
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 30
(lipiec–wrzesień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

Rok X

Warszawa–Opole 2017

HENRYK RADELCZUK*

Sposoby redukcji emisji CO₂ w przemyśle cementowym na przykładzie Cementowni „Chełm” – Cemex Polska

Słowa kluczowe: emisja CO₂, alternatywne surowce niewęglanowe, paliwa alternatywne, mineralizatory, klinkier portlandzki.

W artykule przedstawiono efektywne sposoby redukcji emisji CO₂ w procesie produkcji klinkieru cementowego stosowane przez Cementownię „Chełm”. Opracowanie obejmuje laboratoryjne i przemysłowe wyniki testów produkcji klinkieru z zestawów surowcowych zawierających tzw. surowce alternatywne, takie jak: popiół lotny wapienny, wapno pokarbidowe, granulowany żużel wielkopiecowy, wapno posodowe czy niewielki dodatek mineralizatora. Przedstawiono również wpływ współspalania paliw alternatywnych i biomasy, zastosowania techniki *oxy-fuel* oraz wykorzystania ciepła odpadowego w procesie suszenia paliw na zmniejszenie emisji dwutlenku węgla. Przeprowadzone testy wykazały znaczne zmniejszenie emisji CO₂ podczas produkcji klinkieru portlandzkiego przy zastosowaniu wymienionych materiałów jako składników zestawu surowcowego oraz współspalaniu paliw alternatywnych i biomasy. Wprowadzenie 1% lotnego popiołu wapiennego, zawierającego 18–27% CaO, prowadzi do zmniejszenia emisji o 9–11 kg CO₂/tonę klinkieru, w zależności od zawartości tlenu wapna. Natomiast dodatek 1% wapna pokarbidowego, zawierającego ok. 60% CaO, powoduje zmniejszenie emisji CO₂ odpowiednio o ok. 7 kg/t_{klk}, zbliżoną redukcję CO₂ powoduje też podanie 1% granulowanego żużla wielkopiecowego.

Zastosowanie niewielkich ilości 0,2–0,3% mineralizatora pod postacią fluorytu do zestawu surowcowego, zawierającego jako aktywny składnik CaF₂, powoduje ok. 4–5% jednostkową redukcję zużycia ciepła na klinkier, co przekłada się na jednostkową redukcję emisji CO₂ z procesu spalania rzędu 16–24 kg/t_{klk}. Stosowanie wszelkiego rodzaju biomasy, np. mączki mięsno-kostnej i suszonych osadów ściekowych, w ilości 8–10% ciepła na klinkier, zmniejsza emisję CO₂ nawet do 40 kg/t_{klk}.

Poprzez wprowadzenie wyżej opisanych metod Cementownia „Chełm” ograniczyła jednostkową emisję dwutlenku węgla do atmosfery o 112 kg/t_{klk}, redukując wskaźnik emisji z 859 kg CO₂/t_{klk} w 2010 r. do 747 kg CO₂/t_{klk} na koniec listopada 2017 r.

* Dr, CEMEX Polska Sp. z o.o., Chełm, henryk.radelczuk@cemex.com

1. Wstęp

CEMEX Polska Sp. z o.o. jest jednym z wiodących producentów cementu, betonu i kruszyw w kraju, który uznaje środowisko naturalne za jednego z kluczowych interesariuszy, a dbałość o jego stan jest integralnym elementem strategii rozwoju firmy. Zgodnie z wewnętrzną polityką w zakresie zarządzania jakością, środowiskiem, BHP, energią i EMAS (*EcoManagement and Audit Scheme* – unijny system certyfikacji środowiskowej, ek zarządzenia i audytu), celem firmy jest minimalizowanie negatywnego wpływu działalności na środowisko. Cel ten realizowany jest poprzez zapobieganie emisji zanieczyszczeń, rekultywację terenów poeksploatacyjnych oraz racjonalne gospodarowanie zasobami naturalnymi, a także w ciągu kilku ostatnich lat, poprzez znaczącą redukcję jednostkowej emisji dwutlenku węgla (CO_2) z procesu produkcji klinkieru cementowego, który jest współodpowiedzialny za tzw. efekt cieplarniany [1].

Emisje do powietrza to istotny element oddziaływania cementowni na środowisko naturalne. Procesowe emisje, w tym także emisja CO_2 , zostały uznane za znaczące aspekty środowiskowe, które podlegają szczególnemu nadzorowi i ciągłemu monitorowaniu. Cementownia „Chełm” jest drugim co do wielkości emitentem pyłów i gazów do środowiska w województwie lubelskim. Kluczowym elementem tej emisji jest emisja dwutlenku węgla – CO_2 , na którą zakład może wpływać w ograniczonym stopniu, gdyż ok. 65–68% tej emisji to tzw. emisja procesowa, pochodząca z rozkładu węglanów zawartych w surowcach stosowanych do produkcji klinkieru cementowego, bez której wytwarzanie cementu byłoby niemożliwa, pozostałe 32–35% to emisja pochodząca ze spalanej paliwa. Jeszcze do niedawna, mówiąc z dużym przybliżeniem, wyprodukowanie jednej tony klinkieru cementowego generowało brutto prawie jedną tonę emisji CO_2 . Będąc świadomym negatywnego wpływu gazów cieplarnianych, ograniczonych zasobów naturalnych surowców mineralnych oraz paliw, CEMEX stara się minimalizować wpływ swojej działalności na środowisko i społeczność lokalną [2].

2. Działania na rzecz redukcji emisji CO_2

Zmniejszenie emisji w procesie produkcji klinkieru cementowego można osiągnąć w dwojaki sposób, poprzez modyfikację zestawu surowcowego oraz zmianę stosowanego paliwa. Z początkiem roku 2012 w Cementowni „Chełm”, rozpoczęto wdrażanie wieloletniego planu redukcji emisji CO_2 , którego celem było obniżenie jednostkowej emisji w obu przypadkach. Główne działania realizowane w ramach projektu to [3]:

1. Zastosowanie mineralizatora (fluoryt) w produkcji klinkieru, aby obniżyć temperaturę piekarni.
2. Maksymalizacja zużycia tzw. biomasy neutralnej, głównie w postaci mączki mięsno-kostnej i suchych osadów ściekowych, jako substytutu węgla kamiennego.

3. Stosowanie miazgu gumowego (zużyte, drobno pocięte opony).
4. Wykorzystanie do produkcji klinkieru portlandzkiego surowców alternatywnych, zawierających znaczne ilości wapna niewęglanowego, takich jak: lotny popiół wapienny ze spalania węgla brunatnego, wapno pokarbidowe, powstające przy produkcji acetylenu, granulowany żużel wielkopiecowy czy tzw. wapno posodowe.
5. Budowa suszarni paliw alternatywnych do suszenia tzw. RDF (*Refuse Derived Fuel*), z wykorzystaniem ciepła odpadowego powstającego w trakcie chłodzenia klinkieru.
6. Dozowanie tlenu do palnika pieca klinkierowego celem poprawy efektywności spalania.

3. Wyniki i dyskusja

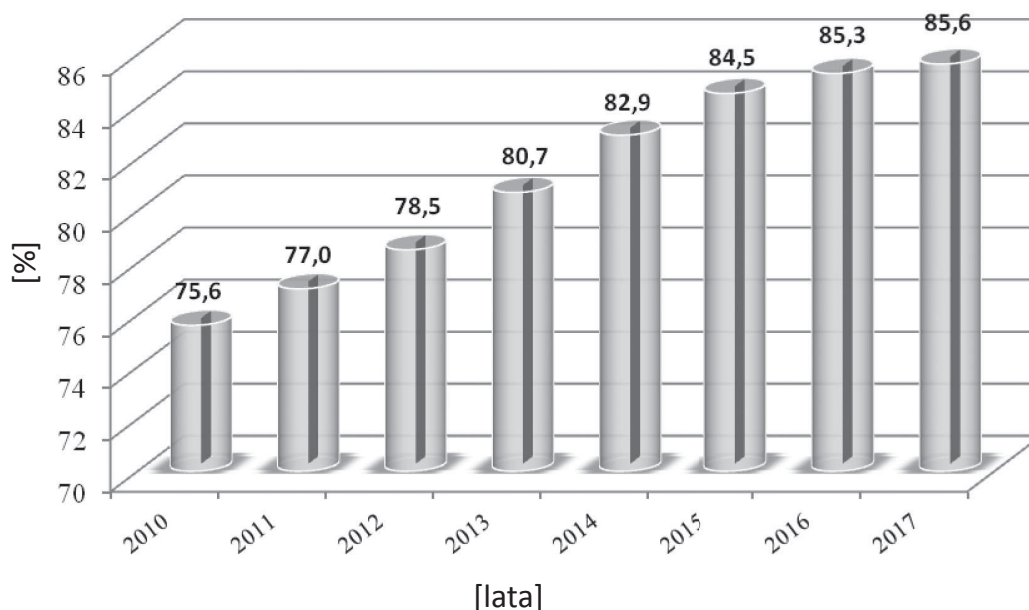
Pierwszym krokiem podjętym w celu obniżenia emisji dwutlenku węgla z procesu spalania paliw przy produkcji klinkieru było podanie niewielkich ilości 0,2–0,3% mineralizatora pod postacią fluorytu (na początku naturalny, następnie odpadowy) do zestawu surowcowego, zawierającego jako aktywny składnik CaF₂. Jak podaje literatura, w niektórych przypadkach pozwala to na obniżenie temperatury klinkieryzacji nawet o 200°C [4]. W efekcie tego działania otrzymano średnio 5,3% jednostkową redukcję zużycia ciepła na wytworzenie klinkieru, z 4894 do 4635 kJ/kg, co przełożyło się na obniżenie jednostkowego zużycia węgla kamiennego o ponad 8,5 kg/t_{klk}. Tym samym wiązało się to z jednostkową redukcją emisji CO₂ z procesu spalania o blisko 24 kg/t_{klk}.

Stosowanie wszelkiego rodzaju biomasy związane jest z dopuszczalnymi przez Rozporządzenie Komisji (UE) nr 601/2012 odliczeniami od ogólnej wielkości emisji – tzw. emisji brutto. Zgodnie z tym rozporządzeniem biomasa i frakcja biogenna, zawarta w paliwach alternatywnych, traktowana jest jako paliwo neutralne pod kątem emisji CO₂ [5–6]. W przypadku Cementowni „Chełm”, stosując mączkę mięsno-kostną i suszone osady ściekowe, obniżono wskaźnik emisji średnio o 25–32 kg CO₂/t_{klk}, w zależności od dostępności i wielkości substitucji.

Popiół lotny wapienny ze spalania węgla brunatnego składa się głównie z reaktywnego tlenku wapnia CaO, dwutlenku krzemu SiO₂ i tlenku glinu Al₂O₃. Pozostałość zawiera tlenek żelaza Fe₂O₃ i inne związki; w niewielkich ilościach poniżej 0,5% alkalia, poniżej 2% MgO (tlenek magnezu) i do 5% SO₃ – siarczan głównie w formie anhydrytu [7–8]. Szczególna przydatność popiołu lotnego wapiennego czy wapna pokarbidowego, jako składnika zestawu surowcowego, określa wysoka zawartość wapna w formie niewęglanowej. Taka forma wapna określa przydatność tego popiołu do produkcji klinkierów o obniżonej emisji CO₂. Z dotychczasowych doświadczeń Cementowni „Chełm” wynika, że 1% wprowadzanego popiołu wapiennego do zestawu surowcowego średnio obniża

wskaźnik emisji z kalcynacji surowców o 9–13 kg CO₂/t_{klk}, w zależności od zawartości tlenku wapnia CaO w stosowanym popiele, która, co należy zaznaczyć, jest bardzo zmienna [3].

Wapno pokarbidowe to głównie wapno w postaci wodorotlenku zawierającego ok. 65% wapna w przeliczeniu na tlenek CaO suchej masy, i niewielką domieszkę SiO₂, Al₂O₃ i Fe₂O₃. Niestety, przy stosowaniu tego surowca efekt środowiskowy i ekonomiczny jest silnie obniżony przez wysoką zawartość wilgoci, często powyżej 43%. Niemniej jednak zastosowanie tego materiału obniża jednostkową emisję CO₂ z kalcynacji średnio o 7 kg/t_{klk} /1% wapna w zestawie surowcowym (w stanie mokrym).



Źródło: Ryc. 1–5 – opracowanie własne.

Ryc. 1. Udział ciepła z paliw alternatywnych w Cementowni „Chełm”

Kolejnym efektywnym sposobem pozwalającym obniżyć emisję dwutlenku węgla z procesu produkcji klinkieru portlandzkiego jest zastosowanie granulowanego żużla wielkopieczowego jako składnika zestawu surowcowego. Potwierdzają to także prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych [9].

Doświadczenia chełmskie pokazują, że poprzez wprowadzenie 1% granulowanego żużla wielkopieczowego do zestawu surowcowego, możliwe jest obniżenie jednostkowej emisji CO₂ o blisko 7 kg/t_{klk}.

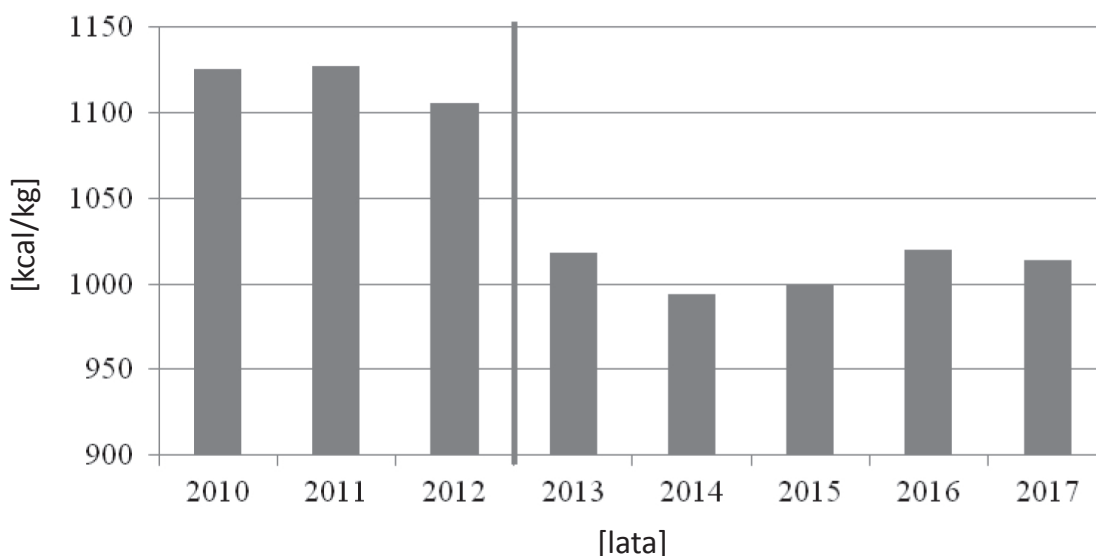
Ostatnie testy laboratoryjne świadczą także o tym, że wprowadzając „wapno posodowe” – odpady ze składowiska po byłych Krakowskich Zakładach Sodowych „Solvay”, z osadników tzw. białych mórz, można też skutecznie oddziaływać na procesową emisję dwutlenku węgla z kalcynacji surowców [3]. Na wspomnianych „białych morzach” gromadzono odpady poprodukcyjne, które stanowiły przede wszystkim tzw. szlamy posolankowe, podestylacyjne, pokaustyczne oraz

z lasowania wapna palonego. Materiał ten zawiera w swoim składzie CaCO₃, Ca(OH)₂, CaSO₄ · 2H₂O, CaCl₂, NaCl i glinokrzemiany [10].

W wyniku wprowadzenia tego rodzaju wapna do zestawu surowcowego, otrzymuje się redukcję jednostkowej emisji CO₂ rzędu 6,4 kg/t_{klk}/1% wapna w odniesieniu do stanu mokrego. Podobnie jak w przypadku wapna pokarbidowego, efekt obniżenia emisji jest tu silnie determinowany przez bardzo wysoką wilgotność tego surowca, sięgającą nawet 68%, mimo wysokiej zawartości wapienia w przeliczeniu na CaO (54–58%).

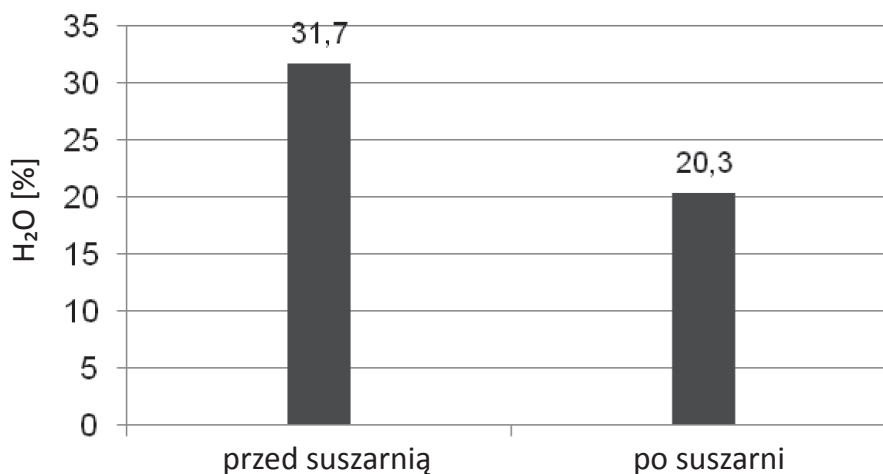
Dzięki budowie i uruchomieniu pierwszej linii suszarki paliw alternatywnych RDF, wykorzystującej odpadowe ciepło z procesu chłodzenia klinkieru do suszenia, w znaczącym stopniu redukuje się wilgotność stosowanego paliwa odpadowego, jednocześnie zwiększając jego substytucję, co graficznie przedstawiono na rysunku 1.

Na rysunku 2 zobaczono graficznie średnie roczne jednostkowe zużycie ciepła na klinkier w przestrzeni lat: przed uruchomieniem i po jej uruchomieniu z początkiem 2013 r.



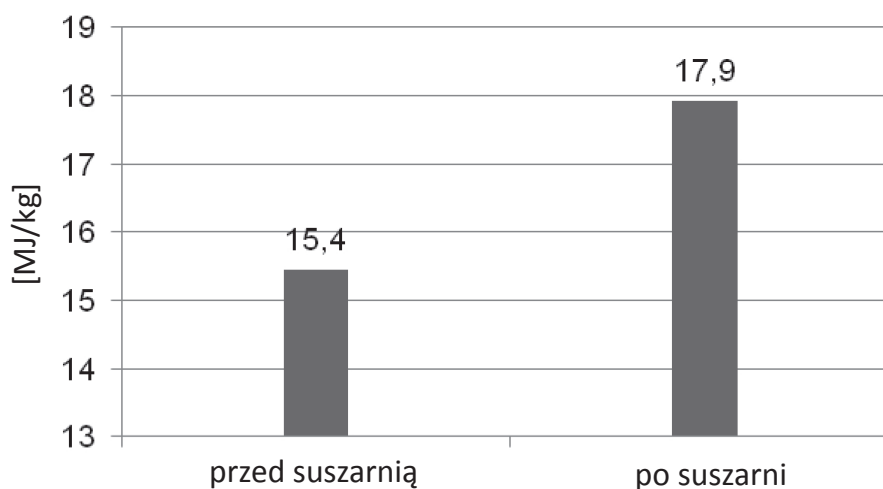
Ryc. 2. Wpływ suszarki RDF na jednostkowe zużycie ciepła na klinkier

To rozwiązanie pozwoliło na odparowanie średnio ok. 11–12 jednostek wody zawartej w paliwie (ok. 35% pierwotnie zawartej wilgotności), a tym samym zwiększenie jego zawartości opłowej. Zkładając, że zmienną jest tylko wilgotność (H₂O) w paliwie, redukując jej zawartość o 1% podnosimy jego opłową o ok. 230 kJ/kg. Dozując paliwo przez suszarkę i uwzględniając otrzymane w rezultacie redukcji wilgotności, otrzymujemy ok. 2600–3000 kJ/kg więcej ciepła z tej samej porcji paliwa, nie ponosząc dodatkowych kosztów. Wpływ uruchomienia suszarki paliw RDF na końcową zawartość wilgoci i opłową paliwa RDF przedstawiono odpowiednio na rysunkach 3 i 4.



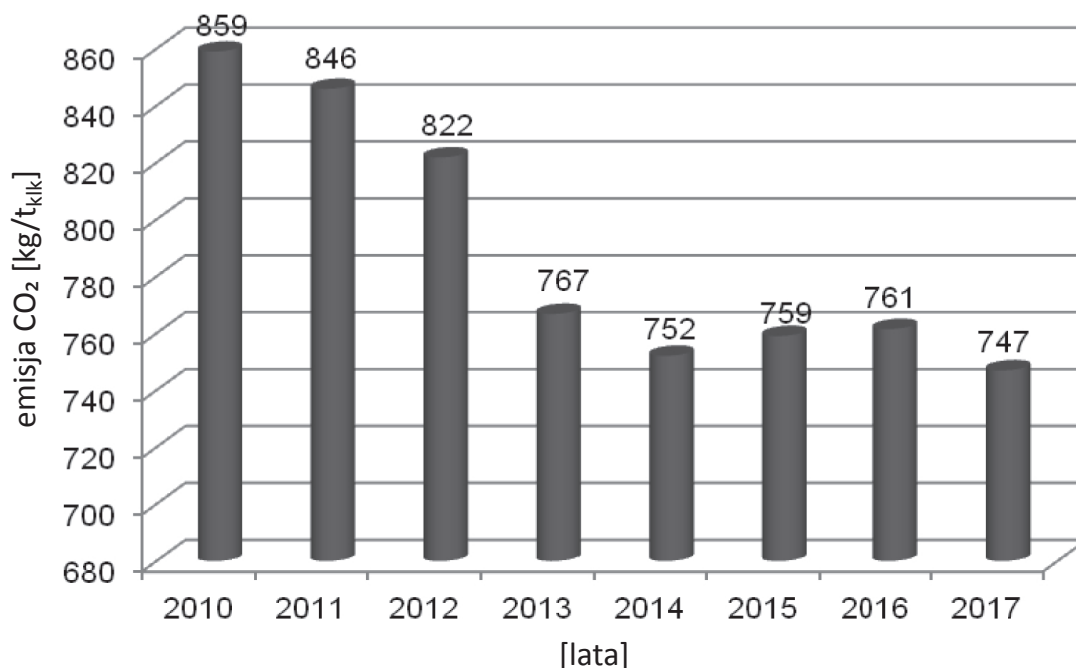
Ryc. 3. Wpływ suszarni na zawartość wilgoci w paliwie RDF

Zastosowanie techniki *oxy-fuel* (spalanie w atmosferze wzbogaconej tlenem) korzystnie wpływa na poprawę warunków spalania w piecu poprzez zwiększenie atmosfery utleniającej, co pozwala zredukować ilość zużywanego węgla kamiennego, a tym samym emisję CO₂ w przedziale 6–9 kg/t_{klk}.



Ryc. 4. Wpływ suszarni na wartość opałową paliwa RDF

W rezultacie wdrożenia wyżej wymienionych inicjatyw, już po pierwszych miesiącach stosowania, zaobserwowano znaczący spadek wskaźnika emisji CO₂, co przedstawiono graficznie na rycinie 5.



Ryc. 5. Wskaźnik jednostkowej emisji netto CO₂ z produkcji klinkieru

Obserwuje się obniżanie jednostkowego wskaźnika emisji dwutlenku węgla na przestrzeni lat 2010–2017. W roku 2012 w wyniku zapoczątkowanych inicjatyw, odnotowano znaczący spadek emisji CO₂ o 24 kg/t_{klk}, zmniejszając go do poziomu 822 z 846 kg/t_{klk} w 2011 r.

Rok 2013 to kontynuacja inicjatyw rozpoczętych rok wcześniej, ale głównie zwiększenie udziału lotnego popiołu wapiennego w zestawie surowcowym do produkcji klinkieru oraz uruchomienie suszarni paliw wtórnych – RDF. Pierwszym efektem jest poprawa warunków spalania w piecu i redukcja jednostkowego ciepła potrzebnego do wypalenia klinkieru, wtórnym – dalsze zwiększenie udziału paliw alternatywnych i redukcja emisji, głównie z większych odliczeń z tytułu zawartości frakcji biomasy w paliwach RDF. Dzięki temu na koniec roku uzyskano wskaźnik emisji równy 767 kg CO₂/t_{klk} i zmniejszono wskaźnik emisji o kolejne 55 kg CO₂/t_{klk}. Składowymi redukcji są zastosowanie surowców niewęglanowych – 33 kg CO₂/t_{klk} oraz zwiększenie udziału frakcji biogennej w paliwach 22 kg CO₂/t_{klk}. Rok 2014 to kolejna redukcja o 15 kg/t_{klk}. Następne dwa lata to minimalny wzrost emisji, który związany jest ze zwiększeniem produkcji klinkierów specjalnych, charakteryzujących się większym zapotrzebowaniem na ciepło, ze względu na stosowanie większych ilości piasku. W wyniku wprowadzenia zmian, w pierwszym półroczu 2017 r., wrócono do malejącego trendu emisji i na koniec listopada wskaźnik emisji wyniósł 747 kg CO₂/t_{klk}.

Reasumując, na przestrzeni ostatnich lat Cementownia „Chełm” ograniczyła jednostkową emisję dwutlenku węgla do atmosfery o 112 kg/t_{klk}, redukując wskaźnik z 859 kg CO₂/t_{klk} w 2010 r. do 747 kg CO₂/t_{klk} w 2017 r., co daje 13% redukcję emisji.

Ochrona środowiska jest kluczowym elementem strategii zrównoważonego rozwoju CEMEX. Rozpoczęty w 2012 r. plan redukcji emisji jest procesem wieloletnim i wieloetapowym, a stosowanie paliw i surowców alternatywnych to połączenie korzyści dla zakładu i środowiska. Dla zakładu to mniejsze koszty uzyskania energii cieplnej, a dla środowiska – racjonalna gospodarka surowcami naturalnymi, mniejsze ilości odpadów deponowanych na składowiskach, ograniczenie zużycia paliw kopalnych oraz obniżona emisja gazów cieplarnianych.

Z uwagi na coraz bardziej restrykcyjne wymagania europejskiej polityki klimatycznej, dalsze ograniczanie emisji dwutlenku węgla z zakładu stało się jednym z największych wyzwań dla CEMEX Polska na kolejne lata [2, 11]. W najbliższych latach spółka będzie maksymalizować udział paliw alternatywnych w bilansie energetycznym oraz aktywnie poszukiwać nowych źródeł energii i surowców wtórnych o niższym wskaźniku emisji CO₂.

4. Wnioski

1. Wdrażanie wieloletniego planu redukcji emisji CO₂ w Cementowni „Chełm”, który polega na modyfikacji zestawu surowcowego oraz stosowanego paliwa, jak również zastosowanie techniki *oxy-fuel* i wykorzystanie ciepła odpadowego w suszarni paliw skutkuje zmniejszeniem wskaźnika emisji z 859 kg CO₂/t_{klk} w 2010 r. do 747 kg CO₂/t_{klk} na koniec listopada 2017 r.
2. Stosowanie zestawu surowcowego z wykorzystaniem alternatywnych surowców, zawierających wapno niewęglanowe, powoduje obniżenie emisji CO₂ o ok. 6–7%.
3. Stosowanie mineralizatorów i techniki *oxy-fuel*, skutkuje zmniejszeniem jednostkowej emisji CO₂ rzędu 2–3%.
4. Korzystne jest również stosowanie biomasy, gdyż CO₂ pochodzące z jej spalania jest w 100% odliczane od ogólnej emisji.
5. Wykorzystanie ciepła odpadowego do suszenia paliw RDF skutkuje redukcją jednostkowego zużycia ciepła, zwiększeniem substytucji paliw alternatywnych i ok. 2–3% redukcją emisji CO₂.
6. Przy wprowadzaniu surowców i paliw alternatywnych nie odnotowano pogorszenia się parametrów jakościowych produkowanego klinkieru czy cementu. Badania laboratoryjne czy testy przemysłowe pokazują, że klinkier produkowany z zastosowaniem mineralizatorów, popiołu wapiennego czy wapna pokarbidowego, wykazuje lepszą mielność, co oznacza mniejsze zapotrzebowanie na energię elektryczną konieczną do przemielenia jednostki masy. Uzyskane przez zakład wyniki to 0,5–1,3 kWh/t cementu, co odpowiada 1,5–3,0% redukcji zużycia jednostkowej energii elektrycznej w fazie przemiału.
7. Zestaw surowcowy zawierający lotny popiół wapienny czy wapno pokarbidowe wykazuje poprawę spiekalności i lepszą zdolność do klinkierzacji – obniżenie zużycia ciepła i paliw, a tym samym i CO₂.

8. Na uwagę zasługuje także fakt, że na chwilę obecną piec klinkierowy jest idealnym, najlepszym miejscem utylizacji szeregu różnego rodzaju odpadów, gdyż zapewnia wymogi dotyczące prowadzenia termicznego procesu przekształcania odpadów gwarantujące bezpieczeństwo i proces ten ma charakter bezodpadowy, gdyż powstający z nich popiół automatycznie wbudowuje się w strukturę klinkieru*.

Literatura

- [1] Raport zrównoważonego rozwoju CEMEX Polska 2011–2012, <http://www.cemex.pl/raport-zrownowazonego-rozwoju-2011-2012-pl.aspx> (3.09.2017).
- [2] Raport zrównoważonego rozwoju CEMEX Polska 2013–2014, <http://www.cemex.pl/raport-zrownowazonego-rozwoju-2013-2014.aspx> (3.09.2017).
- [3] Badania i materiały własne CEMEX Polska, <http://www.raport.cemex.pl/> (3.09.2017).
- [4] K u r d o w s k i W., *Chemia cementu i betonu*, Wydawnictwa Naukowe PWN, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Warszawa–Kraków 2010.
- [5] Rozporządzenie Komisji (UE) nr 601/2012 z dnia 21 czerwca 2012 r. w sprawie monitorowania i raportowania w zakresie emisji gazów cieplarnianych zgodnie z Dyrektywą 2003/87/WE Parlamentu Europejskiego i Rady, Dz.Urz. UE L 181/30.
- [6] G ł o d e k - B u c y k E., S ł a d e c z e k F., K a l i n o w s k i W., D u d k i e w i c z M., *Wpływ wykorzystania osadów ściekowych w technologii produkcji klinkieru portlandzkiego na poziom emisji CO₂*, „Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” 2016, nr 26, s. 40–50.
- [7] G a r b a c i k A., B a r a n T., O s t r o w s k i M., R a d e l c z u k H., *Calcareous fly ash in production of low emission ordinary Portland clinker*, [w:] *Proceedings from XIV ICCO*, Pekin, 12–16.10.2015, www.west960.com/p-79680.html (3.09.2017).
- [8] D z i u k D., G i e r g i c z n y Z., G a r b a c i k A., *Popiół wapienny jako główny składnik cementów powszechnego użytku*, „Drogi i Mosty” 2013, Vol. 12, nr 1, s. 57–69.
- [9] K a c a ł a O., S ł a d e c z e k F., *Wpływ wykorzystania odpadów z procesów termicznych w zestawach surowcowych na ciepło tworzenia klinkieru portlandzkiego*, „Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” 2016, nr 27, s. 35–43.
- [10] W ó j c i k R., *Opinia naukowa dotycząca możliwości powtórnego wykorzystania materiałów pochodzących ze składowiska odpadów po byłych Krakowskich Zakładach Sodowych „Solvay” oraz określenie kodu odpadu dla ww. materiału*, AGH, Kraków 2017, maszynopis w posiadaniu autora.
- [11] Raport zrównoważonego rozwoju CEMEX Polska 2015–2016, <http://www.raport.cemex.pl/> (3.09.2017).

* Praca sfinansowana ze środków własnych CEMEX-u Sp. z o.o.

HENRYK RADELCZUK

WAYS OF CO₂ EMISSIONS REDUCTION IN THE CEMENT INDUSTRY
ON THE EXAMPLE OF CHELM CEMENT PLANT – CEMEX POLAND

Keywords: CO₂ emissions, alternative not-carbonate raw materials, alternative fuels, mineralizers, portland clinker.

The article presents effective ways of CO₂ emission reduction in the cement clinker production process used by Chelm Cement Plant. The article contains laboratory and industrial results of clinker production tests, from raw mix containing so-called alternative raw materials such as: calcereous fly ash, carbide calcium, granulated blast furnace slag, soda lime or a small addition of mineralizer. The impact of co-combustion of alternative fuels and biomass, the use of oxy-fuel technology and the use of waste heat in the process of drying fuels to reduce CO₂ emission are also presented. The conducted tests showed a significant reduction of CO₂ emission during the production of portland clinker using the above-mentioned materials as components of a raw mix and co-combustion of alternative fuels and biomass. The introduction of 1% calcereous fly ash, containing between 18–27% CaO, leads to emission reduction of 9–11 kg CO₂/ton of clinker, depending on the content of calcium oxide. While the addition of 1% of the carbide calcium, containing approx. 60% CaO, causes reduction of CO₂ emissions by approx. 7 kg/ton of clinker, also similar reduction causes addition of 1% of granulated blast furnace slag to raw mix.

The use of small amounts of 0,2–0,3% mineralizer to raw mix in the form of fluorite, containing CaF₂ as an active component causes about 4–5% unitary reduction of heat consumption on clinker, which translates into unitary reduction of CO₂ emissions from the combustion process by 16–24 kg/ton of clinker. The use of all types of biomass, eg meat and bone meal and dried sewage sludge, in an amount of 8–10% of heat on clinker, reduces CO₂ emissions up to 40 kg/ton of clinker.

By introducing the methods described above, the Chelm Cement Plant reduced the unitary CO₂ emission to the atmosphere by 112 kg/ton of clinker, reducing the emission factor from 859 kg CO₂/ton of clinker in 2010 to 747 kg CO₂/ton of clinker in the end of November 2017.