

Kraków, 01.02.2021

dr hab. inż. Łukasz Kotwica, prof. AGH
Katedra Technologii Materiałów Budowlanych
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Akademia Górniczo Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Arkadiusza Janica pt. „Uwarunkowania materiałowo – technologiczne stosowania mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego jako dodatku typu II w składzie betonu”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę formalną recenzji stanowi pismo RDILT/26/2020/2021 wystosowane przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Śląskiej Pana Profesora Marcina Stańka.

Recenzja dotyczy pracy doktorskiej Pana mgr. inż. Arkadiusza Janica pt. „Uwarunkowania materiałowo – technologiczne stosowania mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego jako dodatku typu II w składzie betonu”. Promotorem przedstawionej do recenzji rozprawy jest prof. dr hab. inż. Zbigniew Giergiczny, zaś promotorem pomocniczym dr inż. Damian Dziuk.

2. Krótki opis rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji dysertacja została wydana w formie książkowej. Składa się z 9 rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz spisu literatury obejmującego 267 pozycji. Praca zawiera 127 rysunków oraz 68 tabel. Całość mieści się na 161 stronach.

Układ pracy jest typowy dla dysertacji doktorskich. Po krótkim wprowadzeniu Autor przedstawia cel pracy: „...określenie uwarunkowań materiałowo-technologicznych stosowania zmielonego granulowanego żużla wielkopieczowego jako dodatku typu II w składzie betonu.” oraz „...pokazanie możliwości równoczesnego stosowania w składzie betonu zmielonego granulowanego żużla wielkopieczowego (ggbs) i popiołu lotnego (FA) jako dodatków typu II.”. W rozdziale tym szczegółowo podany został również zakres pracy. Następną część stanowi przegląd literaturowy (rozdział 3). Część badawcza obejmuje rozdziały 4-7 gdzie zaprezentowane są wyniki obszernych badań zarówno cementów jak i betonów. Rozdział 8 stanowi podsumowanie części badawczej i przedstawia uwarunkowania materiałowe

stosowania żużła wraz z analizą środowiskową. W rozdziale 9 przedstawiono zwięzłe wnioski w punktach. Pracę kończy spis literatury.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

Poruszane w pracy zagadnienie to współcześnie jeden z wiodących tematów w chemii i technologii materiałów wiążących. Wymogi związane z jednej strony z regulacjami środowiskowymi, z drugiej zaś strony oczekiwaną poprawą ekonomiki produkcji spoiw mineralnych powodują wciąż rosnące zainteresowanie innymi niż klinkier portlandzki składnikami cementów, zwłaszcza cementów powszechnego użytku, stanowiących najważniejszą grupę materiałów wiążących w budownictwie. Zainteresowanie to rozciąga się również na obszar technologii betonu, gdzie zmniejszanie udziału klinkieru portlandzkiego w spoiwie może odbywać się nie tylko poprzez stosowanie cementów z nieklinkierowymi składnikami głównymi, ale również poprzez stosowanie jego zamienników bezpośrednio w składzie betonu. W świetle obecnego stanu prawnego, dodatki mineralne w betonie można podzielić na prawie obojętne (typu I) i aktywne (typu II). Stosowanie tych drugich pozwala na zmniejszenie ilości cementu w mieszance, przy zapewnieniu jej odpowiednich właściwości. Jest to ceniony przez producentów sposób na obniżenie ceny składników mieszanki, zaś z punktu widzenia środowiskowego sposób na zmniejszenie emisyjności finalnego materiału budowlanego jakim jest beton. Właśnie tu umiejscawia się recenzowana praca, która skupia się na praktycznych aspektach zastępowania części cementu portlandzkiego dodatkami typu II. Autor bada dwa najczęściej stosowane w Polsce dodatki mineralne stosowane jako składniki spoiw, czyli mielony granulowany żużel wielkopiecowy i krzemionkowy popiół lotny. W ocenie recenzenta dobór tematu jest trafny i z przyczyn poruszonych powyżej dobrze wpisuje się we współczesne światowe trendy badawczo-rozwojowe technologii i chemii cementu i betonu. W odniesieniu do rynku krajowego stosowanie żużła jako składnika betonu dodawanego bezpośrednio do mieszanki betonowej, a nie w formie cementu żużlowego jest praktyką stosunkowo mniej rozpowszechnioną w porównaniu do np. krajów anglosaskich, co powoduje, że liczba prac na ten temat jest również mniejsza. Recenzowana praca w pewnym stopniu uzupełnia krajowe piśmiennictwo w tym temacie. Na podkreślenie zasługuje również to, że Autor zauważa, że w świetle ograniczonych zasobów tradycyjnie stosowanych dodatków takich jak żużle wielkopiecowe i krzemionkowe popioły lotne konieczne jest pójście krok dalej i wprowadzanie do spoiwa razem z żużlem wielkopiecowym nowych materiałów zastępujących klinkier portlandzki, takich jak mączka wapienna czy prażone minerały ilaste, o czym wspomina w rozdziale 8.5 przy okazji omawiania dalszych planów badawczych.

W rozdziale 2 Autor przedstawił szczegółowo zakres pracy. Obejmował on w pierwszej kolejności badania wpływu różnych czynników, takich jak ilość dodanego żużla, jego powierzchnia właściwa, skład chemiczny, czas hydratacji, stosunek wodno/cementowy czy rodzaj użytego cementu portlandzkiego na aktywność żużla i jego wpływ na właściwości cementu. Ta część badań zdaniem recenzenta jest zaplanowana bardzo dobrze, pozwalając na praktyczną analizę znaczenia poszczególnych czynników technologicznych na właściwości stwardniałego materiału finalnego. W dalszej części pracy Autor przechodzi do badań na betonach, gdzie zaplanował cały szereg eksperymentów obejmujących charakterystykę betonów z różnymi udziałami żużla lub żużla i popiołu lotnego, przy różnych czasach dojrzewania, proporcjach czy różnych założonych wskaźnikach aktywności żużla. Badania dotyczą zarówno właściwości mieszanki jak i stwardniałego betonu. Ta część pracy również jest dobrze zaplanowana, jednak w tym wypadku recenzent jest zdania, że wskazanym uzupełnieniem badań byłoby wyznaczenie, a nie tylko założenie wielkości współczynnika k (według PN-EN 206) dla stosowanego w badaniach żużla i uwzględnienie tego w planowaniu badań. Zakres pracy objął również analizę aspektów środowiskowych oraz sformułowanie uogólnionych uwarunkowań materiałowych stosowania żużla w betonie. Te części są pewnym podsumowaniem wcześniejszych badań i stanowią cenny wkład w stan wiedzy w obszarze stosowania żużla wielkopieczowego w technologii betonu. Podsumowując, zakres pracy określono prawidłowo, umożliwiając wyciągnięcie wniosków o dużym znaczeniu praktycznym.

Następną częścią pracy jest przegląd literaturowy wprowadzający czytelnika rozprawy w zagadnienia mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego i jego wpływu na właściwości cementu, mieszanki betonowej oraz betonu stwardniałego. W części tej Autor omawia skład, proces powstawania i właściwości mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego oraz przedstawia je w kontekście wymagań stawianych temu materiałowi przez normy regulujące jego stosowanie w przemyśle materiałów wiążących. Szeroko dyskutuje jego wpływ na właściwości cementów i betonów z jego dodatkiem (właściwości mechaniczne, fizyczne, trwałość wobec czynników chemicznych i fizycznych). Zauważyć należy, że wprowadzenie to oparte jest o szeroki przegląd literatury, obejmujący liczne pozycje wydawnictw przede wszystkim międzynarodowych, ale również krajowych. Zdecydowana większość pozycji to prace, które ukazały się w ostatnich latach. Ich dobór jest trafny i pozwala na przedstawienie przede wszystkim praktycznych efektów stosowania żużla wielkopieczowego jako składnika spoiw. W ocenie recenzenta opracowanie to bardzo dobrze wprowadza czytelnika w badane w pracy zagadnienia. Uwagi recenzenta co do tej części są następujące:

- na stronie 20 Autor pisze: „Beton zawierający cement z gbfs posiada lepsze właściwości użytkowe, przede wszystkim jest bardziej odporny na agresywne oddziaływanie środowiska oraz charakteryzujący się niższym ciepłem hydratacji [43, 65, 67].” Stwierdzenie to jest prawdziwe, jeśli chodzi o ciepło hydratacji, natomiast w odniesieniu do trwałości sprawa jest bardziej złożona. O ile żużel poprawia trwałość na korozję powodowaną działaniem roztworów soli (siarczany, chlorki), o tyle, jak to zresztą Autor przedstawił w rozdziałach 3.6.7 i 3.6.10 pogarsza odporność na karbonatyzację i działanie mrozu. Biorąc pod uwagę, że zwłaszcza w polskich warunkach klimatycznych są to dwa najczęściej występujące czynniki korozyjne wobec konstrukcji betonowych, przytoczone stwierdzenie powinno być sformułowane bardziej ostrożnie.

- str. 23 - Autor pisze: „Gbfs zbudowane są z dwóch faz: szklistej i krystalicznej.” Stwierdzenie to nie jest ścisłe, ponieważ, jak w dalszej części rozdziału pisze, w żużlach obecne są różne fazy krystaliczne. W przypadku fazy szklistej można w tym wypadku mówić o jednej fazie, jednak w przypadku faz krystalicznych, każda z nich jest osobną fazą. W związku z tym prawidłowym byłoby napisanie, że żużel składa się z fazy szklistej i faz krystalicznych. Z tego względu tytuł rozdziału 4.2.8. powinien brzmieć „Zawartość faz krystalicznych”.

Uwagi te są nieliczne i dość szczegółowe, co świadczy o wysokim poziomie przeglądu literatury dokonany przez Autora.

Część doświadczalna pracy wraz z wnioskami zawarta jest w rozdziałach 4-9. Z tego względu zatytułowanie rozdziału 4 opisującego metody użyte w badaniach jako „Część doświadczalna” nie jest najlepszym wyborem. Tytuł „Część doświadczalna” powinien być raczej nadrzędnym tytułem dla rozdziałów 4-9. Jest to uwaga formalna i nie ma większego znaczenia dla odbioru pracy, gdyż organizacja rozdziałów i rozłożenie poszczególnych treści jest zdaniem recenzenta prawidłowe.

Praca ma przede wszystkim charakter aplikacyjny i znajduje to odzwierciedlenie w użytych w pracy metodach badań. Są to przede wszystkim normowe metody badań cementów i betonów z dodatkowymi badaniami składu fazowego żużli oraz gęstości spoiw. Dobór metod jest typowy dla tego typu badań i uznać go należy za prawidłowy. Jak wspomniano wcześniej zdaniem recenzenta warto byłoby w pracy użyć dodatkowo metody wyznaczania współczynnika k , której jeden z wariantów jest zresztą opisany we wstępie literaturowym (rozdział 3.1). Drobną uwagę redakcyjną: zdaniem recenzenta nie jest konieczne przedstawianie w pracy doktorskiej zdjęć piknometru i aparatu Vicata. Opis badania karbonatyzacji nasuwa pytanie: czy czas od momentu zarobienia do momentu początku badania karbonatyzacji w komorze był taki sam dla obu metod pielęgnacji próbek?

W rozdziale 5 Autor przedstawia charakterystykę użytych materiałów. Przedstawione dane są bardzo szczegółowe i dają dokładne wiadomości na temat właściwości spoiw jak również materiałów użytych do przygotowania betonów. Jest to niewątpliwa zaleta pracy. W kwestii doboru surowców nasuwają się następujące pytania:

- dlaczego jedna z powierzchni właściwych żuźla I nie została ustalona na równą powierzchni żuźla II (lub odwrotnie)? Umożliwiłoby to bezpośrednie porównanie aktywności obu żużli. Różnica w powierzchni właściwej utrudnia interpretację wyników dla badań z niektórymi cementami,

- dlaczego w badaniach zastosowano dwa rodzaje kruszyw? Zastosowanie grysu bazaltowego w części betonów oraz żwiru w innych również utrudnia porównanie wyników i ich interpretację pomiędzy poszczególnymi seriami betonów.

W rozdziale 6 Autor bardzo szczegółowo opisuje wpływ wybranych czynników: rodzaju referencyjnego cementu portlandzkiego, czasu hydratacji, stosunku wodno/cementowego, składu, powierzchni właściwej i dodatku żuźla. Obszerne badania pozwoliły na zebranie bogatego materiału do porównań i analiz. Między innymi pokreślono najbardziej korzystną z punktu widzenia technologicznego powierzchnię, do której powinien być mielony żużel. Stwierdzono również, że 50% zastąpienie cementu żużlem daje najlepsze wyniki jeśli chodzi o wytrzymałości po 28 dniach i dodatek ten uznano za optymalny. Jak wspomniano powyżej interpretację niektórych wyników utrudnia to, że żużel II ma nieco mniejszą powierzchnię od żuźla Ic. Nie zmienia to faktu dużego potencjału uzyskanych wyników i możliwości dalszej ich analizy i publikacji. Pojawia się w tym miejscu pytanie do Autora rozprawy: czym mógłby wyjaśnić większe w porównaniu z innymi cementami wskaźniki aktywności żuźla w zaprawach, gdzie cementem referencyjnym był cement CEM I 42,5N SR5 NA?

W rozdziale 7 Autor przedstawił wyniki badań betonów zawierających w swoim składzie różne ilości żuźla oraz popiołu lotnego. Badania te obejmują 3 serie betonów. Na uwagę zasługuje zakres badań, który wymagał od Autora wykonania dużej liczby próbek i pojedynczych oznaczeń.

Pierwsza seria to betony z częściową zamianą cementu żużlem, przy przyjętych współczynnikach k równych odpowiednio 0,6, 0,8 i 1,0 w wersjach bez i z napowietrzeniem. We wszystkich betonach z żużlem stosunek żuźla do cementu wynosił 1:1. Oznacza to, że betony te mają ten sam skład spoiwa (mieszczący się w zakresie cementu CEM III/A), różną zaś jego zawartość (od 340 do 425 kg/m³). Biorąc pod uwagę stałą ilość wody w metrze sześciennym mieszanki oznacza to, że stosunek wodno/spoiwowy mieszanek również się

zmieniał i był najmniejszy dla mieszanki w której założono $k=0,6$. Nie do końca zrozumiałe wydaje się założenie zawartości powietrza wynoszące $2,5\pm 1,0\%$. Poziom napowietrzenia w drugiej serii został przyjęty na nieco innym poziomie niż w pozostałych. Tu prosba do Autora o wyjaśnienie przyczyny takiego podejścia.

Przeprowadzone badania pozwoliły na ocenę wpływu przyjętego współczynnika k na właściwości zarówno mieszanek jak i betonów stwardniałych. Co ważne, przeprowadzono również badania trwałościowe betonów – penetracji wody pod ciśnieniem oraz karbonatyzacji. Uzyskane wyniki są ciekawe i zdaniem recenzenta stanowią dobry punkt wyjścia do dalszych badań. Przykładem tego może być wpływ zamiany cementu żużlem na wytrzymałość na rozciąganiu przy rozłupywaniu i jej znaczne zwiększenie w betonach z żużlem. Pytania i uwagi recenzenta do tej części badań są następujące:

- co według Autora powoduje szybszą utratę konsystencji w nienapowietrzonych betonach z żużlem?
- jak wytłumaczyć to, że beton z $k = 0,6$, wykonany ze spoiwa o tym samym składzie i niższym stosunku wodno/spoiwowym od betonu z $k = 0,8$ w kilku badaniach wykazał gorsze właściwości, zwłaszcza wyniki wytrzymałości pokazane na rys. 76?
- komentarza wymaga wynik badania karbonatyzacji betonu referencyjnego BNA1 (rys. 80).

Druga seria betonów miała na celu ocenę wpływu stosunku wodno/cementowego na właściwości betonów. Badania przeprowadzono dla $k = 0,8$. Wybór ten Autor uzasadnia faktem, że betony serii pierwszej o $k = 0,8$ posiadały największą trwałość. Nie jest to zgodne z wynikami zamieszczonymi na poprzednich stronach, przede wszystkim z badań mrozoodporności z solami i karbonatyzacji, w których to badaniach lepiej sprawdzały się betony o $k = 0,6$. Nie ma to jednak decydującego znaczenia, ponieważ niezależnie od przyjętego współczynnika k , w części tej pokazano wpływ stosunku wodno/cementowego na właściwości betonów z żużlem oraz betonów referencyjnych. Podobnie jak w pierwszej serii uzyskano ciekawe wyniki dające dużo informacji praktycznych na temat stosowania żużla w betonach różnych klas. Pytanie do Autora związane z tą częścią: jaki jest powód tak dużych różnic w wynikach badania mrozoodporności z solami pomiędzy pierwszą a drugą serią?

W trzeciej serii betonów Autor pokazał jak na betony wpływa zamiana cementu mieszankami żużla i popiołu lotnego krzemionkowego, przy różnych założonych współczynnikach k dla żużla i stałego k dla popiołu wynoszącego 0,4.

Podsumowując wyniki przedstawione w rozdziale 7, wyrazić trzeba uznanie dla pracowitości Autora i ilości przydatnych danych uzyskanych w tych badaniach. Poza szeregiem wniosków szczegółowych wynikających z wyników warte uwagi są wnioski natury ogólnej,

które można wyciągnąć z całości badań z rozdziału 7. Potwierdzają one dużą różnicę we właściwościach betonów z żuzłem pomiędzy 28 a 90 dniem hydratacji. Wykazano, że pomiędzy 28 a 90 dniem zachodzi uszczelnienie mikrostruktury powodujące znaczną poprawę trwałości betonu w tym okresie. Rozdział 7 kończy zestawienie emisji dwutlenku węgla związanej z wyprodukowaniem poszczególnych mieszanek badanych w tym rozdziale. Zestawienie to jednoznacznie wskazuje na korzyści środowiskowe związane ze stosowaniem mielonego granulowanego żuzła wielkopieczowego jako dodatku typu II do betonu. Najmniejsze emisje dwutlenku węgla w przeliczeniu na 1 MPa udało się uzyskać dla betonów zawierających kombinację żuzła i krzemionkowego popiołu lotnego. Wyniki te, w ocenie recenzenta w sposób znaczący wzbogacają wiedzę w obszarze stosowania dodatków typu II w betonie.

Rozdział 8 stanowi syntetyczne zestawienie uwarunkowań materiałowych stosowania żuzła jako dodatku typu II wg PN-EN 206. Na początku Autor prezentuje ciekawe zestawienie zmienności żuzła na przestrzeni półrocznego okresu obserwacji. Wyniki te udowadniają dużą stałość właściwości żuzła a co za tym idzie dodatkowo zwiększają jego atrakcyjność jako surowca w procesie technologicznym, gdzie stałość właściwości jest istotną wartością. Szkoda, że Autor nie podał liczby próbek badanych w poszczególnych okresach. Dalej Autor przeprowadza analizę i uogólnienie wyników uzyskanych w poprzednich rozdziałach. Ta część stanowi najbardziej wartościową część pracy, stanowiąc swego rodzaju kompendium wiedzy o stosowaniu żuzła wielkopieczowego jako dodatku typu II w betonie. Autor wskazuje zalety stosowania żuzła, jak zmniejszenie kosztów spoiwa, ograniczenie emisji dwutlenku węgla związanej z jego produkcją, co obecnie również przekłada się na koszty przy możliwości zachowania odpowiednich właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu. Jednocześnie zwraca uwagę na pewne zagrożenia związane ze stosowaniem dużych dodatków żuzła takich jak mniejsza odporność na karbonatyzację, czy oddziaływanie soli odladzających. Porusza również zagadnienie większej wrażliwości betonów z żuzłem na warunki dojrzewania – niską temperaturę i pielęgnację. Wnioski te są poparte licznymi wynikami dodającymi im wiarygodności.

W rozdziale 9 Autor wypunktowuje zwięzłe wnioski. Mają one charakter praktyczny i mogą stanowić wskazówki dla praktyków technologii betonu.

Praca napisana jest zwięzłym, jasnym i zrozumiałym językiem. Strona edytorska pracy na dobrym poziomie, z nielicznymi drobnymi błędami, które jednak nie zakłócają odbioru treści.

4. Wnioski końcowe

Przedstawiona do recenzji praca stanowi opracowanie zagadnienia stosowania mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego jako dodatku typu II w betonie zgodnie z PN-EN 206. Praca ma charakter praktyczny i technologiczny. Uzyskane przez Autora wyniki stanowią wartościowy materiał dla specjalistów zajmujących się praktyczną technologią betonu. Jednocześnie stanowią dla Autora punkt wyjścia do prowadzenia dalszych badań. Niektóre obserwacje poczynione w trakcie realizacji pracy mogą stać się przyczynkiem do kontynuacji badań, np. w obszarze bardziej szczegółowego i na podstawowym poziomie wyjaśniania ich przyczyn.

Ocena ogólna pracy jest pozytywna. Autor włożył w jej realizację dużo pracy i wykonał liczne badania. Jednocześnie wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną, jak również praktyczną i udowodnił swoje umiejętności w zakresie prowadzenia pracy naukowej. Przedstawiona przez niego do recenzji praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Poczynione przez recenzenta uwagi krytyczne oraz postawione pytania nie umniejszają pozytywnej oceny pracy, są natomiast głosem w dyskusji nad wynikami uzyskanymi przez Autora. Mają na celu rozwianie nielicznych występujących wątpliwości i stanowić ewentualne inspiracje do dalszych badań.

Biorąc pod uwagę powyższe, stwierdzam, że przedstawiona od recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Arkadiusza Janica pt. „Uwarunkowania materiałowo – technologiczne stosowania mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego jako dodatku typu II w składzie betonu” spełnia wymagania stawiane przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 roku i w związku z tym wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Śląskiej.

Kot---