

**Wpłynęło**

.....  
Data

.....  
Podpis

31.01.2019 r.  
MS

Łódź, dn.22.01.2019 r.

Prof.dr hab.inż. Marek Dziubiński  
Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony  
Środowiska Politechniki Łódzkiej  
90-924 Łódź, ul. Wólczańska 213

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

**mgr inż. Aliny KALETY**

**pt." Wpływ temperatury na właściwości reologiczne zaczynów cementowych  
oraz właściwości użytkowe betonu"**

**Promotor pracy: prof. dr hab. Stefania Grzeszczyk**

### **1. Wybór tematu badawczego**

Współczesne budownictwo stawia coraz wyższe wymagania stosowanym materiałom budowlanym. Jednym z najczęściej stosowanych materiałów budowlanych jest beton. Technologie wytwarzania betonów są nieustannie bardzo intensywnie rozwijane i udoskonalane. Uzyskanie betonów wysokowartościowych wymaga bowiem doboru odpowiedniego składu mieszanki betonowej, czyli użycie odpowiedniego cementu, kruszywa, superplastyfikatorów i zastosowanie właściwej technologii wytwarzania. Na rynku pojawiają się kolejne nowe generacje superplastyfikatorów, które pozwalają na znaczną redukcję ilości wody zarobowej przy jednoczesnym zachowaniu tej samej konsystencji lub na znaczne upłynnienie mieszanki betonowej przy zachowaniu stałego stosunku wodno-cementowego. Wpływają więc one znacząco na właściwości reologiczne mieszanki betonowej i właściwości betonu. Dzięki możliwości stosowania szerokiej gamy dostępnych dodatków mineralnych i domieszek chemicznych możliwym stało się wytwarzanie betonów wysokowartościowych BWW o bardzo dużej wytrzymałości.

Wszystkie złożone procesy występujące w technologii wytwarzania materiałów budowlanych wymagają więc ciągłych intensywnych badań celem otrzymywania mieszanek betonowych i betonów o coraz lepszych właściwościach.

Nowe technologie umożliwiają wytwarzanie i układanie betonów w szerokim zakresie temperatur. Wynika to z naturalnej potrzeby, ponieważ wiele budowli realizowanych jest w skrajnie różnych temperaturach. Badanie właściwości reologicznych zaczynów cementowych w różnych temperaturach pozwala na ocenę wpływu temperatury na upłynnianie zaczynu oraz dostarcza informacji o działaniu stosowanych dodatków mineralnych i domieszek chemicznych celem optymalizacji jego składu.

Podjęcie w recenzowanej pracy doktorskiej zagadnienia wpływu temperatury na właściwości reologiczne zaczynów cementowych i właściwości użytkowe betonu uważam więc za w pełni uzasadnione zarówno z teoretycznego jak i praktycznego punktu widzenia.

## **2. Charakterystyka pracy**

Recenzowana praca została wykonana w Katedrze Inżynierii Materiałów Budowlanych Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Opolskiej pod kierunkiem prof. S. Grzeszczyk. Jest ona kontynuacją wieloletnich badań właściwości użytkowych betonów realizowanych w ośrodku opolskim.

Układ pracy jest klasyczny. Praca składa się z wprowadzenia oraz dwóch zasadniczych obszernych części, a mianowicie części teoretycznej i części badawczej oraz wniosków i spisu literatury zawierającego 226 pozycji. Całość zawarta jest na 198 stronach.

We wprowadzeniu Autorka prezentuje uzasadnienie podjęcia tematu pracy, jej cel i zakres oraz postawione na wstępie tezy pracy. Celem pracy było zbadanie wpływu temperatury na właściwości reologiczne zaczynów cementowych dla różnego rodzaju cementu bez i z obecnością superplastyfikatora oraz badanie wpływu temperatury na właściwości mieszanek betonowych i stwardniałego betonu wysokowartościowego BWW.

Podjęcie się rozwiązania tych zagadnień jest bardzo ambitnym przedsięwzięciem ze względu na bardzo złożone medium badawcze i interdyscyplinarny charakter badań.

W bardzo obszernym przeglądzie literatury Autorka przedstawiła podstawowe pojęcia reologii, scharakteryzowała zaczyny cementowe oraz towarzyszące im zjawisko hydratacji. Przedstawiła czynniki wpływające na właściwości reologiczne

zaczynów cementowych. Należą do nich: stosunek wodno-cementowy, rodzaj cementu, uziarnienie cementu, dodatki mineralne i domieszki chemiczne.

W rozdziale drugim Autorka scharakteryzowała zjawisko tiksotropii płynów oraz podstawowe metody pomiarowe stosowane w reologii do ilościowego opisu tego zjawiska. Przedstawiła również nieliczne opublikowane w literaturze badania dotyczące właściwości tiksotropowych zaczynów cementowych.

Rozdział trzeci jest przeglądem literatury dotyczącej wpływu temperatury na właściwości zaczynu cementowego oraz mieszanki betonowej i betonu.

Na wstępie części badawczej pracy Autorka w rozdziale czwartym scharakteryzowała stosowane w badaniach media. Były nimi: zaczyny cementowe sporządzane na bazie trzech rodzajów cementu: portlandzkiego CEM I 42,5 R, cementu portlandzkiego żuźlowego CEM II/B-S 42,5 R oraz cementu hutniczego CEM III/32,5 N LH/HSR/NA. Do zaczynów cementowych dodawano superplastyfikator polikarboksyłanowy w ilości 1.0% w stosunku do masy cementu. Mieszanki betonowe sporządzano z cementu portlandzkiego CEM I 42,5 R i dodatku mineralnego, którym był pył krzemionkowy.

W rozdziale V Doktorantka omówiła stosowane metody pomiarowe. Należały do nich: pomiary reometryczne krzywych płynięcia zaczynów cementowych, dwie metody charakteryzowania właściwości tiksotropowych zaczynów czyli pomiary wielkości pętli histerezy oraz metoda skokowych zmian szybkości ścinania. W przypadku badanych mieszanek betonowych określano ich konsystencję, zawartość powietrza oraz gęstość, zaś w przypadku stwardniałego betonu określano w wykonanych badaniach: gęstość, nasiąkliwość, wytrzymałość na ściskanie, głębokość penetracji wody oraz mrozoodporność betonu. Badania reologiczne zaczynów cementowych wykonywano w szerokim zakresie temperatur od 15<sup>0</sup>C do 30<sup>0</sup>C, zaś właściwości betonów w temperaturach 12<sup>0</sup>C, 20<sup>0</sup>C, 30<sup>0</sup>C i 40<sup>0</sup>C.

Rozdział VI poświęcony jest omówieniu wyników badań dotyczących wpływu temperatury na właściwości reologiczne zaczynów cementowych ze szczególnym uwzględnieniem ich właściwości tiksotropowych oraz wpływu temperatury na właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu. Krzywe płynięcia zaczynów Doktorantka opisała modelem Bingham, co umożliwiło określenie wartości granic płynięcia i lepkości plastycznej zaczynów. Wykonane badania właściwości tiksotropowych zaczynów cementowych bez i z dodatkiem superplastyfikatora

pozwołyły Autorce wykazać szczególną rolę superplastyfikatora w kształtowaniu właściwości zaczynów.

W przypadku mieszanek betonowych Doktorantka dokonała analizy wyników badań konsystencji i zawartości powietrza oraz wytrzymałości i mrozoodporności stwardniałego betonu. Wykazała, że w temperaturze 20<sup>0</sup> C można uznać, że beton miał najlepsze parametry użytkowe. Mieszanka betonowa wykonana w tej temperaturze wykazuje największy rozptyw i najmniejszą zawartość powietrza, natomiast stwardniały beton dojrzewający w tej temperaturze osiąga największą wytrzymałość na ściskanie, wynoszącą po 28 dniach około 117 MPa, a po 1 roku ponad 130 MPa.

Rozdział VII to obszerne podsumowanie wykonanych badań, zaś rozdział VIII to końcowe wnioski z pracy.

Podsumowując przedstawioną powyżej ogólną charakterystykę pracy mogę stwierdzić, że wyraźnie odczuwalne są zachwiane proporcje między poszczególnymi częściami pracy. Zbyt obszerna i bardzo szczegółowa jest część literaturowa, która jest przedstawiona na 103 stronach pracy w stosunku do omówienia wyników, które zajmują jedynie 37 stron. W moim przekonaniu część opisową dotyczącą elementarnych podstaw i pojęć reologii można było pominąć.

### **3. Ocena merytoryczna pracy**

Recenzowana praca doktorska jest pracą o charakterze doświadczalnym. Napisana jest poprawnym językiem, szata graficzna nie budzi zastrzeżeń. Prezentowane w niej tabele, rysunki i wykresy są dobrze opracowane, chociaż część z nich powinna mieć nieco większy rozmiar, aby były bardziej przejrzyste i zrozumiałe dla Czytelnika.

W mojej ocenie praca jest wykonana samodzielnie i w znacznym stopniu stanowi oryginalne opracowanie wybranych aspektów właściwości reologicznych zaczynów cementowych i właściwości betonów. Umiejętność ta dobrze świadczy o dojrzałości Doktorantki do samodzielnego rozwiązywania stawianych przed Nią problemów naukowo-badawczych.

W mojej ocenie do najważniejszych osiągnięć pracy - będących elementami nowości naukowej - należy zaliczyć:

1. Wykonanie bardzo szerokiego zakresu badań dotyczących wpływu temperatury na właściwości reologiczne zaczynów cementowych (w tym ich właściwości tiksotropowe) oraz wpływu temperatury na właściwości użytkowe betonu.
2. Podjęcie próby ilościowej oceny właściwości tiksotropowych zaczynów cementowych przy użyciu modelu reologicznego Kembłowskiego i Petery oraz wyznaczenie parametrów tego modelu dla zaczynów cementowych bez i z dodatkiem superplastyfikatora. Jest to podejście, które do tej pory nie było opisane w literaturze przedmiotu dotyczącej reologii zaczynów cementowych.
3. Wykazanie możliwości ilościowej oceny wpływu superplastyfikatora polikarboksyłanowego na właściwości tiksotropowe zaczynów cementowych. Ma to duże znaczenie praktyczne ze względu na coraz szersze stosowanie różnych superplastyfikatorów w technologii materiałów cementowych.
4. Wykonanie analizy wpływu temperatury - w zakresie od 15<sup>o</sup> do 30<sup>o</sup>C - na wartości granicy płynięcia oraz lepkości plastycznej zaczynów cementowych oraz wielkości pola pętli histerezy, które jest wyznacznikiem występowania zjawiska tiksotropii.
5. Stwierdzenie, że ze wzrostem temperatury obserwuje się większą utratę upłynnienia zaczynów z cementów z dodatkiem żużla wielkopieczowego w obecności superplastyfikatora w porównaniu do zaczynów bez tego dodatku.
6. Duże znaczenie praktyczne mają wyniki badań wpływu temperatury na właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu wysokowartościowego BWW. Doktorantka wykazała, że w temperaturze 20<sup>o</sup>C uzyskuje się beton o najlepszych parametrach użytkowych.

#### **4. Uwagi i zapytania**

W trakcie czytania pracy nasunęło mi się kilka uwag i zastrzeżeń merytorycznych oraz korektorsko-stylistycznych, które wymagają wyjaśnienia w trakcie publicznej obrony pracy:

1. Czym kierowała się Autorka pracy stosując w badaniach określoną procedurę przygotowania próbek (3 min. mieszania ręcznego próbki zaczynu, następnie wstępne ścinanie próbki w reometrze z szybkością ścinania 150 s<sup>-1</sup> przez 1 min., po czym pozostawienie próbki przez 1 min. w spoczynku i dopiero wykonanie właściwego pomiaru) mając na uwadze, że zaczyny cementowe wykazują cechy płynu tiksotropowego. Czy na uzyskane wyniki pomiarów reometrycznych miałyby wpływ inna procedura przygotowania próbki zaczynu do właściwego pomiaru ?

2. Zabrakło mi komentarza do przedstawionych w Tabeli 6.9 i 6.10 wartości parametrów reologicznych uzyskanych za pomocą dwóch różnych procedur badawczych.
3. Niezbyt jasna jest dla mnie idea porównywania dopasowania modelu Kembłowskiego i Petery dla wartości parametrów reologicznych modelu wyznaczonych przy zastosowaniu w badaniach schematu A zmian szybkości ścinania do opisu właściwości zaczynów cementowych wyznaczonych dla innych szybkości ścinania przyjętych według schematu B zmian szybkości ścinania - patrz rys.6.20 i 6.21. Proszę o komentarz na ten temat.
4. Na badane zjawisko tiksotropii zaczynów cementowych mają wpływ dwa procesy: zmiana w czasie struktury badanego medium poddanego ścinaniu ze stałą wartością szybkości ścinania ("czysta klasyczna" tiksotropia) oraz zjawisko fizykochemiczne (hydratacja cementu). Czy jest możliwe oszacowanie udziału tych dwóch niezależnych procesów na wartości określanych parametrów reologicznych za pomocą modeli płynów tiksotropowych? Czy takie próby lub dyskusja była podejmowana w literaturze przedmiotu?
5. Jak pogodzić fakt stosowania do opisu krzywych płynięcia zaczynów cementowych przedstawionych na rys.6.1 do 6.6 modelu Bingham (słusznego dla płynów reostabilnych) z właściwościami tiksotropowymi takich zaczynów ?
6. Dlaczego wybrano do opisu krzywych płynięcia przedstawionych na rys.6.1 do 6.6 model Bingham, a nie model Herschela-Bulkleya ze względu na krzywoliniowość części wykonanych i przedstawionych w pracy krzywych płynięcia?
7. Zabrakło mi w pracy **pogłębionej dyskusji** wskazującej na praktyczne aspekty związku między zbadanymi właściwościami reologicznymi zaczynów cementowych zależnych od temperatury a ich właściwościami użytkowymi dla celów praktyki budowlanej.
8. Stwierdzenie zamieszczone na str.22 (I akapit) nie jest precyzyjne. Liniowy przebieg krzywej płynięcia nie oznacza, że płyn wykazuje cechy newtonowskie.
9. Rys.1.8 na str.20 jest niepełny. Płyny nienewtonowskie reologicznie niestabilne dzielą się na dwie grupy, a mianowicie płyny tiksotropowe i antytiksotropowe, czego nie uwzględniono na rys.1.8.
10. Autorka nie ustrzegła się nielicznych błędów korektorskich w tekście pracy.

Przedstawione uwagi mają charakter polemiczny i w mojej opinii nie umniejszają wartości pracy, lecz dla jej przejrzystości wymagają wyjaśnienia podczas publicznej obrony.

## **5. Wniosek końcowy**

Praca doktorska mgr inż. A. Kalety podejmuje bardzo trudny i złożony interdyscyplinarny problem wpływu temperatury na właściwości reologiczne różnych zaczynów cementowych z dodatkiem lub bez superplastyfikatorów oraz wpływu temperatury na właściwości betonów. Rozprawa napisana jest poprawnie pod względem formalnym i merytorycznym. Autorka wykazała się dobrą znajomością wiedzy z zakresu reologii zaczynów cementowych wykazujących właściwości tiksotropowe i jest dobrze przygotowana do prowadzenia badań w tej dziedzinie.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. A. Kalety stanowi samodzielne rozwiązanie wybranych problemów badania właściwości zaczynów cementowych i właściwości użytkowych betonu oraz wnosi elementy nowości naukowej w poznaniu tych zagadnień.

Reasumując stwierdzam, że recenzowana praca spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim. Stawiam więc wniosek do Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Opolskiej o jej przyjęcie i dopuszczenie mgr inż. A. Kalety do publicznej obrony pracy.

