle cementowym* [w:] *Współczesne instrumenty innowacji*, „Prace Naukowe WWSZiP” 2015, t. 36 (6), s. 153–165.
- [9] Zielona Księga – Ramy polityki w zakresie klimatu i energii do roku 2030, [http://www.mos.gov.pl/g2/big/2013\\_05/3dea32c1403f7e52a91aeca337bc5343.pdf](http://www.mos.gov.pl/g2/big/2013_05/3dea32c1403f7e52a91aeca337bc5343.pdf).

## ECOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL CONDITIONING OF THE INNOVATIVE ACTIVITY IN THE INDUSTRY OF BUILDING MATERIALS

The article presents selected innovation activities on the example of the cement industry in Poland, which currently ranks among the most modern in Europe. The number of innovative solutions and the scope of their application justify the claim that innovative activity in the domestic cement industry is a continuous process. It results from economic needs and, in the

past few years, from the need to reduce the negative environmental impact. Due to the high-temperature process of clinker burning and a significant share of energy-consuming grinding processes, the cement industry is among those that cause a significant burden on the environment. Consequently, ecology is an important factor stimulating an innovative activity. The 2001/77/WE directive of the European Parliament and of the Council of Europe as well as the 3x20 Climate Package enforce a change in approach to the issue of energy consumption, noxious gases and dust emissions. As a result of innovative activity conducted in the Polish cement industry, this industry already meets practically all emission norms, in line with the IPPC Directive. On the example of a selected technological process in a cement plant, innovative strategy was presented as well as the way of its realization and the economic and ecological effects achieved.

**Keywords:** innovation, rotary kiln, GHG emission, Innovation management, Internalization of costs.

**DOI:** 10.7862/rz.2017.mmr.1

*Tekst złożono w redakcji: listopad 2016 r.*

*Przyjęto do druku: marzec 2017 r.*

