

Beton – niskoemisyjny materiał budowlany



tekst: dr inż. **BOŻENA ŚRODA**, Stowarzyszenie Producentów Cementu

W dzisiejszych czasach beton jest zdecydowanie najpowszechniej stosowanym materiałem budowlanym na świecie. Prognozy wskazują, że nie ma dla niego realnej alternatywy i jego zużycie będzie rosło, szczególnie w krajach rozwijających się. Beton jest tani, dostępny lokalnie i łatwy w użyciu, a dodatkowo cechuje się wszechstronnym zastosowaniem i nie ma konkurencji w wielu kluczowych konstrukcjach, np. w takiej infrastrukturze, jak mosty czy tamy. Ponadto, wbrew powszechnej opinii, w porównaniu z innymi materiałami budowlanymi beton jest produktem niskoemisyjnym.

Do produkcji betonu używa się cementu, kruszywa i wody oraz domieszek chemicznych dla poprawy jego właściwości. W kompozytowej strukturze betonu cement stanowi spoiwo zapewniające jego zwartą strukturę, wytrzymałość do przenoszenia obciążeń i odporność na warunki środowiskowe.

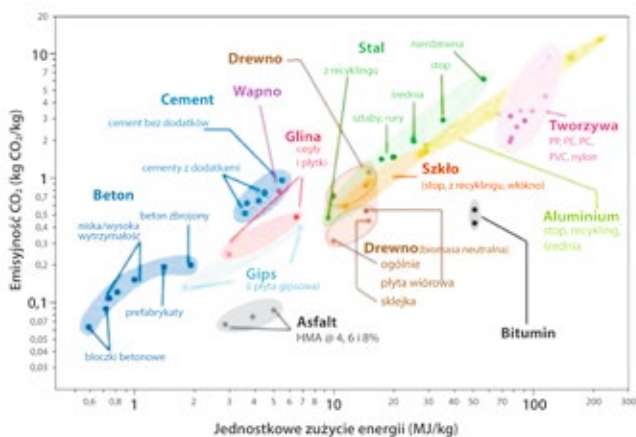
Obecnie cement jest produktem wytwarzanym przez człowieka w największych ilościach na świecie – od lat 70. XX w. jego produkcja na świecie wzrosła z poziomu 500 mln t rocznie do ponad 4 mld t w 2018 r. Przewiduje się, że wraz z rosnącą liczbą ludności na świecie i urbanizacją produkcja cementu może wzrosnąć o kolejne 20% (według prognoz ONZ liczba ludzi na świecie wzrośnie do ponad 9 mld w 2050 r., w tym w miastach z 3,6 do 6 mld). Nadal będą budowane z betonu domy i biurowce, drogi, mosty, zakłady przemysłowe, nowa infrastruktura transportowa, podstawy turbin wiatrowych, zapory hydroelektryczne czy elektrownie pływowe.

Produkcja cementu jest odpowiedzialna za ok. 5% emisji CO₂ na świecie. Coraz większa presja na dekarbonizację produkcji cementu zmusza producentów do poszukiwania różnych rozwiązań redukujących tę emisję. Te poszukiwania muszą obejmować cały łańcuch dostaw, ponieważ w przypadku nowoczesnych, efektywnych energetycznie technologii produkcji cementu możliwości redukcji na tym etapie są znacznie ograniczone.

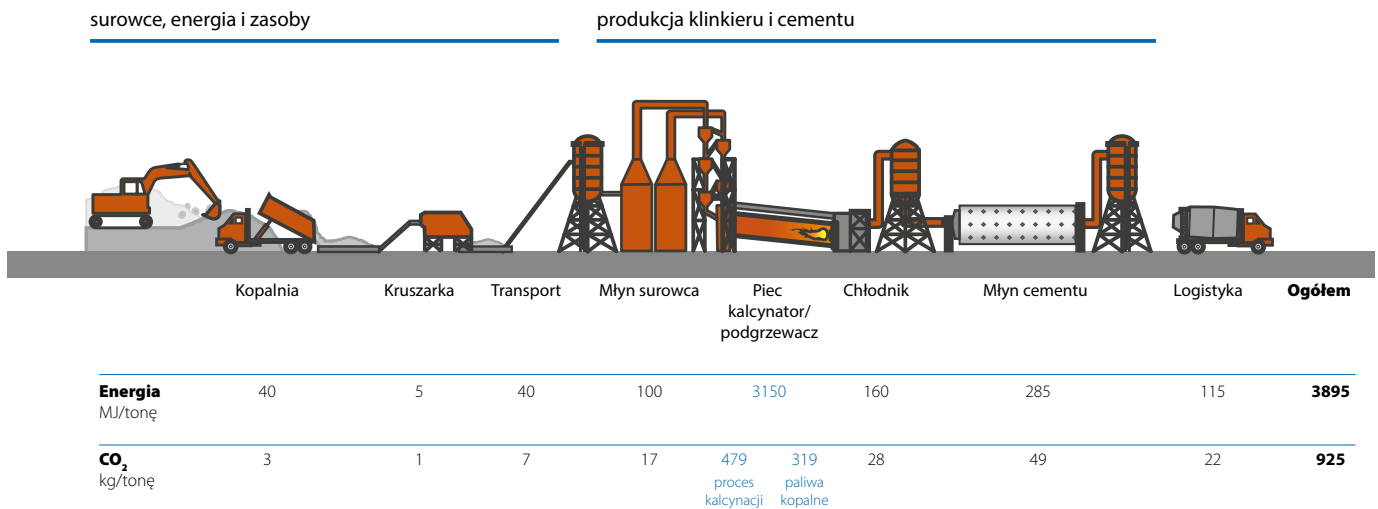
Redukcja emisji CO₂ z produkcji cementu stanowi szczególne wyzwanie, ponieważ tylko ok. 40% bezpośredniej emisji pochodzi ze spalania paliw, natomiast pozostałe 60% CO₂ wynika z rozkładu surowców poddawanych obróbce termicznej w piecu cementowym. Jak w wielu innych procesach przemysłowych, należy także uwzględnić emisję CO₂ wynikającą ze zużycia energii elektrycznej. Dopiero wdrożenie innowacyjnych rozwiązań technologicznych i produktowych oraz podejście w dłuższym horyzoncie czasowym może przynieść znaczące efekty w tym zakresie.

W opublikowanym w grudniu 2019 r. przez Komisję Europejską komunikacie dotyczącym Europejskiego Zielonego Ładu zostały wyznaczone nowe cele redukcyjne w dążeniu do osiągnięcia neutralności emisyjnej w roku 2050. Poziomym odniesienia dla realizacji tych celów jest emisja CO₂ z roku 1990 i w skorygowanym podejściu cel redukcyjny dla roku 2030 zwiększono z 40 do 55%, aby w roku 2050 zrealizować zakładane 100% redukcji. Po opublikowaniu nowych celów redukcyjnych sektor cementowy w Europie, reprezentowany przez Europejskie Stowarzyszenie Cementowe Cembureau, był zmuszony zweryfikować dotychczasowe podejście i przygotować bardziej ambitną wizję działań redukcyjnych, która została zaprezentowana w opublikowanej 12 maja 2020 r. Mapie drogowej do 2050 r. *Spajamy Europejski Zielony Ład*.

Istotnym narzędziem w polityce klimatycznej jest ocena śladu węglowego produktów, która wymaga przeanalizowania całego cyklu życia wyrobu. W przypadku sektora cementowego analiza cyklu życia obejmuje kilka etapów, począwszy od wydobycia surowców i wyprodukowania klinkieru, przez produkcję cementu i mieszanki betonowej, powstanie konstrukcji, a skończywszy na jej rozbiórce. Rozbiórka konstrukcji stanowi koniec pierwszego cyklu życia, a drugie zaczyna się, gdy całe elementy ze starej konstrukcji lub w postaci kruszywa zostaną ponownie użyte. Chcąc rzetelnie ocenić ślad węglowy betonu, powinno się także uwzględnić dodatkowy proces, który ma miejsce podczas użytkowania konstrukcji betonowej – karbonatyzację, czyli proces pochłaniania CO₂ przez beton. W opublikowanej Mapie drogowej Cembureau przeanalizowano wszystkie etapy pod kątem możliwości redukcji emisji CO₂ na każdym z nich. Realizacja celów redukcyjnych będzie wymagała podjęcia szeroko zakrojonych



Ryc. 1. Emisyjność różnych materiałów budowlanych



Ryc. 2. Schemat poglądowy procesu produkcji cementu

działań – od szukania dalszych ulepszeń technologii produkcji cementu, przez badania nad wdrożeniem przełomowej technologii wychwytywania i zagospodarowania CO₂, po optymalizację wykorzystania materiału w konstrukcji i ponowne wykorzystanie materiału z odzysku. Analiza wykazała, że od roku 1990, jako poziomu odniesienia dla redukcji emisji, europejski przemysł cementowy w ciągu ostatnich 30 lat obniżył średnią jednostkową emisję CO₂ na tonę cementu o ok. 15%. W Polsce dzięki gruntownej modernizacji i przebudowie zakładów cementowych poziom tej redukcji wyniósł aż 40%. Na schematach zestawiono ścieżki dojścia do odpowiednich poziomów redukcji CO₂ do 2030 i 2050 r.

W cyklu produkcyjnym betonu największa część emisji CO₂ powstaje na etapie produkcji klinkieru portlandzkiego. Jest to składnik cementu, którego wytworzenie wymaga podgrzania surowców do 1450 °C, a dodatkowo przy jego produkcji jest uwalniany CO₂ w procesie kalcynacji surowców. Znaczący efekt redukcyjny emisji CO₂ można osiągnąć, ograniczając ilość klinkieru portlandzkiego w cemencie. Tradycyjny cement portlandzki bez dodatków zawiera w swoim składzie powyżej 90% klinkieru portlandzkiego i jest głównie wytwarzany z kamienia wapiennego.

Wyprodukowanie 1 t klinkieru wymaga średnio 3,7 GJ ciepła i powoduje emisję ok. 850 kg CO₂. Niższa emisja w przypadku redukcji wskaźnika klinkier / cement (obecnie w Polsce wskaźnik ten wynosi 75%) wynika z mniejszej emisji procesowej pochodzącej z kalcynacji surowców i jednocześnie z niższego zapotrzebowania ciepła do wytworzenia minerałów klinkierowych. Ilość klinkieru portlandzkiego, który może być zastąpiony w cemencie innymi dodatkami, reguluje norma cementowa, a także zależy od rodzaju tych dodatków, klasy betonu i jego zastosowania w danej konstrukcji.

W 2018 r. przemysł cementowy w Polsce zużył niemal 2 mln t żużli wielkopieczowych, ponad 1 mln t popiołów lotnych oraz ponad 650 tys. t kamienia wapiennego jako dodatków przy produkcji cementu. Odpadowe, zdekarbonizowane materiały zastępujące kamień wapienny są także stosowane w piecu cementowym przy produkcji samego klinkieru portlandzkiego. W 2018 r. zużyto ponad 1 mln t tego typu dodatków.

Na świecie od wielu lat prowadzi się badania nad możliwością wykorzystania alternatywnych materiałów, które mogłyby efektywnie zastąpić część klinkieru portlandzkiego w cemencie. Obejmują one szeroki zakres poszukiwań, jak alternatywne

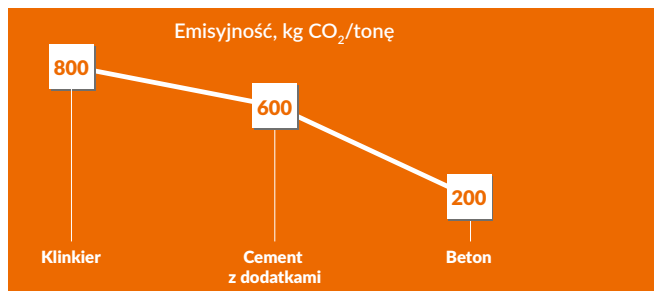
klinkieru, np. klinkier belitowy, zamienniki klinkieru w cemencie, aktywowane spoiwa alkaliczne. Innym sposobem redukcji emisji CO₂ na etapie produkcji klinkieru jest wykorzystanie paliw alternatywnych.

W cementowni emisja CO₂ z paliw stanowi ok. 35–40% łącznej emisji z produkcji cementu. Zastąpienie paliw kopalnych (węgiel) paliwami alternatywnymi produkowanymi z różnych frakcji odpadów, które zawierają węgiel biogeny i biomasę, pozwala na częściową redukcję emisji paliwowej. W Europie w roku 2018 paliwa alternatywne stanowiły 48% łącznego zużycia paliwa w piecach cementowych. W tym samym roku w Polsce poziom zastąpienia ciepła z paliw alternatywnych wyniósł 65% i nie ma przeszkód technicznych, aby zwiększyć zużycie paliw alternatywnych do ponad 90%.

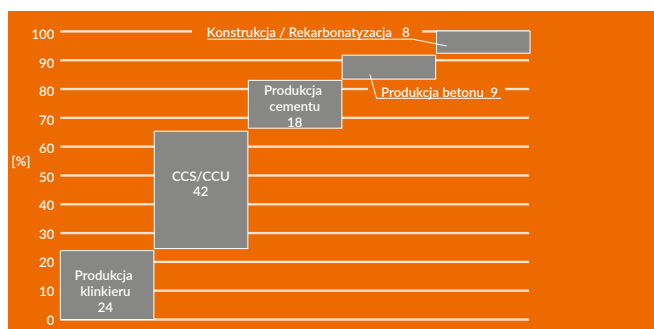
Jednak najskuteczniejszą technologią redukcji emisji CO₂ z cementowni jest metoda wychwytywania CO₂, a następnie jego składowanie w strukturach geologicznych lub wykorzystanie jako surowca w różnych technologiach (*carbon capture usage and storage – CCUS*). Już od kilku lat trwają pilotażowe badania nad tą technologią, ale obecnie przyjmuje się, że wdrożenie na skalę przemysłową może nastąpić dopiero po roku 2040.

Jak w każdym innym procesie przemysłowym, w cementowni zużywa się energię elektryczną. W przyszłości planuje się, że energia będzie w 100% odnawialna. Również transport surowców czy paliw dostarczanych do cementowni oraz transport produktów cementowych do odbiorców końcowych przyczynia





Ryc. 3. Zmiana emisyjności w cyklu produkcyjnym betonu



Ryc. 4. Potencjał redukcyjny w całym łańcuchu wartości cementu i betonu do roku 2050, źródło: Cembureau

się do emisji CO₂. Wprowadzenie zeroemisyjnych form transportu i przejście na pojazdy napędzane silnikami elektrycznymi, wodorowymi lub ich kombinacją, w tym hybrydowymi, wykorzystującymi energię elektryczną, biodiesel i wodór, umożliwi redukcję tej części emisji.

W porównaniu z emisją CO₂ z produkcji cementu jej ilość pochodząca z samej produkcji betonu jest znacznie niższa. Największą część emisji CO₂ pochodzi pośrednio z transportu betonu do użytkownika końcowego na plac budowy oraz wynika ze zużycia energii niezbędnej do pompowania mieszanki. Zakłada się, że do roku 2050 całość transportu będzie realizowana pojazdami bezemisyjnymi. Rozwój cyfryzacji procesów wytwarzania i zastosowania betonu pozwoli na lepszą kontrolę i zmniejszenie emisji CO₂.

Dzięki temu wykonawcy będą zamawiać na plac budowy dokładnie taką ilość betonu, jaka jest potrzebna. Cyfryzacja pomoże w wykorzystaniu kruszywa o odpowiednim uziarnieniu i optymalizacji dozowania domieszek, a także monitorowaniu betonu podczas transportu i zapewnieniu prawidłowego betonowania. Dane o cemencie i betonie będą dostępne dla wykonawcy oraz nabywców budynku, co pozwoli im określić jego ślad węglowy, źródło materiałów wykorzystanych do budowy, a także monitorować parametry energetyczne budynków w okresie ich użytkowania. Eksploatacja budynku wykonanego z betonu to kolejny etap cyklu życia betonu.

Obecnie w Europie 72% łącznej emisji CO₂ związanej z przeciętnym budynkiem pochodzi ze zużycia energii w okresie jego eksploatacji. Dzięki masie termicznej betonu w budynkach można obniżyć zużycie energii o 25%, a nawet do 50% w okresach szczytowego zapotrzebowania. Możliwe jest także zmniejszenie ilości betonu w budynkach i innych obiektach budowlanych przez jego efektywniejsze wykorzystanie przy jednoczesnym zagwarantowaniu trwałości i odpowiedniego okresu użytkowania budowli. W pewnych rodzajach budynków można obniżyć emisję CO₂ nawet o 30% przez zastosowanie odpowiedniego projektu konstrukcji. Wznoszenie budynków można usprawnić, np. stosując druk 3D.

Budynki biurowe często projektuje się pod wiele funkcji, dzięki czemu jeżeli popyt na przestrzeń biurową w danym rejonie spadnie, biurowiec można przekształcić w budynek mieszkalny. Budynki o konstrukcji betonowej można przystosować do potrzeb najemcy jako budynki o funkcji mieszanej. Trwałość i długowieczność betonu znakomicie umożliwia takie przebudowy ze względu na zmieniające się potrzeby rynkowe. W przypadku starszych budynków istnieje tendencja do ponownego wykorzystania betonowej konstrukcji budynku zamiast jej całkowitego wyburzenia.

W modelu projektowania pod rozbiórkę budynek od początku opracowuje się z uwzględnieniem jego rozbiórki, a następnie ponownego użycia elementów. Podejście to umożliwia łatwy demontaż materiałów i elementów w celu ich ponownego użycia do wzniesienia nowego budynku.

Także w budownictwie drogowym beton ma przewagę nad tradycyjnymi nawierzchniami asfaltowymi – w badaniach stwierdzono, że występują niższe opory toczenia między kołem a podłożem z betonu, co przynosi oszczędności w zużyciu paliwa. Dodatkowo nawierzchnia betonowa wymaga mniej remontów, a dzięki jaśniejszej barwie ma wyższą odbijalność światła, co może ograniczyć potrzebę oświetlania ulic oraz efekt wyspy termicznej w obszarach zabudowanych.

Ponadto beton jest materiałem, który po rozbiórce można wykorzystać ponownie bez zaawansowanych procesów przetwarzania. Beton z wyburzenia można rozdrobnić i ponownie wykorzystać jako kruszywo lub materiał do budowy dróg albo jako surowiec do produkcji cementu. Obecnie jednak, ze względu na niższe zużycie energii, promuje się wykorzystywanie w pierwotnej formie całych elementów betonowych z rozbiórki. Również w przypadku ponownego wykorzystania elementów z rozbiórki można uwzględniać masę termiczną betonu.

Z punktu widzenia realizacji celów polityki klimatycznej beton ma jeszcze jedną przewagę nad innymi materiałami budowlanymi – posiada potencjał powolnego pochłaniania CO₂. W okresie eksploatacji budowli betonowej proces pochłaniania odbywa się głównie na powierzchni użytkowanych konstrukcji, a po rozdrobieniu powierzchnia pochłaniania wzrasta i rośnie wraz z czasem ekspozycji kruszywa betonowego na oddziaływanie atmosferycznego CO₂.

Na koniec warto zwrócić uwagę na jeszcze jeden aspekt możliwości redukcyjnych wynikających z odpowiedniego zastosowania betonu i poprawy śladu węglowego przemysłu cementowo-betonowego. Jest nią odejście od dominacji cementu portlandzkiego jako podstawowego składnika we wszystkich rodzajach betonu w kierunku zróżnicowania wykorzystania różnych rodzajów cementów w zależności od zastosowania w konstrukcjach. Jest to możliwe, biorąc pod uwagę szeroki zakres tych zastosowań, jak zaprawy, bloczki betonowe czy beton zbrojony. Uzasadnione byłoby dopasowywanie odpowiednich cementów do odpowiednich zastosowań – od cementów niskoemisyjnych po cementy wysokoemisyjne, które byłyby zarezerwowane tylko dla tych zastosowań, w których ich specyficzne parametry są niezbędne. Realizacja takiego podejścia będzie wymagała wdrożenia na dużą skalę cyfrowych systemów produkcji, dzięki którym będzie możliwe bardziej efektywne pod względem zużycia materiałów projektowanie i wykonywanie elementów konstrukcji budowlanej.

