

Przemysław Kaprzyk¹⁾

Optimalizacja składu mieszanek betonowych stosowanych w prefabrykacji w celu zmniejszenia śladu węglowego

Gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ), zrównoważony rozwój, dekarbonizacja, ślad węglowy – to zagadnienia obecnie najczęściej omawiane na konferencjach, sympozjach i wydarzeniach związanych z budownictwem i technologią betonu. Beton, po wodzie, jest najczęściej stosowanym materiałem na świecie. Szacuje się, że cement odpowiada za 5% światowej emisji CO₂. Optimalizując skład mieszanki betonowej, największą redukcję osiągniemy, zmniejszając ilość cementu lub zmieniając go. Analiza cyklu życia wyrobu (LCA) jest czasochłonna, wymaga wielu danych nie tylko z poziomu użytkownika, ale również od dostawców surowców, a nie wszyscy dysponują deklaracjami EPD, więc niektóre dane będą wartościami zażyżonymi, uśrednionymi. Jak technolog betonu może zoptymalizować ślad węglowy projektowanych mieszanek betonowych? Jedną z najprostszych metod będzie obliczenie „zgrubne” ilości cementu oraz zawartości GWP (*Global Warming Potential* – potencjału globalnego ocieplenia – wartość brutto), która obejmuje emisje CO₂ pochodzące ze spalania paliw alternatywnych (odpadowych) z wyłączeniem frakcji biomasy. Cementownie mają EPD lub są w stanie przekazać tzw. self declaration. Taka prosta symulacja będzie miała zastosowanie przy zbliżonych odległościach dostaw pomiędzy różnymi dostawcami cementu do wytwórni prefabrykatów.

Stosowanie cementów portlandzkich CEM I to w prefabrykacji betonowej standard... tak przynajmniej było. W związku z programem Fit for 55 do 2030 r. gospodarka w UE musi o 55%

¹⁾ Consolis Polska Sp. z o.o.; przemyslaw.kaprzyk@consolis.com

zredukować ilość CO₂ oraz pozostałych gazów cieplarnianych w stosunku do 1990 r. Cementownie zostały zmuszone do wycofania z oferty cementów o największym śladzie węglowym i wprowadzają wiele zmian oraz modernizacji, aby ich produkty były eko. Znaczącą zasadę: cement (ilość/typ) – czas – ciepło, wiemy, że zmieniając typ cementu, trzeba będzie wydłużyć czas dojrzewania lub podnieść temperaturę dojrzewania. A co w przypadku, gdy nie chcemy tego robić? Obróbka cieplna to energia, która generuje często znaczną ilość CO₂. Zakładając stały czas oraz warunki dojrzewania takie same jak w przypadku cementu CEM I, mamy do wyboru m.in. obniżenie wskaźnika w/c, stosowanie domieszek chemicznych – superplastyfikatorów na bazie PCE (polikarboksyłanowe), oraz domieszek przyspieszających wiązanie/twardnienie.

Rozwiązań zmniejszających ślad węglowy mieszanek betonowych/prefabrykatów jest wiele. W artykule przybliżę wpływ zmiany cementu na wielkość generowanego śladu węglowego.

Założenia do analizy

Do analizy przyjęto dwa typy mieszek betonowych: o konsystencji wilgotnej, stosowanej w produkcji płyt stropowych typu HC oraz o konsystencji SF2 wykorzystywanej do wytwarzania elementów zbrojonych – ścian, belek i słupów. Ich skład to:

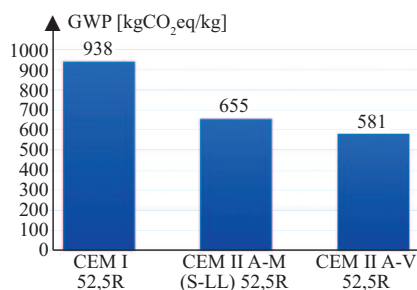
- cement CEM I 52,5R Lafarge, cementy o mniejszym śladzie węglowym – CEM II 52,5R A-M (S-LL) Dynamik Lafarge oraz CEM II A-V 52,5R Cemex;
- kruszywa naturalne – piasek 0/2; żwir 2/8 oraz 8/16;
- domieszki: przyspieszające wiązanie oraz superplastyfikatory;

- woda wodociągowa;
- w mieszankach SF2 – mączka wapienna.

Podstawowe właściwości cementów wykorzystanych w analizie przedstawiono w tabeli 1, a ich GWP na rysunku 1.

Tabela 1. Podstawowe właściwości fizyko-mechaniczne cementów oraz ich ślad węglowy

Parametr	CEM I 52,5R Turbo	CEM II A-M (S-LL) 52,5R Dynamik	CEM II A-V 52,5R
Początek czasu wiązania	198	213	225
Koniec czasu wiązania	249	263	265
Wytrzymałości na ściskanie: (2 dni/28 dni) [MPa]	39,7/63,9	37,2/63,6	25,0/57,6
Powierzchnia właściwa wg Blaine'a [cm ²]	4676	5294	4945
GWP(A1-A3) brutto [kgCO ₂ eq/kg]	938	655	581



Rys. 1. GWP brutto cementów wykorzystanych do analizy optymalizacji składu mieszanek betonowych

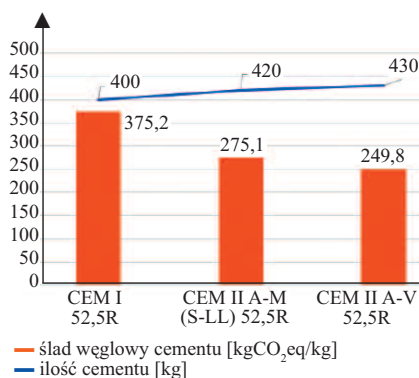
Mieszanki betonowe o konsystencji wilgotnej do wytwarzania płyt stropowych typu HC

Założenia dotyczące betonu to: klasa wytrzymałości na ściskanie C50/60, wytrzymałość wymagana do sprężenia 40 MPa, klasy ekspozycji XC1-XC4,

XD1-XD3. Pierwotnie zakładano stosowanie kruszyw naturalnych, cementu w ilości 400 kg/m³, brak domieszek chemicznych, brak popiołów lub innych dodatków i planowano tak dobrać skład mieszanki betonowej, aby uzyskać mniejszy ślad węglowy bez zmiany sposobu dojrzewania oraz używania domieszek chemicznych. W tabeli 2 zestawiono najlepsze wyniki z przeprowadzonych prób (wykonano zaroby w różnych konfiguracjach przy zawartości cementu 400, 420, 430 kg). Zwiększenie ilości cementu CEM II A-V 52,5R o 30 kg/m³ pozwoliło osiągnąć oczekiwaną wczesną wytrzymałość, a dzięki małej wartości parametru GWP uzyskać redukcję CO₂ aż o 33% (rysunek 2).

Tabela 2. Charakterystyka analizowanych mieszanek betonowych o konsystencji wilgotnej – do produkcji płyt stropowych typu HC

Charakterystyka	Receptura		
	bazowa	„dynamik”	„A-V”
CEM I 52,5R Turbo	400	–	–
CEM II A-M (S-LL) 52,5R	–	420	–
CEM II A-V 52,5R	–	–	430
Wytrzymałość po 12 h [MPa]	42,1	41,7	40,8
Wytrzymałość po 24 h [MPa]	52,1	50,5	49,6
Wytrzymałość po 28 dniach [MPa]	74,2	75,5	74,9
CO ₂ brutto z cementu [kgCO ₂ eq/kg]	375,2	275,1	249,8
Redukcja CO ₂ [%]		-27	-33



Rys. 2. Porównanie ilości cementu do jego śladu węglowego (betony o konsystencji wilgotnej)

Mieszanki betonowe o konsystencji płynnej SF2 do wytwarzania elementów zbrojonych

Założenia dotyczące betonu to: klasa wytrzymałości na ściskanie C40/50, wytrzymałość wymagana do rozformowania 24 MPa, klasy ekspozycji XC1-XC4, XD1-XD3. Pierwotnie zakładano stosowanie naturalnego kruszywa otoczkowego, mączki wapiennej, cementu CEM I 52,5R Turbo Lafarge, superplastyfikatora oraz domieszki przyspieszającej wiązanie. Wykonano próby mające na celu znalezienie najsilniejszego superplastyfikatora – sprawdzono domieszki trzech różnych producentów. Na podstawie wcześniejszych doświadczeń oraz nowych zarobów próbnych wytypowano domieszki Sika 34RS. W kolejnym kroku sprawdzono domieszki przyspieszające – dwie domieszki do cementów z grupy CEM II (na etapie prób nie znano ich nazw handlowych).

Na podstawie doświadczeń i kalkulacji zawartości CO₂ skupiono się na optymalizacji składu mieszanki betonowej z cementem CEM II A-V 52,5R Cemex (tabela 3), gdyż z zastosowaniem tego materiału można było uzyskać największą redukcję CO₂ bez zmian cyklu produkcyjnego/dodatkowej energii cieplnej.

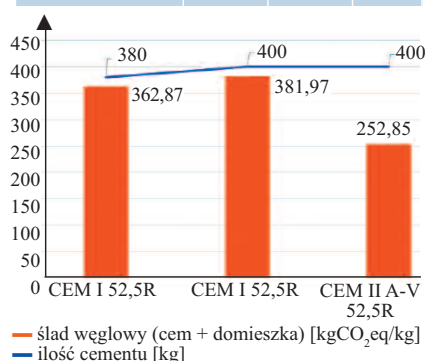
GWP brutto w przypadku superplastyfikatorów wynosi 1,88 kgCO₂eq/kg, a dodatek domieszki przyspieszającej powoduje wzrost o ok. 4% ilości CO₂ (GWP brutto w przypadku domieszek przyspieszających zgodnie z EPD dostawcy wynosi 2,28 kgCO₂eq/kg). Zmiana cementu na niskoemisyjny oraz dodatek domieszki przyspieszającej w ilości 1,5% pozwoliły zredukować emisję CO₂ o 34% przy takiej samej ilości cementu oraz o 30% przy dozowaniu cementu zwiększonym o 20 kg (rysunek 3).

Wnioski

Stosowanie cementów o małym śladzie węglowym to już nie fanaberia, a konieczność. Cementownie dzięki doświadczeniu oraz zmianom w procesie produk-

Tabela 3. Charakterystyka analizowanych mieszanek betonowych o konsystencji SF2 do produkcji elementów zbrojonych

Charakterystyka	Receptura		
	bazowa 1	bazowa 2	A-V
CEM I 52,5R Turbo [kg]	380	400	–
CEM II A-V 52,5R [kg]	–	–	400
Superplastyfikator Sika 34RS [%]	0,90	–	0,90
Superplastyfikator Sika 2030 [%]	–	0,90	–
Domieszka przyspieszająca [%]	–	–	1,50
Wytrzymałość po 12 h [MPa]	28,89	25,44	24,20
Wytrzymałość po 24 h [MPa]	44,60	47,4	39,3
Wytrzymałość po 28 dniach [MPa]	71,25	74,05	69,75
CO ₂ brutto z cementu [kgCO ₂ eq/kg]	356,44	375,2	232,4
CO ₂ brutto z domieszek [kgCO ₂ eq/kg]	6,43	6,77	6,77
Σ CO ₂ (cem + dom) [kgCO ₂ eq/kg]	362,87	381,97	252,85



Rys. 3. Porównanie ilości cementu do jego śladu węglowego (betony o konsystencji SF2)

cji modyfikują swoje wyroby, tak aby wytrzymałość wczesna mieszanki betonowej tylko nieznacznie odbiegała od tej w przypadku użycia cementów czysto portlandzkich. W połączeniu z odpowiednio dobraną domieszką chemiczną pozwala to na osiągnięcie wymaganej wytrzymałości wczesnej mieszanki bez zmian w czasie dojrzewania oraz, co najważniejsze, bez wprowadzania dodatkowej obróbki cieplnej. Przeprowadzone próby wykazały możliwość efektywnego zredukowania ilości CO₂ bez zmian w procesie produkcji.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

www.s-p-b.pl



ROK ZAŁOŻENIA 1994