

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono analizę aspektów środowiskowych betonów samozagęszczalnych w zakresie ich śladu węglowego. Ślad węglowy jest jedną z najpowszechniej stosowanych miar wpływu badanego materiału na środowisko. Wynika to z faktu, iż problem globalnego ocieplenia stanowi jedno z największych wyzwań obecnych czasów. Dlatego obok analizy aspektów technicznych analizowanych rozwiązań materiałowych coraz większe znaczenie ma ich wpływ na środowisko. Niezbędna w tym celu jest właściwa analiza uwzględniająca cały cykl życia produktu. Szczególnie jest to istotne w przypadku betonów samozagęszczalnych, które z uwagi na większą zawartość spoiwa nie są postrzegane jako materiał spełniający zasady zrównoważonego rozwoju. Rozwiązaniem powyższego problemu było opracowanie betonów samozagęszczalnych o niższej zawartości cementu.

Celem rozprawy była próba bardziej wiarygodnego określenia śladu węglowego betonów samozagęszczalnych.

Zbadano trzy serie betonów samozagęszczalnych – Green SCC, Regular SCC i Skanska SCC. W każdej z serii wykonano dwa rodzaje próbek – typowe próbki kostkowe o boku 100 mm oraz próbki kruszywowe, które miały odzwierciedlać gruz betonowy po rozbiórce konstrukcji. W tym celu po okresie pielęgnacji, przygotowane specjalnie próbki walcowe zostały przekruszone na ziarna wielkości 8 – 31,5 mm. Próbki zostały umieszczone w komorze do karbonatyzacji betonu na okres 56, 112 i 168 dni. W komorze zapewniono stałe warunki stężenia CO₂ równego 1%, temperatury równej 21°C i wilgotności względnej równej 60%. Po upływie poszczególnych założonych okresów, została określona głębokość zasięgu karbonatyzacji metodą wskaźnikową oraz FTIR. W metodzie wskaźnikowej użyto 10% wodnego roztworu fenoloftaleiny oraz Rainbow Test. Z uwagi na fakt, iż zakres zmiany zabarwienia wskaźnika Rainbow Test pokrywał się ze zmianami wskazanymi przez roztwór fenoloftaleiny w kolejnych okresach badań (112 i 168 dni) użyto jedynie roztworu fenoloftaleiny. Uzyskane wyniki wykazały, iż głębokość karbonatyzacji była największa dla próbek betonu Green SCC, zaś najmniejsza dla próbek Regular SCC. Wyniki głębokości Skanska SCC były bardzo zbliżone do wyników Regular SCC.

Dla przeprowadzenia analizy spektrometrycznej opracowano nowatorską metodę pobierania materiału do badań. Dotychczasowa metoda polegająca na wierceniu próbki na zadaną głębokość nie dawała pewności czy rozwiercony materiał pochodził z kruszywa czy matrycy cementowej, w której zachodzi karbonatyzacja. Dla potwierdzenia poprawności przyjętych

założeń dotyczących zalet nowatorskiej metody szlifowania (skrawania) wykonano analizę porównawczą dla próbek przechowywanych w komorze przez 56 dni. Wyniki analizy spektrometrycznej wykazały, iż materiał pobrany z tych samych próbek różnymi metodami wykazał większy postęp karbonatyzacji dla próbek pobranych metodą szlifowania (skrawania) dla wszystkich serii. W celu potwierdzenia powyższych obserwacji próbki przechowywane przez 168 dni poddano analizie termogravimetrycznej z różnicową analizą termiczną. Uzyskane wyniki potwierdziły, iż metoda szlifowania (skrawania) pozwala uzyskać dokładniejsze wyniki analizy karbonatyzacji w porównaniu do pobierania materiału metodą wiercenia.

Pozostałe próbki w analizie FTIR zostały przygotowane przy zastosowaniu metody szlifowania (skrawania). Uzyskane wyniki jednoznacznie wykazały postęp procesu karbonatyzacji wraz z wydłużeniem okresu przechowywania próbek w komorze do karbonatyzacji betonu. Analiza FTIR w porównaniu do metody wskaźnikowej wykazała znacznie większy postęp karbonatyzacji we wszystkich badanych próbkach. Wraz z wydłużeniem okresu przechowywania betonu w komorze do karbonatyzacji betonu różnica w uzyskanych wynikach uległa zwiększeniu. Wyniki próbek kruszywowych wykazały, iż we wszystkich okresach próbki wykazały równomierny postęp karbonatyzacji – wyniki spektrogramów próbek pobranych na powierzchni i ze środka były jednakowe. Uzyskane wartości dla próbek kruszywowych wskazywały na większy postęp karbonatyzacji w stosunku do wyników próbek kostkowych w poszczególnych okresach.

Na podstawie analizy termicznej próbek przechowywanych przez 168 dni określono ilość pochłoniętego dwutlenku węgla. Uzyskane wyniki pozwoliły na określenie całkowitego śladu węglowego badanych betonów, uwzględniających również etap po rozbiórce konstrukcji. Zarówno analiza śladu węglowego na etapie produkcji, jak również analiza całego cyklu życia przeprowadzona w oparciu o analogię opisaną w literaturze (Kikuchi & Kuroda, 2011) wykazała, iż nie beton o niższej zawartości cementu (Green SCC) miał najniższy ślad węglowy, a beton stosowany w praktyce inżynierskiej (Skanska SCC) wykonany z cementu CEM III. Zatem ilość cementu nie jest determinującym czynnikiem wpływu betonu na środowisko.

Uzyskane wyniki ilości pochłoniętego dwutlenku węgla w całym cyklu życia badanych betonów samozagęszczalnych zostały porównane z teoretyczną ilością pochłoniętego CO₂ w całkowicie skarbonatyzowanym betonie zgodnie z normą PN – EN 16757:2017 – 07

[N13]. Ponadto wyniki analizy porównano również z teoretycznymi modelami opisanymi w literaturze. Wyniki uzyskane w badaniach były zbieżne jedynie z teoretycznym modelem opisanym przez Woyciechowskiego (Woyciechowski, 2013). Zgodnie z postawioną w pracy tezą opisane w normie PN – EN 16757:2017 – 07 [N13] teoretyczne wartości są znacznie przeszacowane, przy założeniu rozważania cyklu życia betonu, a nie geologicznej skali czasu (Habert, 2015).