

ZMNIEJSZENIE EMISJI CO₂ W PROCESIE PRODUKCJI CEMENTU

Jakub SIEMIENUK, Ewa SZATYŁOWICZ*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

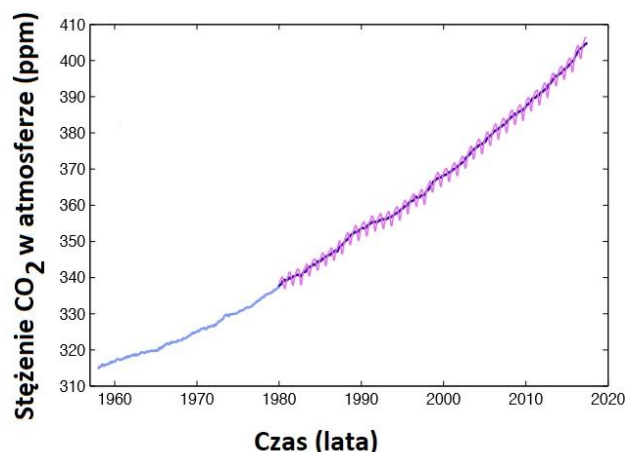
Streszczenie: Emisje dwutlenku węgla (CO₂) z paliw kopalnych i przemysłu stanowią około 90% wszystkich emisji CO₂ z działalności człowieka. Przez ostatnie trzy lata globalna emisja CO₂ utrzymywała się na stabilnym poziomie, pomimo stałego wzrostu w gospodarce światowej. Prognozy dla 2017 roku wskazują na wzrost emisji o 2,0% od poziomu z 2016 roku i osiągnięcie rekordowego poziomu 36,8±2 Gt emisji CO₂. Dalsze symulacje ekonomiczne potwierdzają dalszy wzrost emisji w 2018 roku (Jackson i in., 2017). Biorąc pod uwagę fakt, że ponad 5% globalnej emisji CO₂ stanowi emisja z przemysłu, celem pracy było określenie korzyści paliwowych i ekologicznych wynikających z używania paliw alternatywnych w przemyśle cementowym. W artykule omówiono właściwości wybranych paliw alternatywnych, wykorzystywanych w piecach cementowych jako źródło ciepła przy współpalaniu z węglem. Zastosowanie palnych frakcji odpadów jako paliw alternatywnych powoduje zmniejszenie ich ilości na składowiskach, co w rezultacie powoduje zmniejszenie emisji CO₂, ponieważ przy spalaniu odpadów w cementowniach nie zwiększa się ilość emitowanego CO₂.

Słowa kluczowe: emisja CO₂, produkcja cementu, zrównoważony cement, recykling.

1. Wprowadzenie

Dwutlenek węgla jest silnym gazem cieplarnianym, a wzrost jego ilości w atmosferze prowadzi do zmiany klimatu Ziemi. Spalanie węgla, ropy i gazu, wprowadza do atmosfery coraz większe ilości dwutlenku węgla. Trwająca już od pokoleń emisja dwutlenku węgla ze spalania paliw kopalnych rośnie wykładniczo, czyli o stały procent co roku. Pierwsze pomiary wskazywały stężenie CO₂ na poziomie zaledwie 315 ppm. Łącznie, od czasów rewolucji przemysłowej, zawartość dwutlenku węgla w atmosferze wzrosła o ponad 40% – do roku 1800 koncentracja dwutlenku węgla w atmosferze utrzymywała się na praktycznie niezmiennym poziomie 280 ppm (CDIAC, 2017). Na rysunku 1 przedstawiono stężenie CO₂ w atmosferze w latach 1958-2017.

Wzrost koncentracji CO₂ w atmosferze powoduje globalny wzrost temperatury powierzchni Ziemi i oceanów. Zjawisko to powszechnie określa się mianem ocieplenia klimatu (Siemiątkowski, 2013). Raporty Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) przewidują, że jeśli nie powstrzyma się emisji CO₂ do atmosfery to konsekwencje dla klimatu będą dość poważne. Jedną z najważniejszych będzie zaburzenie poziomu opadów deszczu w poszczególnych strefach klimatycznych, co wpłynie na zmniejszenie produkcji żywności (Pawłowski i Pawłowski, 2016). Według naukowców zajmujących się obserwacją emisji i kumulacji dwutlenku węgla, przemysł i spalanie paliw

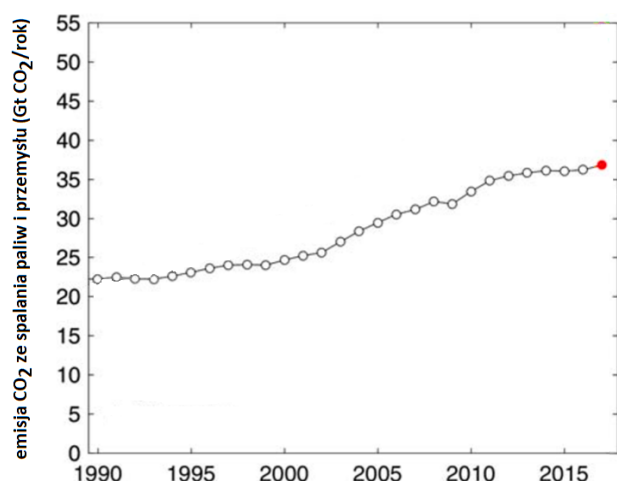


Rys. 1. Trend zmian stężenia CO₂ w atmosferze w okresie od 1958 do 2017 (Długokencky i Tans, 2017)

kopalnych stanowią około 90% wszystkich emisji CO₂ do atmosfery z działalności człowieka. Dwutlenek węgla może pozostać w atmosferze przez dziesiątki lat, zaś jego naturalne sposoby absorpcji są ograniczone. Na rysunku 2 przedstawiono globalną ilość w gigatonach emitowanego CO₂ do atmosfery ze spalania paliw i przemysłu. Ostatni punkt oznacza rok 2017, w którym emisja CO₂ z sektora paliw kopalnych i cementu wyniosła 36,8 Gt CO₂, co w stosunku do 2016 było o 2% wyższe (Jackson i in., 2017). Obecnie spośród 214 krajów trzy z nich i jedna organizacja międzynarodowa odpowiadają za 61% całkowitych globalnych emisji CO₂ (Olivier i in.,

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: e.szatyłowicz@pb.edu.pl

2014). Podział światowej emisji dwutlenku węgla według państw wygląda następująco: Chiny generują aż 29% Gt CO₂, Stany Zjednoczone 15%, Unia Europejska 10% a Indie 7%. Pozostałe 39% to reszta świata (CDIAC, 2017; Jackson i in., 2017).



Rys. 2. Emisja CO₂ w Gt/rok (CDIAC, 2017; Jackson i in., 2017)

Zmniejszenie emisji CO₂ od dłuższego czasu jest jednym z priorytetowych zagadnień inżynierii i ochrony środowiska. Szczególnie jest to ważny problem dla tych gałęzi przemysłu, które są znaczącymi emiterami dwutlenku węgla, jak: energetyka zawodowa czy przemysł cementowy. Produkcja i wykorzystanie betonu, najszerzej stosowanego materiału budowlanego na całym świecie, pociąga za sobą konsekwencje środowiskowe w postaci emisji dużych ilości gazów cieplarnianych do atmosfery (Mobasher, 2008; Henry i Kato, 2014; Jin i in., 2015). Zwłaszcza produkcja cementu portlandzkiego przyczynia się do emisji CO₂ (Bentz, 2010; Bondar i in., 2011).

W ostatnich latach pojawiła się koncepcja cementu zrównoważonego, którą często określa się jako cement o mniejszym wpływie na środowisko i gospodarkę (Susilorini i in., 2014; Jin i in., 2015), co można osiągnąć poprzez (Tomasiak i Duda, 2015; Duda i in., 2017):

- zwiększenie efektywności energetycznej dzięki nowoczesnej technologii suchego procesu;
- wykorzystaniu paliw alternatywnych (w tym biomasy) do zastąpienia węgla i koksu w procesie ogrzewania pieca cementowego;
- wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla;
- zastąpienie klinkieru innymi składnikami mineralnymi w cemencie.

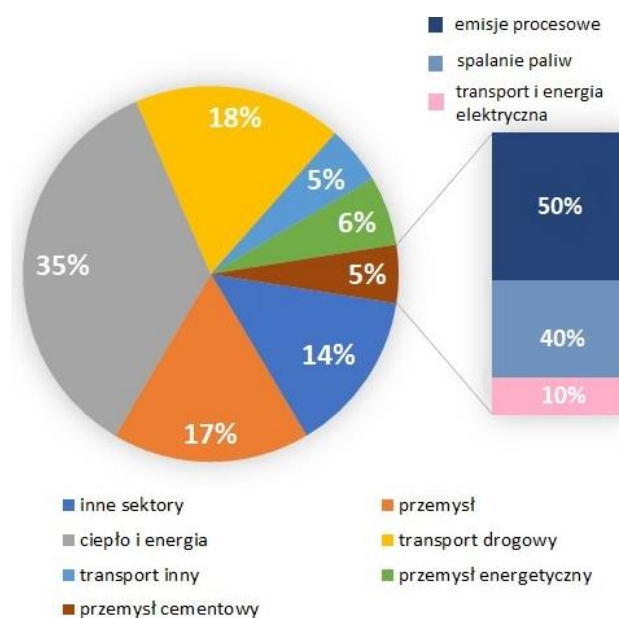
Według Mannana i Ganapathy (2004), zastosowanie materiałów odpadowych rolniczych i przemysłowych jako materiałów zastępczych w cemencie ma podwójne zalety: obniża koszty i stanowi dobry sposób ich unieszkodliwiania. Użycie materiałów po przekształceniu tych odpadów w użyteczne materiały jest korzystne dla środowiska i pozwala zachować zasoby naturalne (Jin i in., 2015).

W artykule omówiono właściwości wybranych paliw alternatywnych, wykorzystywanych w piecach cementowych jako źródło ciepła przy współspalaniu

z węglem i ich wpływ na emisję CO₂ do atmosfery. Stosowanie odpadowych paliw alternatywnych ogranicza wydobycie paliw naturalnych, przez co poprawia bilans emisji dwutlenku węgla w procesie produkcji klinkieru, który jest głównym składnikiem cementu.

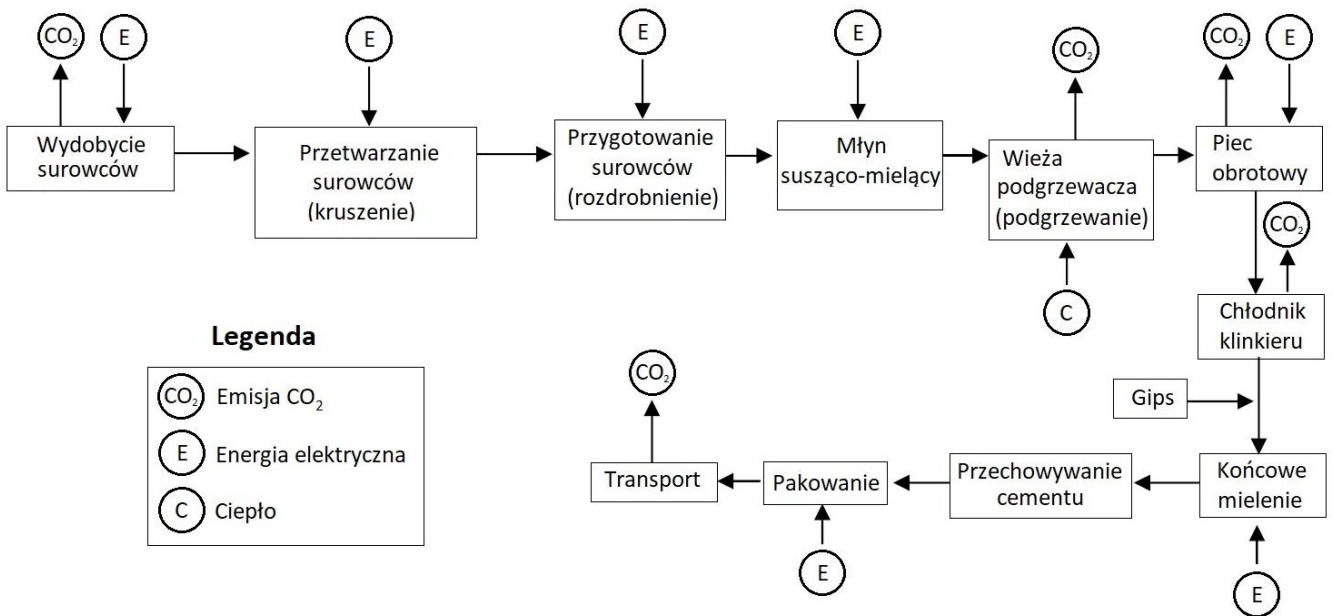
2. Emisja CO₂ w procesie produkcji cementu

Produkcja cementu powoduje około 5% globalnej emisji CO₂ spowodowanej działalnością człowieka. Z tego 50% ogólnej emisji to emisje procesowe, które zachodzą podczas produkcji klinkieru, 40% pochodzi ze spalania paliw w celu ogrzania pieca cementowego, a około 10% pochodzi z wykorzystania energii elektrycznej i transportu. Zapotrzebowanie na cement będzie nadal rosło na całym świecie, szczególnie w gospodarkach wschodzących, w których bardzo potrzebne są mieszkania i infrastruktura, które stymulują rozwój. Zmniejszenie emisji CO₂ z produkcji cementu jest zatem ważnym i pilnym zadaniem dla sektora przemysłu cementowego (Benhelal i in., 2012). Na rysunku 3 przedstawiono udział przemysłu cementowego w globalnej emisji dwutlenku węgla oraz podział emisji CO₂ z przemysłu cementowego według udziałów na poszczególne źródła.



Rys. 3. Udział przemysłu cementowego w globalnej emisji CO₂ (Benhelal i in., 2012)

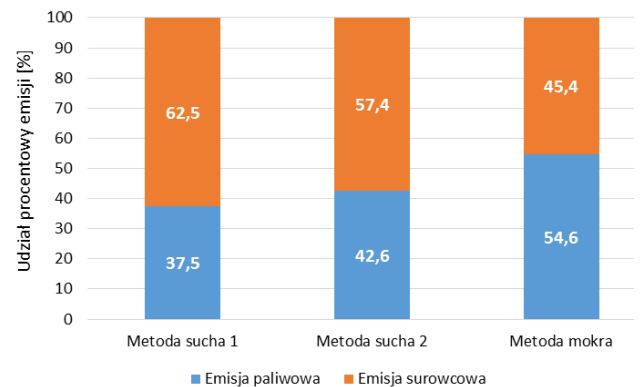
Dwutlenek węgla w procesach produkcji cementu jest emitowany z dwóch podstawowych źródeł bezpośrednich: procesu dekarbonizacji węglanu wapnia i spalania paliw oraz dwóch źródeł pośrednich: produkcji energii elektrycznej wykorzystywanej w cementowni i transportu. Duża emisja CO₂ przez przemysł cementowy wymusiła wypracowanie strategii ograniczenia tej emisji poprzez: udoskonalenie procesów produkcyjnych, modernizację urządzeń, zastępowanie paliw pierwotnych paliwami alternatywnymi z odpadów, optymalizację składu cementu, odzyskiwanie energii cieplnej z procesów produkcyjnych. Na rysunku 4 przedstawiono proces



Rys. 4. Schemat procesu produkcji cementu (Huntzinger i Eatmon, 2009)

produkcji cementu, zaznaczono etapy, w których wykorzystywana jest energia elektryczna, energia cieplna oraz gdzie w ciągu produkcyjnym zachodzi emisja CO₂ do otoczenia.

Proces produkcji cementu rozpoczyna się od wydobycia surowców (kamień wapienny, margiel lub kreda, które wydobywa się w kopalniach odkrywkowych). Następnie następuje kruszenie i mielenie surowców. Potem wytwarza się klinkier (główny składnik cementu) w piecu o temperaturze gazów sięgającej 2000°C, w której surowce, takie jak kamień wapienny (węglan wapnia) z niewielką ilością innych materiałów (na przykład gliny) ogrzewa się do temperatury 1450°C. W czasie tego procesu, zwanego kalcynacją, węglan wapnia przekształca się w tlenek wapnia (wapno), który następnie reaguje z pozostałymi składnikami surowca, tworząc nowe minerały zwane łącznie klinkierem. Ten prawie stopiony materiał schładza się następnie szybko do temperatury 100-200°C. Następnie klinkier miele się wraz z gipsem i innymi materiałami na szary pył znany jako cement (Huntzinger i Eatmon, 2009; ECAC, 2014). W związku z tym, przemysł cementowy dąży do ograniczenia zużycia energii, a zarazem zmniejszenia emisji CO₂ poprzez poprawę wydajności piecy cementowych oraz zastąpienia energochłonnej metody mokrej, metodami suchą i półsuchą. Jednakże poprawa procesji technologicznego to nie wszystko, bo znaczna część emisji CO₂ z produkcji klinkieru, głównego składnika cementu jest to emisja paliwowa. Na rysunku 5 przedstawiono procentowe udziały rodzaju emisji CO₂. Z rysunku 4 wynika, że od 54,6 do 37,5% całkowitej emisji CO₂ z produkcji klinkieru głównego składnika cementu jest emisją paliwową. W wyniku modernizacji przemysłu cementowego wyeliminowana została praktycznie energochłonna metoda mokra, która obecnie stanowi niecałe 2% produkcji w Polsce. Natomiast średnia emisja CO₂ w warunkach krajowych w roku 2008, związana z wyprodukowaniem 1 Mg klinkieru



Rys. 5. Wskaźniki procentowe emisji CO₂ paliwowej i surowcowej w zależności od metody wytwarzania klinkieru (Tomasiak i Duda, 2015)

cementowego, wyniosła około 856 kg CO₂, z tego około 60% stanowi emisja z surowca (535 kg CO₂/Mg klinkieru). Uwzględniając aktualną zdolność produkcyjną cementowni w Polsce, emisja w skali roku wynosi około 11 mln Mg CO₂ (Tomasiak i Duda, 2015).

Zasadne staje się stosowanie paliw alternatywnych na rzecz paliw kopalnianych, ponieważ frakcja biogenna zawarta w stałych paliwach wtórnych oraz biomasa (w tym osady ściekowe i inne odpady z procesów technologicznych) uważane są za neutralne w kontekście emisji CO₂. Oznacza to, że w rozliczeniach emisji CO₂ wskaźnik emisji jest zerowy. Zjawisko to jest obserwowane w przemyśle cementowym w Polsce, gdzie w ostatnich kilku latach znacznie wzrosło zużycie paliw alternatywnych, co przełożyło się na zmniejszenie średniego wskaźnika emisji dwutlenku węgla i w 2016 roku wyniósł on 816 kg CO₂/Mg klinkieru. Zgodnie z unijnym systemem handlu uprawnieniami do emisji ustalany jest dopuszczalny limit emisji dla przemysłu cementowego, który obecnie wynosi 766 kg CO₂/Mg klinkieru (Głodek-Bucyk i in., 2016).

3. Paliwa alternatywne w produkcji „cementu zrównoważonego”

Proces technologiczny wytwarzania cementu, ze względu na wielkotonażową produkcję i wysoką energochłonność, należy do procesów uciążliwych dla środowiska. Wynika to między innymi z dużego zużycia surowców wapiennych (kopalnie surowców) oraz paliw – węgla kamiennego. Wysokotemperaturowy proces wypalania klinkieru cementowego stwarza naturalne warunki do wykorzystania palnych odpadów jako substytutu węgla kamiennego (Duczkowska-Kądział i Duda, 2014). Problemem, przed którym stoi obecnie przemysł cementowy, jest konieczność dalszego ograniczenia energochłonności i emisji CO₂.

Zastosowanie palnych frakcji odpadów jako paliw alternatywnych powoduje zmniejszenie ich ilości deponowanych na składowiskach oraz spalanych w spalarniach, a w rezultacie redukcję emisji CO₂ zarówno ze składowisk, jak i ze spalarni, ponieważ przy spalaniu odpadów w cementowniach nie zwiększa się ilość emitowanego CO₂. Redukcja CO₂ związana jest również z ograniczeniem wydobycia paliw naturalnych (Uliasz-Bocheńczyk i Mokrzycki, 2004).

Produkcja cementu jest procesem technologicznym, w którym w sposób użyteczny można wykorzystać odpad w całości. Część organiczna jest źródłem ciepła w piecu a część mineralna staje się wartościowym dodatkiem do wsadu materiałowego. Cementownie w jednym procesie mogą realizować jednocześnie recykling materiałowy i odzysk energetyczny paliwa alternatywnego. Składa się ono z wody w postaci wilgoci, która zostanie odparowana w piecu, substancji organicznych, które dostarczą ciepło w wyniku spalania i części mineralnej, która po spalaniu zostanie skutecznie wbudowana w strukturę klinkieru cementowego.

Wykorzystywanie paliw alternatywnych z odpadów nie może wpływać negatywnie na pracę pieca ani na jakość produkowanego klinkieru oraz nie może powodować zwiększenia zanieczyszczenia składu gazów emitowanych do atmosfery. Paliwa alternatywne są wolnymi od zanieczyszczeń, obojętnymi emisyjnie paliwami z biomasy, czyli odpowiednio wysortowanymi palnymi odpadami posiadającymi wartość opałową. W skład ich wchodzi (Rahman i in., 2015; Mikulcic i in., 2016):

- wysegregowane i rozdrobnione frakcje palne z odpadów komunalnych i przemysłowych nienadające się do recyklingu (RDF);
- zużyte opony w całości i rozdrobnione;
- wysuszone komunalne osady ściekowe;
- biomasa;
- mączka mięsno-kostna;
- odpady ciekłe (na przykład mieszaniny zużytych olejów, rozpuszczalników).

Należy dodać, iż największą pojedynczą grupę spośród wszystkich rodzajów odpadów w Europie, pod względem ilości, stanowią odpady budowlane i rozbiórkowe, które w istotnej części składają się z betonu. Produkcja cementu może zapewnić rozwiązanie problemu, jaki stanowią

te odpady, poprzez ponowne wprowadzenie do procesu rozdrobnionego lub w inny sposób przetworzonego betonu jako zamiennika kamienia wapiennego (Kozłowski i Sawicki, 2004).

Jednocześnie trzeba podkreślić, że cały wytworzony cement musi być bezpieczny i trwały, ponieważ zostanie wykorzystany w budowlach, które mają przetrwać przynajmniej 50 lat, a czasem więcej. Z tego względu duża trwałość produktu końcowego – betonu – stanowi cechę kluczową dla zrównoważonego budownictwa.

3.1. Odpady, odpady ciekłe

Proces technologiczny polega na doborze określonych odpadów w postaci stałej (innych niż niebezpieczne), posiadających odpowiednią wartość energetyczną oraz określone parametry fizykochemiczne, na przykład tworzywa sztuczne, guma, opakowania, tekstylia, drewno i tym podobne. Odpady te poddawane są obróbce mechanicznej, polegającej na rozdrabnianiu, mieszaniu, homogenizacji oraz separacji zanieczyszczeń. Tak przygotowany przemiał jest kontrolowany i gotowy do odbioru, jako pełnowartościowe paliwo zastępcze o parametrach zgodnych z wymaganiami odbiorców. (Sobolewski i in., 2006; Ulewicz i Siwka, 2010). W piecach cementowniczych, gdzie temperatura gazów waha się od 1550°C do 1800°C, a materiału wsadowego w okolicach około 1400°C, następuje spalanie i bezpieczne ich wykorzystanie, jako odpadów palnych w procesie odzysku energii. Poziom temperatur, długie przebywanie w komorze pieca, konieczność utrzymywania nadmiaru tlenu w piecu, brak produktów spalania, powodują, że współspalanie paliw zastępczych w piecach obrotowych jest najbardziej efektywnym wykorzystaniem energii zawartej w odpadach i zgodnym z przepisami prawa ich zagospodarowaniem (Ulewicz i Maciejewski, 2011).

Odpady olejowe są niebezpiecznymi odpadami pochodzącymi ze źródeł motoryzacyjnych, kolejowych, morskich, rolniczych i przemysłowych. W Unii Europejskiej około 1 milion ton zużytego oleju jest wykorzystywana w piecach cementowych jako paliwo alternatywne. Rozpuszczalniki i zużyty olej z różnych gałęzi przemysłu mają wysoką wartość opałową i mogą być stosowane w piecu cementowym jako paliwo alternatywne przy minimalnych kosztach przetwarzania. Zakres wartości grzewczych rozpuszczalnika i zużytego oleju wynosi od 29 MJ/kg do 36 MJ/kg, a zmiany zachodzą ze względu na stosunek różnych substancji chemicznych. Zasadniczo obróbka wstępna nie jest wymagana dla zużytego rozpuszczalnika i zużytego oleju. Oba rodzaje paliwa mogą być podawane przez główny palnik lub kalcynator za pomocą układu opalania olejem opałowym. Nerozcieńczony olej odpadowy można również wykorzystać do uruchomienia procesu głównego palnika (Rahman i in., 2015; Mikulcic i in., 2016).

3.2. Zużyte opony

W trakcie spalania całej lub rozdrobnionej zużytej opony

wytwarza się ciepło, które jest wykorzystywane w procesie technologicznym wypalania klinkieru w piecach cementowych. Dzięki spalaniu opon cementownie uzyskują znaczne oszczędności wynikające z ograniczenia zużycia węgla. Równoległe inicjatywa ta posiada wiele zalet w porównaniu do wykorzystania węgla, na przykład: zmniejszona zostaje emisja do powietrza dwutlenku siarki i dwutlenku węgla, przy spalaniu opon nie powstaje popiół, zostaje polepszona jakość wypalanego klinkieru oraz zwiększona zostaje produktywność procesu. Kaloryczność opon to około 26-30 MJ/kg, a więc wartość zbliżona lub nawet wyższa od kaloryczności węgla kamiennego. Warto dodać, że spalanie w piecu cementowni jest w pełni bezpieczne, a wręcz korzystne dla środowiska, głównie dzięki temu, że jest procesem bezodpadowym. Pozostałości po spalonej oponie zostają wbudowane w struktury cementu. Efektem ekologicznym, oprócz bezodpadowej utylizacji kłopotliwego odpadu jest również ograniczenie zużycia nieodnawialnego źródła, czyli węgla, a także redukcja emisji gazów cieplarnianych – CO₂ (Duda i Wasilewski, 2014).

3.3. Osady ściekowe

Osady ściekowe (produkt uboczny oczyszczania ścieków) można również traktować jako źródło zarówno paliw alternatywnych, jak i surowca w wysokotemperaturowym procesie wytwarzania klinkieru (ECAC, 2014). Ze względu na wysokotemperaturowy proces wypalania klinkieru, cementowy piec obrotowy stwarza szczególnie korzystne warunki do współspalania komunalnych osadów ściekowych z paliwem technologicznym – pyłem węglowym. Udział masowy paliwa z osadów ściekowych w tym procesie nie przekracza zwykle 10% (Niemiec i Zamorska, 2006; Borowski, 2011). Warunki panujące w piecu powodują prawie całkowity rozkład oraz spalenie organicznych substancji palnych wprowadzonych do pieca. Ważną zaletą cementowego pieca obrotowego w stosunku do spalarni osadów lub innego urządzenia jest bezodpadowa utylizacja. Powstający produkt spalania – popiół jest całkowicie zaabsorbowany i trwale związany w klinkierze, nie stwarzając zagrożenia dla środowiska. Należy zwrócić uwagę, że osady ściekowe występują obecnie w nadmiarze, więc również potrzeba znalezienia alternatywnych sposobów ich przetwarzania staje się coraz większa (Duda i Wasilewski, 2014).

3.4. Biomasa

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki (Dz. U. 2012 poz. 1229) biomasa to stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także przemysłu przetwarzającego te produkty i części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji (Trembacz i Śląderek, 2009).

Czyste, neutralne emisyjne paliwa z biomasy wykorzystywane obecnie w przemyśle cementowym

to mączka zwierzęca, odpady drewniane, trociny i osady ściekowe. Poza tymi paliwami w światowym przemyśle cementowym spala się również wiele innych organicznych materiałów odpadowych, ale na mniejszą skalę. Odpady zawierające biomasę są głównie wstępnie przetworzonymi produktami przemysłowymi i komunalnymi – zawierającymi organiczne włókna, tkaniny i papier (ECAC, 2014; Mikulcic i in., 2016).

3.5. Mączka mięsno-kostna

Od roku 1994 w Unii Europejskiej ustanowiono zakaz stosowania mączki mięsno-kostnej jako składnika pasz dla bydła oraz zakazano składowania jej na składowiskach. Zaczęto, więc stosować mączkę mięsno-kostną jako paliwo w przemyśle cementowym. Dostępność mączki jest znacznie wyższa niż innych paliw alternatywnych, stąd na przykład we Francji około 45% rocznej produkcji mączki jest spalana w cementowniach. Jedną z wad stosowania MM-K w przemyśle cementowym jako paliwa jest zawartość wilgoci, która wynosi około 70% objętościowo a także dość niska wartość opałowa 14,47 MJ/kg. MM-K jest zwykle podawana w piecu palnikowym i może być wymagana dodatkowa ilość powietrza, jeżeli jest ona wykorzystywana w kalcynatorze. W przypadku zasilania MM-K do spalania potrzebne jest około 5-10% więcej powietrza (Rahman i in., 2015; Mikulcic i in., 2016).

4. Podsumowanie

Zrównoważony rozwój jest obecnie jednym z największych wyzwań stojących przed firmami na całym świecie, szczególnie dla tych z branży cementowej. Pod wpływem presji otoczenia zewnętrznego, firmy podejmują różne działania w tym kierunku. Oprócz poszukiwania innych metod technologicznego ograniczenia emisji CO₂ oraz poprawy efektywności energetycznej (wykorzystanie paliw alternatywnych), co jest najtańszym sposobem redukcji gazów cieplarnianych, podobnie jak w przypadku energetyki zawodowej uwzględniać nowe – wtórne metody, jak na przykład CCS (*Carbon Capture and Storage*), które polegają na wychwytywaniu i składowaniu dwutlenku węgla lub CCU (*Carbon Capture and Utility*) – wychwytywaniu i wykorzystaniu (Tomasiak i Duda, 2015).

Wynikiem stosowania w procesie produkcji cementu odpadów przemysłowych i komunalnych jest obniżenie energochłonności procesu i ograniczenie emisji szkodliwych gazów. W porównaniu z innymi metodami termicznej utylizacji, cementowy piec obrotowy posiada wiele zalet, które gwarantują bezpieczne dla środowiska spalanie różnych paliw alternatywnych. Spalanie w piecu obrotowym jest metodą bezodpadową, wszystkie produkty spalania (popiół i żużel) są absorbowane przez klinkier (Duczkowska-Kądziel i Duda 2014).

Wykorzystanie alternatywnych surowców może dawać wiele korzyści, w tym zmniejszyć potrzebę wydobywania

kamienia oraz zmniejszyć emisję CO₂, pod warunkiem, że materiały alternatywne zostały już zdekarbonizowane. Wykorzystując paliwa alternatywne do produkcji klinkieru, można zredukować emisję CO₂, czyli zmniejszyć oddziaływanie cementowni na środowisko, a także odciążać lokalne składowiska i przyczynić się do ograniczenia ilości składowanych odpadów.

Oprócz korzyści ekonomicznych i środowiskowych, wynikających z wykorzystania w procesie produkcji cementu surowców odpadowych, dąży się do zmiany ciągle jeszcze panującego w społeczeństwie wizerunku cementowni jako zakładu szkodliwego dla środowiska naturalnego. Cementownie, które praktycznie nie wytwarzają odpadów, mogą spełniać ważną rolę w ochronie środowiska, wykorzystując odpady komunalne i odpady z innych procesów technologicznych (Duda, 2002).

Literatura

- Benhelal E., Zahedi G., Hashim H. (2012). A novel design for green and economical cement 14 manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 22, 60-66.
- Bentz D. P. (2010). Powder additions to mitigate retardation in high-volume fly ash mixtures. *ACI Materials Journal*, Vol. 107, Issue 5, 508-514.
- Bondar D., Lynsdale C. J., Milestone N. B., Hassani N., Ramezani-pour A. A. (2011). Engineering properties of alkali-activated natural pozzolan concrete. *ACI Materials Journal*, Vol. 108, Issue 1, 64-72.
- Borowski G. (2011). Przetwarzanie popiołu ze spalania osadów ściekowych na materiał budowlany. *Inżynieria Ekologiczna*, 25, 251-258.
- CDIAC (2017). Carbon Dioxide Information Analysis Center, [http://cdiac.ess-dive.lbl.gov/]
- Długokencky E., Tans P. (2017). Trends in atmospheric carbon dioxide. *National Oceanic & Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory (NOAA/ESRL)*, [http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html]
- Duczowska-Kądział A., Duda J. (2014). Odpady komunalne i przemysłowe alternatywnymi surowcami i paliwami w procesie produkcji cementu. *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych*, Vol. 7, Nr 18, 172-187.
- Duda J. (2002). Produkcja cementu a ekologia. *Surowce i Maszyny Budowlane*, 2/2002, 4-6.
- Duda J., Kołosowski M., Tomasiak J. (2017). Ekologiczne i technologiczne uwarunkowania działalności Innowacyjnej w przemyśle materiałów budowlanych. *Modern Management Review*, Vol. 24, Nr 1, 7-19.
- Duda J., Wasilewski M. (2014). Innowacyjna technologia utylizacja osadów ściekowych. *Materiały z XVIII Konferencji „Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*, Zakopane, Tom 1, 68-77.
- ECAC - European Cement Association Cembureau (2014). Rola cementu w niskoemisyjnej gospodarce do roku 2050, [www.polskicement.pl].
- Głodek-Bucyk E., Śląderek F., Kalinowski W., Dudkiewicz M. (2016). Wpływ wykorzystania osadów ściekowych w technologii produkcji klinkieru portlandzkiego na poziomie emisji CO₂. *Prace Instytutu Ceramiki i Techniki Budowlanej*, Vol. 6, Nr 26, 40-50.
- Henry M., Kato Y. (2014). Understanding the regional context of sustainable concrete in Asia: case studies in Mongolia and Singapore. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 82, 86-93.
- Huntzinger D.N., Eatmon T.D. (2009). A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 17, Issue 7, 668-675.
- Jackson R. B., Le Quere C., Andrew R. M., Canadell J. G., Peters G. P., Roy J., Wu L. (2017). Warning signs for stabilizing global CO₂ emissions. *Environmental Research Letters*, Vol. 12, No. 11, 110202.
- Jin R., Chen Q., Soboyejo A. (2015). Survey of the current status of sustainable concrete production in the U.S.. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 105, 148-159.
- Kozłowski M., Sawicki M. (2004). Recykling materiałów budowlanych rozbiórkowych. *Recykling*, 11/2004, 40-41.
- Mannan M. A., Ganapathy C. (2004). Concrete from an agricultural waste-oil palm shell (OPS). *Building and Environment*, Vol. 39, 441-448.
- Mikulcic H., Jaromír Kleme J J., Vujanovi M., Urbaniec K., Dui N. (2016). Reducing greenhouse gasses emissions by fostering the deployment of alternative raw materials and energy sources in the cleaner cement manufacturing process. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 136, 119-132.
- Mobasher B. (2008). USA-concrete construction industry-cement based materials and civil infrastructure, in: *CBM-CI International Workshop*, Karachi, Pakistan, 73-90.
- Niemiec W., Zamorska J. (2006). Zarys technologii zagospodarowania niebezpiecznych odpadów organicznych. *Ekologia i Technika*, 84/2006, 14-19.
- Olivier, J., Janssens-Maenhout, G., Muntean, M., Peters, J. (2014). Trends in Global CO₂ Emissions; 2014 Report.
- Pawłowski A., Pawłowski L. (2016). Wpływ sposobów pozyskiwania energii na realizację paradygmatów zrównoważonego rozwoju. *Rocznik Ochrona Środowiska*, Vol. 18, 19-37.
- Rahman A., Rasul M. G., Khan M. M. K., Sharma S. (2015). Recent development on the uses of alternative fuels in cement manufacturing process. *Fuel*, Vol. 145, 84-99.
- Siemiątkowski G. (2013). Emisja antropogenicznych gazów cieplarnianych i ich wpływ na efekt cieplarniany. *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych*, Vol. 6, Nr 15, 81-90.
- Sobolewski A., Wasilewski R., Dreszer K., Stelmach S. (2006). Technologie otrzymywania i kierunki zastosowań paliw alternatywnych otrzymanych z odpadów. *Przemysł Chemiczny*, 85/2006, 1080-1084.
- Susilorini M. I. R., Hardjasaputra H., Tudjono S., Hapsari G., Wahyu S. R., Hadikusumo G., Sucipto J. (2014). The advantage of natural polymer modified mortar with seaweed: green construction material innovation for sustainable concrete. *Procedia Engineering*, Vol. 95, 419-425.
- Tomasiak J., Duda J. (2015). Innowacyjne techniki w przemyśle cementowym. W: *Współczesne instrumenty innowacji. Prace Naukowe WWSZiP*, Vol. 36, 153-165.
- Ulewicz M., Maciejewski P. (2011). Ekologiczne korzyści ze spalania paliw alternatywnych. *Zeszyty Naukowe WSOWL*, Nr 160, 384-402.
- Ulewicz M., Siwka J. (2010). Procesy odzysku i recyklingu wybranych materiałów. *Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej*, Częstochowa.
- Uliasz-Bocheńczyk A., Mokrzycki E. (2004). Możliwości ograniczenia emisji CO₂ w przemyśle cementowym, *Polityka Energetyczna, Tom 7, Wydawnictwo Instytut GSMiE PAN*, Kraków, 555-564.

**REDUCING CO₂ EMISSIONS
IN THE PROCESS OF CEMENT PRODUCTION**

Abstract: Emissions of carbon dioxide (CO₂) from fossil fuels and industry account for around 90% of all CO₂ emissions from human activities. Over the last three years, global CO₂ emissions have remained stable despite steady growth in the global economy. In 2017, Forecasts show an increase in emissions by 2.0% from the level of 2016, reaching a record level of 36.8 ± 2 Gt CO₂ emissions. Further economic simulations are likely to further increase emissions in 2018 (Jackson et al 2017). Considering the fact that over 5% of global CO₂ emissions are

emissions from the cement industry, the aim of the work was to determine the fuel and ecological benefits resulting from the use of alternative fuels in the cement industry. The article discusses the properties of selected alternative fuels used in cement kilns as a source of heat in co-firing with coal. The use of combustible waste fractions as alternative fuels causes a reduction in their quantity in landfills, which in turn results in a reduction of CO₂ emissions, as waste incineration in cement plants does not increase the amount of CO₂ emitted.