



Kielce, dn. 26.03.2014 r.

Dr hab. inż. Zdzisława Owsiak, prof. P. Śk.
Katedra Technologii i Organizacji Budownictwa
Politechnika Świętokrzyska
25-314 Kielce
Al. 1000-lecia P.P. 7

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Drożdża
pt.: „Wpływ popiołu lotnego wapiennego W na przebieg
korozji alkalicznej w betonie”.**

1. Podstawa opracowania.

Formalną podstawę opracowania niniejszej recenzji stanowi: uchwała Rady Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej z dnia 22 stycznia 2014 r. oraz pismo Dziekana Wydziału prof. dr hab. inż. Jana Ślusarka z dnia 23 stycznia 2014 r.

Merytoryczną podstawę opracowania recenzji stanowi załączony do zlecenia egzemplarz pracy pt.: „Wpływ popiołu lotnego wapiennego W na przebieg korozji alkalicznej w betonie”

2. Charakterystyka ogólna pracy

Rozprawa została przedstawiona na 157 stronach maszynopisu. Opracowanie składa się z 7 rozdziałów obejmujących wprowadzenie, cel i zakres pracy, studium literatury, część doświadczalną, wnioski, bibliografię i wykaz powołanych norm. Cytowana w tekście literatura obejmuje 105 pozycji ułożonych w kolejności cytowania, w tym 52 pozycje to artykuły z czasopism, 32 referaty z konferencji i sympozjów, wydawnictwa zwarte – 21 pozycji. Autor powołuje 29 norm w tym 16 polskich, 10 norm ASTM oraz po jednej brytyjskiej, ISO i niemieckiej. Doktorant powołał w pracy ważne, najnowsze publikacje dotyczących tematyki reakcji alkaliów z krzemionką w betonie w obecności dodatków mineralnych.

3. Ocena merytoryczna rozprawy.

W rozprawie podjęto bardzo interesujący i aktualny temat. Odnosi się on do

możliwości zastosowania popiołu lotnego wapiennego, jako dodatku mineralnego do cementu, wpływającego na przebieg reakcji alkalia-krzemionka w betonie.

W rozprawie można wyróżnić siedem rozdziałów głównych podzielonych na podrozdziały.

Cel, teza i zakres rozprawy doktorskiej sformułowane zostały w rozdziale II. Celem recenzowanej pracy było wykazanie wpływu popiołu lotnego wapiennego zastosowanego w składzie cementu na przebieg reakcji alkalia-krzemionka w betonie.

Autor opiniowanej pracy postawił tezę, że popiół lotny wapienny wchodzący w skład cementu w zależności od składu chemicznego i fazowego oraz właściwości pucolanowych i hydraulicznych może być przydatny w zapobieganiu reakcji alkalia-krzemionka w betonie.

W liczącym 25 stron rozdziale III rozprawy zatytułowanym jako studium literaturowe, poświęconym krytycznej analizie literatury przedmiotu (84 pozycje cytowane) zawarte są cztery podrozdziały.

W pierwszym rozdziale zatytułowanym „korozja alkaliczna w betonie” omówiono mechanizm reakcji alkalia-krzemionka, charakterystykę kruszyw podatnych na reakcję alkalia-krzemionka oraz sposoby zapobiegania tej reakcji.

Tematem drugiego rozdziału jest wpływ dodatków mineralnych na przebieg reakcji alkalia-krzemionka.

Autor rozprawy do rozdziału studium literatury włączył rozdział „metodyka oceny reaktywności alkalicznej kruszyw i przebiegu korozji alkalicznej w betonie”. W rozdziale tym zostały omówione krajowe metody normowe, metodyka RILEM i ASTM oraz metody uzupełniające. Autor przedstawił w oparciu o dane literaturowe także wady i zalety omawianych metod w odniesieniu do uzyskiwanych wyników badań.

W zamieszczonym podsumowaniu studium literatury Autor zwrócił uwagę na ważność problemu zapobiegania destrukcji betonu w wyniku reakcji alkaliów z kruszywem, stwierdzając, że co najmniej 30% zasobów krajowych kruszyw może być potencjalnie reaktywnych. Przeprowadzona w pracy analiza literatury wykazała, że jednym ze sposobów zapobiegania reakcji alkalia-krzemionka jest stosowanie cementu z dodatkiem popiołu lotnego krzemionkowego lub żużla wielkopieczowego. Jednocześnie Autor w oparciu o dane literaturowe stwierdził, że brak jednoznacznej opinii autorów na temat przydatności popiołów lotnych

wapiennych w ograniczeniu korozji wywołanej reakcją alkalia-krzemionka, a w Polsce dotychczas nie prowadzono badań dotyczących tego zagadnienia.

Uzasadnieniem podjęcia badań wpływu popiołów lotnych wapiennych, uzyskiwanych w kraju, na reakcję alkalia-krzemionka jest także ich odmienny skład w porównaniu do popiołów zagranicznych.

Omówione w „studium literaturowym” zagadnienia, ich wybór i kolejność tworzą zwartą logiczną całość dobrze podbudowaną przeprowadzonymi w pracy badaniami oraz interpretacją i dyskusją uzyskanych wyników. Cytowana w pracy literatura (w tym 80% pozycji z ostatnich dziesięciu lat) pozwoliła Autorowi przedstawić aktualny stan wiedzy na temat reakcji alkalia-krzemionka w betonie, wpływu dodatków mineralnych na przebieg tej reakcji oraz stosowanych metod badań.

Ponad dwukrotnie obszerniejsza od „Studium literaturowego”, licząca 99 stron „część doświadczalna” pracy składa się z pięciu rozdziałów podzielonych na podrozdziały. W rozdziale „charakterystyka składników stosowanych w badaniach” Autor zamieścił wyniki badań zastosowanych w pracy materiałów obejmujących popioły lotne wapienne i krzemionkowe, żużel wielkopiecowy, zmielony wapień, a także klinkier cementowy i dwa reaktywne kruszywa (naturalne krzemionkowo - węglanowe i sztuczne krystobalitowe).

Autor w sposób przejrzysty zamieścił, wyróżniając tekst kursywą, opis zastosowanych metod badań chemicznych, składu fazowego itp. przed zestawieniem uzyskanych daną metodą wyników badań. Następnie omówił uzyskane wyniki badań.

W kolejnym rozdziale zatytułowanym „Wpływ wybranych właściwości popiołów lotnych wapiennych na przebieg reakcji alkalia-krzemionka” Autor przedstawił i omówił wyniki badań obejmujące wymywalność alkaliów z popiołu lotnego wapiennego w wodzie i nasyconym roztworze wodorotlenku wapnia, a także wpływ przemiału popiołu na stopień wymywalności alkaliów.

Autor zaobserwował, że zawartość alkaliów rozpuszczalnych w wodzie z popiołów lotnych wapiennych oraz zawartość alkaliów wymywalnych z zapraw z popiołem lotnym wapiennym zmniejszają się ze zwiększeniem w popiołach zawartości fazy amorficznej.

Bardzo interesująco przedstawiają się wyniki badań ekspansji zapraw z naturalnym kruszywem lub krystobalitem oraz cementem z 30% dodatkiem popiołów lotnych wapiennych. Autor wykazał, że zastosowane popioły lotne

wapienne spowodowały zmniejszenie ekspansji zapraw (po 28 dniach badania w roztworze wodorotlenku sodu w 80°C) od około 30 do 60%, zależnie od całkowitej zawartości wapnia w popiele. Względna ekspansja zaprawy była tym większa im większy był stosunek zawartości tlenku wapnia do sumy tlenku glinu i krzemionki w popiele lotnym wapiennym.

Obserwacje mikrostruktury zapraw o największej, średniej i najmniejszej ekspansji, w skaningowym mikroskopie elektronowym pozwoliły na stwierdzenie występowania produktów reakcji alkalia-krzemionka w miejscach ziaren kruszywa, na granicy kruszywo-zaczyn, a także licznych mikropęknięć w tych obszarach. Autor nie zaobserwował wpływu składu popiołu na morfologie produktów reakcji alkalia-krzemionka, natomiast stwierdził, że wielkość ekspansji zapraw związana jest ze stosunkiem intensywności refleksów Ca/Si w żelu w strefie kontaktowej kruszywo-zaczyn. W zaprawach o najmniejszej ekspansji stosunek intensywności refleksów Ca/Si w żelu jest znacznie mniejszy w porównaniu do zaprawy o większej ekspansji czy zaprawy z cementem bez dodatku popiołu.

Przedstawione wyniki analizy chemicznej w obszarach żelu, pokazują zróżnicowaną zawartość sodu, zarówno w strefie kontaktowej jak i wewnątrz kruszywa. Interesująca była by analiza wpływu zawartości alkaliów w żelu na wielkość ekspansji zapraw w odniesieniu do danych literaturowych.

W kolejnym rozdziale Autor przedstawił skuteczność ograniczenia ekspansji spowodowanej reakcją alkalia-krzemionka przez popiół lotny wapienny jako dodatek do cementów o zróżnicowanej zawartości alkaliów i wykazał, że dodatek 30% popiołu ogranicza ekspansję do 0,1% po 14 dniach badania, a dodatek 50% popiołu lotnego wapiennego zapobiega reakcji alkalia-krzemionka bez względu na zawartość alkaliów w cemencie.

Autor przeprowadził także badania wpływu zawartości popiołu lotnego wapiennego w cementach wieloskładnikowych wytworzonych w laboratorium przez zmielenie klinkieru przemysłowego i dodatków mineralnych na przebieg reakcji alkalia-krzemionka. Wyniki badań wykazały, że cementy z dodatkami mineralnymi charakteryzowały się mniejszą wymywalnością sodu i potasu z zaczynów cementowych, a stężenie jonów glinu w roztworze zwiększa się ze zwiększeniem zawartości popiołu lotnego wapiennego w cemencie. Wyniki obserwacji mikrostruktury zapraw w mikroskopie skaningowym wykazały

obecność produktów korozji alkalicznej w obszarach zajmowanych przez ziarna kruszywa oraz mikrorys w ich obrębie. Autorowi nie udało się zaobserwować związku morfologia żeli i destrukcji ziaren kruszywa z wielkością ekspansji zapraw.

Natomiast Autor podjął próbę określenia stosunku Ca/Si oraz Al/Ca w strefie kontaktowej kruszywo-zaczyn cementowy w stwardniałych zaczynach cementowych z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego. Stwierdził, że zwiększenie zawartości popiołu lotnego wapiennego w cemencie skutkuje obniżeniem stosunku Ca/Si oraz zwiększeniem stosunku Al/Ca w badanym obszarze. Dodatek popiołu lotnego wapiennego powoduje obniżenie ekspansji zapraw większe niż to wynika z obniżenia zawartości klinkieru w cemencie.

Także przeprowadzone przez Autora długoterminowe badania ekspansji betonów z cementami z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego wykazały obniżenie ekspansji poniżej normowego poziomu granicznego.

Kolejny rozdział zawiera podsumowanie wyników badań, w którym Autor powtórzył stwierdzenia przedstawione przy ich omawianiu. Pozytywnie oceniam podjętą przez Autora w tym rozdziale próbę powiązania wielkości ekspansji zapraw czy betonów ze składem produktu reakcji alkalia-krzemionka w odniesieniu do danych literaturowych.

Na podstawie przeprowadzonej interpretacji oraz analizy uzyskanych wyników badań Autor sformułował 6 szczegółowych wniosków końcowych.

4. Główne osiągnięcia naukowe

Za najważniejsze osiągnięcie naukowe mgr inż. Wojciecha Drożdża uważam bardzo obszerne badania eksperymentalne dotyczące roli popiołu lotnego wapiennego w przebiegu reakcji alkalia-krzemionka w betonie oraz wykazanie, że zawartość co najmniej 30% popiołu lotnego wapiennego (zmielonego) w cemencie zapobiega skutkom reakcji alkalia-krzemionka w betonie.

5. Formalna ocena pracy

Rozprawa jest napisana starannie, nie zawiera błędów językowych. Cytowana literatura jest kompletna i zawiera pełny opis bibliograficzny. Układ pracy nie budzi zastrzeżeń. Terminologia stosowana w rozprawie jest poprawna.

6. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

W pracy pomimo dużej dbałości o wysoki jej poziom nie ustrzeżono się pewnych kwestii dyskusyjnych.

Doktorant sformułował tezę pracy w sposób zbyt ogólny zakładając, że popiół lotny wapienny wchodzący w skład cementu jest przydatny w zapobieganiu reakcji alkalia-krzemionka. Teza pracy winna wynikać ze studium literatury i powinna wyszczególniać np. jakie właściwości popiołu będą decydujące o jego przydatności w ograniczeniu następstw reakcji alkalia-krzemionka.

Badania przedstawione w pracy zawierają bardzo wiele wątków. Autor wykonał badania zawartości glinu w wyciągach wodnych z popiołów lotnych, jednak uzyskanych wyników nie włączył do analizy wielkości ekspansji zapraw. Dopiero we wnioskach stwierdził, że podwyższenie stężenia jonów glinu w fazie ciekłej może ograniczać rozpuszczanie reaktywnej krzemionki z kruszywa.

Interesującą analizę wpływu stosunku $\text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ Autor zamieścił omawiając wyniki badań natomiast brak tej informacji we wnioskach.

Zamieszczony w tab. 25 skład chemiczny cementów z 30% dodatkiem popiołu lotnego wapiennego, pokazuje zmniejszenie zawartości alkaliów w porównaniu do cementu odniesienia, na co Autor nie zwraca uwagi interpretując wyniki ekspansji. Autor omawiając wyniki badań mikrostruktury zapraw stwierdził, że „żel powstający w przypadku naturalnego kruszywa reaktywnego jest lepiej wykształcony i mniej porowaty w porównaniu do produktów korozji kruszywa krystalitowego” (str.89). Porównując mikrostrukturę produktów korozji z fotografii zamieszczonych na rys. 57 + 64 trudno sformułować powyżej zamieszczony wniosek, gdyż powiększenia są różne.

Przedstawione powyżej uwagi mają przede wszystkim charakter dyskusyjny i w niczym nie umniejszają wartości merytorycznej pracy, którą oceniam wysoko.

7. Wniosek końcowy

Autor opiniowanej rozprawy podjął i samodzielnie rozwiązał zagadnienie mogące mieć zastosowanie w praktyce. Praca wnosi nowe elementy poznawcze w zakresie poprawy trwałości betonu poprzez zastosowanie popiołu lotnego wapiennego jako składnika cementu. Autor określił zagadnienie naukowe, które stanowiło cel pracy, a otrzymane wyniki i ich interpretacja poszerzają dotychczasowy stan wiedzy dotyczący roli popiołu lotnego wapiennego w

przebiegu reakcji alkalia-krzemionka w betonie. Oceniając analizę wyników badań doświadczalnych uważam, że Doktorant udowodnił postawioną tezę. Na pokreślenie zasługuje szeroki zakres badań oraz zastosowanie przez Doktoranta nowoczesnych metod badań składu fazowego i mikrostruktury i prawidłowa interpretacja uzyskanych wyników badań.

Mgr inż. Wojciech Drożdż wykazał umiejętność formułowania zadań badawczych, znajomość metodyki badań oraz prawidłowej interpretacji zaobserwowanych zjawisk.

W mojej ocenie opiniowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Wojciecha Drożdża zatytułowana „Wpływ popiołu lotnego wapiennego W na przebieg korozji alkalicznej w betonie” zawiera rozwiązanie problemu naukowego i w pełni spełnia wymagania określone przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku i uzasadnia wnioski o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony przed Radą Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej.



David