

Gliwice, 16.06.2014r.

Dr hab. inż. Zbigniew Giergiczny prof. nzw. w Pol. Śl.
Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych
Wydział Budownictwa
Politechnika Śląska

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Daniela Zawala „Wpływ karbonatyzacji i biodepozycji węgla wapnia w kruszywie z recyklingu na wybrane parametry betonu”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę opracowania recenzji stanowią:

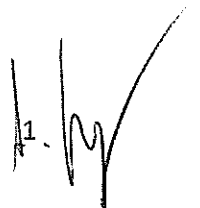
- pismo dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie (Nr BIS -223/2/2014) z dnia 19.05.2014r. informujące o powołaniu mnie przez Radę Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW w Warszawie na recenzenta rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Daniela Zawala p.t. „Wpływ karbonatyzacji i biodepozycji węgla wapnia w kruszywie z recyklingu na wybrane parametry betonu”.
- rozprawa doktorska pt.: „Wpływ karbonatyzacji i biodepozycji węgla wapnia w kruszywie z recyklingu na wybrane parametry betonu” – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska - Warszawa, 2014.

2. Ocena rozprawy doktorskiej

Za cel realizowanej rozprawy doktorskiej o charakterze doświadczalno-studialnym doktorant przyjął próbę wyjaśnienia problemu, w jakim stopniu modyfikacja kruszywa z recyklingu metodami karbonatyzacji oraz biodepozycji węgla wapnia może przyczynić się do poprawy właściwości wykonanego z jego użyciem betonu.

Sformułowanie celu rozprawy wynikało z dwóch istotnych przesłanek:

- pochłaniania przez powierzchnię kruszonego betonu CO₂ z powietrza, co jest istotne z punktu widzenia ochrony środowiska i bilansu emisji gazów cieplarnianych związanych z produkcją cementu (ok. emisja ok. 800÷900kg CO₂ przy produkcji 1 tony klinkieru cementowego). Zdaniem doktoranta sprawą otwartą, z naukowego punktu widzenia jest, jak skarbonatyzowane kruszywo wpłynie na jakość betonu? Badania prowadzone z tak pozyskanym kruszywem autor nazwał metodą karbonatyzacyjną;
- wykorzystania mikroorganizmów, których metabolizm może przyspieszać wytrącanie się węgla wapnia na powierzchni kruszyw, a tym samym polepszeniu może ulec ich jakość. Badania w tym obszarze zostały nazwane metodą biodepozycyjną.



Zdaniem recenzenta tematyka podjętej rozprawy jest bardzo interesująca z naukowego i aplikacyjnego punktu widzenia. O ile sam proces karbonatyzacji jest stosunkowo szeroko znany i opisywany w literaturze specjalistycznej, jednakże brak jest kompleksowego ujęcia tej tematyki, zwłaszcza przy braku dokumentów odniesienia (norm) dla oceny tego procesu. Skupienie uwagi na kruszywie z recyklingu jest jak najbardziej zrozumiałe, kiedy mówimy o zrównoważonym rozwoju. Ogólnie znanym faktem jest, że budownictwo jest branżą odpowiedzialną za olbrzymią konsumpcję surowców mineralnych i energii. Beton, jako najważniejszy i ciągle najpowszechniej stosowany materiał budowlany, jest produkowany w ogromnych ilościach. Zastosowanie przetworzonych odpadów budowlanych w charakterze kruszywa do produkcji nowego betonu jest obecnie jedną z popularniejszych dróg do uczynienia go bardziej przyjaznym środowisku.

Światowym liderem w zakresie technologii recyklingu betonu jest Japonia, w której recykling materiałów z rozbiórki i wyburzeń, wynosi ponad 90% i regularnie wzrasta. W Europie wytwarza się ponad 200 mln ton odpadów budowlanych, z czego około 30% podlega recyklingowi. Pośród państw Unii Europejskiej największe udziały procentowe odzysku tych materiałów, około 81-90%, mają takie kraje jak Holandia, Belgia, Dania i Niemcy.

Kruszywo stanowi co najmniej trzy czwarte objętości betonu i dlatego jest zrozumiałe, że jego jakość ma duże znaczenie dla właściwości betonu. Zazwyczaj betony produkowane z użyciem kruszyw recyklingowych odznaczają się niższym modułem sprężystości i wytrzymałością na rozciąganie oraz wyższym skurczem plastycznym, pęczaniem i nasiąkliwością w porównaniu do betonów tradycyjnych.

Głównym problemem, z jakim można się spotkać podczas projektowania i wykonywania mieszanek betonowych z wykorzystaniem kruszywa z recyklingu, jest jego wysoka nasiąkliwość, która wzrasta wraz ze stopniem rozdrobnienia odzyskiwanego gruzu betonowego.

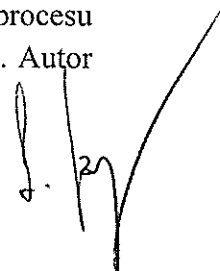
Zaproponowany przez autora sposób polepszenia jakości kruszywa z recyklingu poprzez karbonatyzację jego powierzchni jest oryginalnym podejściem, zwłaszcza z wykorzystaniem biomodifikacji.

Praca jest podzielona na dwie zasadnicze części:

- część literaturową,
- część badawczą obejmującą: metodykę badań własnych, wyniki badań własnych, ich analizę oraz wnioski.

W części literaturowej doktorant szczegółowo przedstawił problematykę betonu recyklingowego na świecie i w Polsce. Przeanalizował kierunki prowadzonych prac naukowo-badawczych ukierunkowanych na szersze wykorzystanie tego rodzaju kruszywa w budownictwie. Opisał szczegółowo i profesjonalnie dotychczasowy poziom wiedzy z zakresu oceny jakości kruszyw z recyklingu oraz ich wpływ na jakość mieszanki betonowej i stwardniałego betonu.

Wartościowym fragmentem tej części jest rozdział poświęcony opisowi procesu karbonatyzacji zachodzącego w kompozytach cementowych w trakcie cyklu życia (eksploatacji i starzenia się). Zostały przedstawione podstawy fizykochemiczne procesu karbonatyzacji z uwzględnieniem dyfuzji, rozpuszczania dysocjacji i reakcji strącania. Autor



też, w oparciu o wybrane pozycje literaturowe, przedstawił wpływ karbonatyzacji na trwałość betonu w funkcji zmieniającego się poziomu pH cieczy porowej.

W części teoretycznej dokonana została także ocena wpływu zmielonego wapienia stosowanego jako składnik cementu (główny składnik fazowy - węglan wapnia w postaci kalcytu) na przebieg hydratacji i właściwości cementu oraz został przeanalizowany problem emisji CO₂ w produkcji cementu i betonu, a zwłaszcza pochłanianie dwutlenku węgla przez beton w trakcie cyklu życia konstrukcji budowlanej. Analiza została zrobiona z uwzględnieniem procesu dodatkowej karbonatyzacji kruszywa z recyklingu. Część teoretyczną zamyka podrozdział dotyczący biodepozycji jako alternatywnej metody modyfikacji powierzchniowej kruszywa z recyklingu.

Część literaturowa jest bardzo dobrze przemyślana, napisana poprawnym językiem. Bardzo starannie dobrany jest także materiał ilustracyjny. Ponadto docenić należy interdyscyplinarne podejście do zagadnienia, które łączy problematykę budownictwa z inżynierią i ochroną środowiska.

Uwagi recenzenta do tej części pracy dotyczą:

- autor, w tytule i tekście pracy, używa zwrotu „Wpływ ... na wybrane parametry betonu”, bardziej poprawnie byłoby użycie terminu „Wpływ ... na wybrane właściwości betonu”,
- pisząc o ocenie nasiąkliwości kruszywa recyklingowego autor używa terminu „nadrecepturowa zawartość wody”. Opierając się na definicjach zawartych w normie betonowej PN-EN 206-1:2003 należałoby częściej używać terminu „efektywna ilość wody w mieszance betonowej”;
- należy odróżnić zagadnienie karbonatyzacji związane z cyklem życia konstrukcji betonowej (starzenie się) od dodatku mielonego wapienia do składu cementu. Są to dwa różne zagadnienia, których nie należy z sobą łączyć. Omawiając wpływ dodatku zmielonego wapienia na właściwości cementu autor nie zacytował krajowych osiągnięć z tego obszaru. Wystarczy przeanalizować ofertę handlową krajowych cementowni, aby stwierdzić, iż zmielony kamień wapienny jest składnikiem głównym szeregu produktów cementowych. Prawie każdy producent stosuje wapień jako składnik drugorzędny w składzie cementu portlandzkiego CEM I. Z tego obszaru są także dostępne liczne publikacje w krajowych czasopismach, np. Materiałach Budowlanych, w kwartalniku „Beton, Technologie Architektura”, dwumiesięczniki „Cement Wapno Beton”, czy też w materiałach Konferencji DNI BETONU;
- omawiając problematykę karbonatyzacji betonu, można odnieść wrażenie, że autor widzi w tym procesie same pozytywne wpływy na właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu. Rzeczywistość jest trochę inna. Korozja betonu spowodowana karbonatyzacją jest jedną z głównych klas ekspozycji związanych z oddziaływaniem środowiska na konstrukcje betonowe – patrz norma PN-EN 206-1:2003. Ten rodzaj korozji jest w dużym stopniu odpowiedzialny za depasywację stali zbrojeniowej i korozję zbrojenia. Stąd, oprócz odpowiedniej ilości cementu (klinkieru cementowego), należy zapewnić także odpowiednią grubość otuliny betonowej wokół stali zbrojeniowej. Zbrojenie rozproszone nie zastąpi zbrojenia wszystkich konstrukcji betonowych. Zbrojeniem rozproszonym mogą być też włókna metalowe ulegające korozji. Problematyka karbonatyzacji betonu została szeroko omówiona

w monografii dr hab. inż. Piotra Woyciechowskiego z Politechniki Warszawskiej p.t. „Model karbonatyzacji betonu”, nie cytowanej przez autora ocenianej rozprawy doktorskiej. Przeanalizował on nie tylko proces karbonatyzacji przy stosowaniu cementu portlandzkiego CEM I, ale także przy stosowaniu cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II i cementu hutniczego CEM III. Te rodzaje cementów są coraz częściej stosowane w budownictwie i pełne poznanie procesu karbonatyzacji kompozytów cementowych z ich udziałem jest bardzo istotne dla projektowanej trwałości obiektu. Obserwowane zależności przy stosowaniu cementu portlandzkiego CEM I, nie zawsze sprawdzają się przy stosowaniu, np. cementu hutniczego CEM III. Pan dr hab. inż. Piotr Woyciechowski opracował także hiperboliczny model oceny głębokości karbonatyzacji w funkcji czasu z uwzględnieniem najistotniejszych zmiennych materiałowych. Model ten także, można z powodzeniem stosować do bilansu emisji CO₂ w cyklu życia obiektów i konstrukcji betonowych oraz szacowania śladu węglowego.

Drugim niekorzystnym zjawiskiem związanym z karbonatyzacją są wykwity węglanowe na powierzchni elementów betonowych, zwłaszcza na galanterii betonowej (kostka brukowa, krawężniki, dachówki cementowe). Szczególnie, wykwity wtórne na produktach kolorowych psują ich estetyczny wygląd i są powodem licznych reklamacji.

Inne drobne uwagi zostały przekazane doktorantowi z prośbą o ich uwzględnienie w dalszych pracach nad ocenianymi zagadnieniami.

Część doświadczalną recenzowanej pracy można podzielić na dwie główne części:

- charakterystykę stosowanych w badaniach surowców i opis metodyki badań,
- analiza uzyskanych wyników, ich omówienie i wnioski.

W załącznikach do pracy przedstawiono uzupełniające dane i analizę statystyczną uzyskanych wyników badań.

Zdaniem recenzenta w pracy zastosowano metody badań powszechnie stosowane w technologii betonu. Opis wszystkich metod jest bardzo staranny i dokładny, co nadaje recenzowanej pracy dodatkowych wartości edukacyjno-dydaktycznych. Został zrealizowany bardzo szeroki zakres badań własnych z wykorzystaniem właściwych metod badawczych.

Uwagi recenzenta w tej części pracy dotyczą braku komentarza do czasu po jakim rozpoczęto badania trwałościowe, np. mrozoodporność po upływie 11-13 miesięcy, a nie po upływie 28 dni jak przyjęto w praktyce budowlanej. Pewne uwagi można także mieć do opisu cementów i zastosowanych procedur badawczych.

W 2012 i 2013r. znacznej nowelizacji uległy normy EN 197-1 (cement) i EN 206 (beton). I tak w przypadku cementu portlandzkiego CEM I odpornego na siarczany używamy skrótu SR, a nie HSR. Natomiast nowa norma betonowa EN 206 nie zawiera klas konsystencji badanych aparatem VeBe. Podane sugestie należy uwzględnić przy realizacji badań w przyszłości.

Prezentacja i omówienie wyników zrobione są bardzo szczegółowo i poprawnie. Zastosowane procedury badawcze do oceny kruszywa i mieszanki betonowej (nasiąkliwość, gęstość pozorna, konsystencja, zawartość powietrza) oraz stwardniałego betonu (wytrzymałość na ściskanie, nasiąkliwość, sorpcyjność, przepuszczalność gazowa, konduktywność) pozwalają na obiektywną ocenę uzyskanych wyników badań i wyciągnięcie właściwych wniosków. Bardzo dobrym dopełnieniem wyników badań jest symulacja utraty

przez zbrojenie właściwości pasywacyjnych w czasie, chociaż przyjęty 50 letni okres cyklu życia, wydaje się być zbyt krótkim dla niektórych konstrukcji i wyrobów, np. konstrukcje mostowe, rury kanalizacyjne, prefabrykaty wykorzystywane w budowie tuneli, itp. Właściwym dopełnieniem omawianych wyników są kolorowe zdjęcia ilustrujące poczynione obserwacje na powierzchni badanych próbek.

Interesujące są wyniki uzyskane metodą biodepozycyjną, zwłaszcza zmniejszenie nasiąkliwości z kruszywa z recyklingu po biodepozycji, co poprawia jakość samego kruszywa, jak i jakość betonu.

Pewnym niedostatkiem w recenzowanej pracy jest brak analizy ekonomicznej proponowanych rozwiązań. O ile karbonatyzację kruszywa recyklingowego w warunkach naturalnych można zrealizować poprzez określony czas leżakowania (dojrzewania), to metoda biodepozycyjna wymagać będzie określonych nakładów finansowych. Jednym z ograniczeń w szerszym stosowaniu kruszywa z recyklingu w naszym kraju jest szeroka dostępność kruszyw naturalnych i ich stosunkowo niska cena. Stąd, aspekty ekonomiczne mogą zadecydować o rozwoju lub zahamowaniu pewnych prac badawczo-rozwojowych w przyszłości.

Całość rozprawy domyka podsumowanie i wnioski. Podsumowanie jest krótką syntezą przeprowadzonych badań własnych. Wnioski końcowe, zarówno główne, jak i uzupełniające, zostały wyciągnięte prawidłowo. Potwierdzają one zasadność sformułowanego celu rozprawy i przyjętą konstrukcję (koncepcję) realizacji recenzowanej pracy.

Rozprawę zamyka cenny rozdział nakreślający kierunki dalszych zainteresowań autora. Jest to ważne i istotne ponieważ stosowanie kruszyw z recyklingu w przyszłości musi wzrastać, o czym świadczą też zapisy znowelizowanej normy betonowej EN 206:2013 „Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”. Recenzent raz jeszcze zwraca uwagę na ocenę ekonomiczną proponowanych rozwiązań.

Podsumowując, stwierdzam, że zamieszczone w recenzji uwagi i sugestie nie umniejszają mojej pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy doktorskiej. Praca wnosi znaczącą ilość informacji w zakresie oceny jakości kruszyw z recyklingu i możliwości ich szerszego stosowania w produkcji betonu. Zaproponowane metody uszlachetniania kruszyw z recyklingu poprzez karbonatyzację sekwestracyjną oraz biodepozycję węgla wapnia stanowią przesłankę do poprawy jakości tego rodzaju kruszyw, a tym samym mogą zwiększyć zakres jego stosowania.

Uważam także, że recenzowana praca wyróżnia się sposobem rozwiązania problemu, interdyscyplinarnością oraz pracowitością zrealizowanego zakresu badań.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że praca mgr inż. Daniela Zawala w pełni spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Stefan P. [Signature]
16.06.2014