

Prof. dr hab. inż. Józef Jasiczak
Instytut Konstrukcji Budowlanych
Politechniki Poznańskiej
ul. Piotrowo 5
60-965 Poznań

Poznań, 28.06.2014

Recenzja rozprawy doktorskiej

Mgr inż. Daniela Zawala

pt.: **Wpływ karbonatyzacji i biodepozycji węgla wapnia w kruszywie z recyklingu na wybrane parametry betonu**

1. Podstawa opracowania opinii

Zlecenie z dnia 19.05.2014 przekazane przez prof. dr hab. inż. Jerzego Jeznacha, Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

2. Przedmiot , układ i zakres pracy

Recenzowana praca doktorska Pana mgr inż. Daniela Zawala z Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu dotyczy ustalenia wpływu karbonatyzacji i biodepozycji węgla wapnia w kruszywie z recyklingu na wybrane parametry betonów cementowych. Promotorem pracy jest Pan prof. dr hab. inż. Bogdan Józef Wosiewicz , specjalista ze środowiska naukowego Uniwersytetu Przyrodniczego, a współpromotorem dr hab. inż. Anna Grabiec , chemik z wykształcenia, specjalistka od technologii betonu. Z tego powodu tematyka pracy doktorskiej wpisuje się nie tylko w dyscyplinę budownictwo, ale także i w szeroko rozumiane zagadnienia chemii środowiska naturalnego z obiegiem w przyrodzie CO₂ włącznie. Prezentacja treści jest typowa dla prac doktorskich i zawiera wprowadzenie, obszerny przegląd literatury, własne badania laboratoryjne, analizy wyników, podsumowanie, bibliografię i załączniki z wynikami testów statystycznych.

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących modyfikacji betonowych kruszyw z recyklingu oraz wybranych właściwości wykonanych z ich użyciem betonów. Modyfikacji kruszyw, otrzymanych w wyniku kruszenia wytworzonych wcześniej betonów zwykłych o ukierunkowanych właściwościach , dokonano za pomocą dwóch metod: przyspieszonej

karbonatyzacji oraz biodepozycji węgla wapnia. Pierwsza stanowiła narzędzie symulujące proces karbonatyzacji zachodzący w końcowym etapie cyklu życia betonu, druga była efektem działania bakterii z gatunku *Sporosarcina pasteurii*.

Badania betonu recyklingowego objęły określenie cech mieszanki betonowej, wytrzymałości na ściskanie, skurczu przy wysychaniu oraz parametrów trwałościowych takich jak: nasiąkliwość, sorpcja, przewodność w roztworze NaCl, przepuszczalność gazowa, zasięg karbonatyzacji oraz mrozoodporność. Główny nacisk położono na wpływ procesu przyspieszonej karbonatyzacji na cechy wtórnego betonu, mniejszy zakres mają badania biodepozycji węgla wapnia.

3. Obszar wiedzy będący przedmiotem pracy doktorskiej

W okresie powojennym zaczęto intensywnie poszukiwać alternatywnych kruszyw do betonu kierując zainteresowania także w stronę recyklingu starych konstrukcji z betonu cementowego. Proces spotkał się z bardzo dobrym przyjęciem na całym świecie, stąd niezwykle bogata literatura techniczna, z których podstawowa to Hansen TC.: *Recycling of demolished concrete and Masonry*, 1992, Taylor & Francis, London/ New York czy niedawno wydana pozycja M.N. Fardis (ed.): *Innovative Materials and Techniques in Concrete Construction: Chapter 7: Recycled Aggregate Concrete for Structural*, ACES Workshop, Springer Science+Business 2012. Autor opinii także uczestniczył w licznych badaniach nad kruszywem wtornym publikując artykuły z recyklingu betonu dla potrzeb drogownictwa (Jasiczak J., Kucz M.: *Waste not ... ways of reusing waste concrete*, CEI, 10/1999; *The durability of concrete pavements made with the recycled aggregates from 80 years old road concrete*, BCRRA, Trondheim 2013). Zawarte w literaturze spostrzeżenia wskazują na liczne niedogodności stosowania do betonu kruszywa wtórnego i potrzebę wyseparowania takich frakcji kruszywa, które mogą być zamiennikiem naturalnego kruszywa łamanego (nawiasem mówiąc nowa norma *PN-EN12620:2004 Kruszywo do betonu, zaprawy i zaczynu* traktuje już kruszywo wtórne jako kruszywo konstrukcyjne a RILEM Recommendation, 1994, dopuszczają nawet kruszywo z recyklingu do betonów do klasy C50/60). Rozpatrywane na tym tle założenia pracy doktorskiej mgr inż. Daniela Zawala mają znacznie szerszy zakres, bowiem ujmują użycie betonowego kruszywa recyklingowego poddane karbonatyzacji sekwencyjnej a także wskazanie, że procesy te nie wpływają w istotny sposób na wytrzymałość betonu na ściskanie, skurcz i trwałość betonu a powierzchniowa biodepozycja węgla wapnia nie przyczynia się do zmiany nasiąkliwości kruszywa recyklingowego. Tak ujmowana karbonatyzacja sekwencyjna betonowego kruszywa recyklingowego może

korzystnie przyczynić się do zmian bilansu emitowanego w procesach produkcji cementu dwutlenku (ditenku) węgla, skutkując postrzeganiem betonu jako materiału przyczyniającego się do rozwoju środowiska życia człowieka w zgodzie z koncepcją zrównoważonego rozwoju. Należy także podkreślić, że uzyskanie korzystnych parametrów betonu recyklingowego jest możliwe nawet wtedy, gdy do jego wykonania użyje się zestawu kruszyw, składającego się aż w 75% (objętościowo) z betonowego kruszywa z recyklingu.

4. Dyskusja uzyskanych wyników badań

Podczas czytania pracy i analizowaniu uzyskanych wyników badań nasunęły się liczne uwagi, komentarze i wnioski nad trafnością wnioskowania autora. Przedstawiają się one następująco:

- str.78, Tabela 11 : przyjęto betony o dużej, dopuszczalnej i niedopuszczalnej ilości cementu. W ostatnim przypadku mamy beton chudy, który po przekruszeniu , przy małej ilości zaprawy i dobrym kruszywie grubym może dać bardzo dobre kruszywo wtórne. Z tego powodu na str. 115 w Tabeli 25 uzyskano prawie takie same wytrzymałości na ściskanie betonu próbnego mimo różnych źródeł kruszywa. Podobnie w Tabeli 26. Należało raczej przyjąć stałą ilość cementu a zmienną ilość wody i tak zróżnicować w/c a tym samym i porowatość betonu (tak postąpiono dalej – Tabela 16);
- str. 81, Tabela 12: frakcja 1 -2 mm kruszywa recyklingowego (7,6% przy 24,8 % kruszywa 0 – 2 mm naturalnego); myślę, że jest to dopuszczalne przy koncepcji wymuszonej karbonatyzacji betonu; w betonach konstrukcyjnych przyjmuje się jako wtórne frakcje 4-8 mm, 8 – 16 mm, 16-32 mm;
- str. 84 – pomysł z białym cementem bardzo dobry; gdyby w betonie pierwotnym dodać pyłu krzemionkowego albo domieszki barwiącej w masie, to kruszywo recyklingowe byłoby bardzo dobrze widoczne na tle białej matrycy cementowej;
- str.97 – Tabela 19 – dlaczego konsekwentnie nie wypełniono kolumny 6 i 7 ?
- str.109 – Tabela 22 – uwagi podobne jak na str.78,
- str.120, rys.51 – kruszywo 0,65 o najwyższym stopniu karbonatyzacji ? może zawiera najmniej zaczynu cementowego ?
- str.126 – stwierdzenie „ woda w porach kruszywa recyklingowego wypiera powietrze zmniejszając jego końcową zawartość w mieszance „ – prawdziwe; wpływa to jednak negatywnie na mrozoodporność betonu;
- str.128, rys.58 – relatywnie wysoka wytrzymałość na ściskanie betonu RC_72C – przypadek czy kruszywo z ograniczoną ilością zaprawy ? podobnie rys. 60 ?

- str.144, rys. 72, Tabela 30 – odbija od reszty wynik RC_72A; ograniczenia stosowania betonów recyklingowych do odpowiednich typów konstrukcji budowlanych;
- str.147, rys.74 – mrozoodporność – duże, > 20 % spadki wytrzymałości betonu po 34 cyklach zamrażania: spadek oczekiwany; ograniczenia co do stosowania takich betonów.

5. Wnioski końcowe

Oceniana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Dniela Zawala ma bardzo dobre podstawy naukowe i szerokie możliwości aplikacyjne teraz i w przyszłości. Stanowi samodzielnie wykonane opracowanie naukowe pod kierunkiem promotorów. Tematyka dotyczy możliwości podwyższenia właściwości powierzchniowych wtórnego kruszywa betonowego z uwzględnieniem procesu jego karbonatyzacji i biodepozycji węgla wapnia. W praktyce zabiegi te wymagałyby wybudowania specjalnych instalacji przemysłowych, ale pierwsze realizacje tego typu już istnieją. Przykładem może być dość powszechna na świecie technologia VAPOR polegająca na uszczelnianiu powierzchni przemysłowo produkowanej kostki brukowej węglanem wapnia w wyniku krótkotrwałej obróbki termicznej świeżego betonu w środowisku CO₂.

Oryginalność pracy polega na:

- dostrzeżeniu, po obszernych studiach literaturowych, nowych możliwości badawczych nad problemami recyklingu betonu,
- wskazaniu na proces sekwestracji CO₂ przez rozkruszony beton, co daje możliwość poprawy bilansu emisji dwutlenku węgla przy produkcji cementu,
- wykazaniu korzystnego wpływu obróbkowych procesów chemicznych i biologicznych na właściwości betonów z użyciem kruszyw wtórnych,
- nieszablonowym wykorzystaniu bakterii do wytworzenia nowej jakości powierzchni,
- poszerzeniu składu granulometrycznego kruszyw o frakcje drobne 1 – 2 mm, traktowane dotąd jako bezwartościowe przy wykonywaniu betonów konstrukcyjnych.

O posiadaniu przez Kandydata ogólnej wiedzy teoretycznej w dyscyplinie naukowej budownictwo świadczy umiejętność przygotowania planu i zrealizowania badań w stosunku do potrzeb przemysłu budowlanego oraz umiejętność wskazania granic zastosowań modyfikacji. Kandydat posiadał także umiejętność samodzielnego prowadzenia badań w ramach podjętej pracy naukowej.

Oceniając pozytywnie całość dokonań Pana mgr inż. Daniela Zawala oraz biorąc pod uwagę wymagania art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule

naukowym (Dz. U. Nr 65. poz. 595) stwierdzam, iż Rada Naukowa Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW może skierować pracę do publicznej obrony.



prof. dr hab. inż. Andrzej
Kozłowski