

Prof. dr hab. inż. Andrzej M. Brandt, dr h.c.
02-908 Warszawa, ul. Sobolewska 18
tel.: +22 8422825, e-mail: abrandt@ippt.pan.pl

Warszawa, 27. IV 2020 r.

Śr. P.

prof. I. Kępcu

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

"Assessment of spalling risk in concrete subjected to fire"

mgr inż. Katarzyny Mróz

Proszę o przyjęcie
zprawy. Głównie
wcauzi!!!

DZIEKAN
Wydziału Inżynierii Lądowej

dr hab. inż. Andrzej Brandt, prof. P.K.
30.04.2020

1. Zakres i temat rozprawy

Recenzja rozprawy została opracowana w wyniku uchwały Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej podjętej w dniu 15 kwietnia 2020 r.

Rozprawa jest przedstawiona w postaci maszynopisu (250 str.), obejmującego zasadniczą część tekstu (156 str.) oraz załącznik (85 str.) i oznaczonego datą 27 lutego 2020 roku.

Treść rozprawy poprzedza streszczenie na pierwszych kilku stronach. Podjęte badania dotyczą zjawiska złuszczenia i odpryskiwania betonu w niezbrojonych płytach betonowych poddanych działaniu wysokiej temperatury. Nie ma potrzeby uzasadniania znaczenia pogłębienia wiedzy o tych zjawiskach, ponieważ decydują o bezpieczeństwie wielu rodzajów konstrukcji w budownictwie przemysłowym i z tego powodu zagadnienia te są podejmowane przez zaawansowane zespoły badawcze w kilku krajach, m.in. w ramach RILEM.

W rozdz. 1. Autorka przedstawiła zakres podjętych badań, dotyczących wpływu wysokiej temperatury na betony konstrukcyjne podczas pożaru budynku. Zmiany właściwości mechanicznych postępują wraz ze wzrostem temperatury i obejmują w szczególności zjawiska odpryskiwania betonu w warunkach pożaru, co stanowi podstawowy temat rozprawy. Na zakończenie tego rozdziału Autorka sformułowała pięć tez rozprawy.

Rozdz. 2 zawiera analizę publikacji innych autorów w podjętym temacie, wskazując na brak ustalonych procedur badania betonu w warunkach wysokiej temperatury, a szczególnie opisywania zjawisk związanych z odpryskiwaniem fragmentów betonu. Przedstawiono tu różne metody obserwacji i rejestracji zachowania się płyt betonowych w takich warunkach. Z tego opisu wynikają wnioski o braku uzgodnionych i przyjętych metod badania procesów zachodzących podczas pożaru, w szczególności wpływu ograniczeń przemieszczeń płyt na przebieg odpryskiwania fragmentów betonu.

DZIEKANAT Wydziału Inżynierii Lądowej	
Wpłynęło dnia...	30.04.2020
L. dz.	10.510.1.2.2020
podpis.....	Góralczyk

Rozdz. 3 obejmuje szczegółowy program badań wstępnych i podstawowych. Autorka opracowała oryginalne warunki i układy obciążania elementów próbnych i zestawy urządzeń do pomiarów i rejestracji wyników w kolejnych etapach badań. Zamieszczono tu wyniki badań wstępnych, dotyczących próbek wykonanych z 7-miu różnych rodzajów betonu (Tabela 3.1), dyskutując znaczenie składu betonów poddanych podstawowym badaniom. Autorka opisała metodę wykorzystania uzyskiwanych wyników pomiarów, analizy fal dźwiękowych oraz rejestrowania i analizowania odkształceń na powierzchni oryginalną metodą DIC (*Digital Image Correlation*). W tym rozdziale podane są szczegóły składu betonu (Tabela 3.4), z którego wykonano elementy do podstawowej części programu badawczego

Rozdz. 4 zawiera zestawienie wyników uzyskanych podczas zrealizowanego obszernego programu badania elementów betonowych w warunkach pożaru w temperaturze od 20 do 800°C. W wyniku, uzyskano wykresy opisujące zachowanie się płyt w funkcji temperatury podczas stopniowego nagrzewania oraz szczegółowe informacje o przebiegu odpryskiwania betonu, (Tabela 4.6). Obok wniosków i szczegółów analizy, zamieszczono tu najważniejsze uzyskane wyniki obserwacji i pomiarów, których podstawowa część jest podana w Załączniku.

Zestawienie wybranych wyników i ich dyskusję przedstawiono w rozdz. 5.

Rozdz. 6 zawiera ogólne uwagi na temat badania elementów betonowych w warunkach pożaru, a w rozdz.7 jest spis wybranych publikacji, analizowanych przed opracowaniem i realizacją programu badań.

Załącznik oznaczony jako rozdz. 8 zawiera podstawową część uzyskanych wyników pomiarów i obserwacji.

Autorka zrealizowała obszerny program badań doświadczalnych, zmierzających do uzyskania odpowiedzi na postawione pytania, ograniczone do zagrożenia odpryskiwaniem fragmentów betonu w przypadku poddania konstrukcji betonowej warunkom pożarowym. Uzyskane wyniki są adresowane do badaczy tych zagadnień i mogą stanowić element dalszych prac doświadczalnych, zmierzających do uzyskania konkretnych zaleceń do projektowania i realizowania konstrukcji żelbetowych, w których trzeba uwzględnić możliwość wystąpienia pożaru.

2. Krytyczna analiza treści rozprawy

Zakres podjętej rozprawy obejmował studia publikacji w tym temacie oraz przeprowadzenie programu oryginalnych badań doświadczalnych wraz z analizą uzyskanych rezultatów.

Wątpliwości formalne wywołuje tytuł tego podrozdziału 1.3 – to są po prostu tezy rozprawy. Z pośród pięciu tez na str.15 ostatnia i przedostatnia dotyczą raczej komentarza i opisu, a nie są to tezy we właściwym rozumieniu tego słowa. W rozprawie trzeba udowodnić słuszność tez, a dwie ostatnie - stwierdzenie różnorodności i możliwości - nie wymagają udowodnienia i są fragmentami opisu wyników badań. Co więcej, w p.5.3 *Confirmation of hypotheses* zestawiono 6 hipotez oznaczonych rzymskimi cyframi, z których I, II i IV odpowiadają poprzednio zaproponowanym trzem pierwszym tezom, a pozostałe stanowią właściwie fragmenty opisu uzyskanych wyników. Potrzebne jest odróżnienie tez jako pewnych nowych stwierdzeń, wymagających udowodnienia, od wszelkich innych opisów obserwacji i wniosków.

W p.1.1 określenie zakresu rozprawy (str. 13) jest nieprecyzyjne: HPC to betony powyżej C55/67, a od C90/105 zaczynają się betony VHPC. Warto tu wyraźnie napisać czy to są granice zakresu betonów badanych i przedstawionych w rozprawie, czy też wnioski z przeprowadzonych badań dotyczą całego zakresu, określonego pod nazwami HPS i VHPS.

Rozdz.2 zawiera zestawienie stanu wiedzy i opis badań dotyczących odpryskiwania betonu pod wpływem wysokiej temperatury, a ostatni akapit na str.65 wskazuje na zakres podjętych przez Autorkę badań. W Figs. 2.4 i 2.5 – brakuje skali poziomej; przedstawione wykresy obejmują okres 10 godzin.

W opisach badań w p.2.2 niewłaściwie jest użyty systematycznie czas teraźniejszy – to są badania już przeprowadzone, a więc wykonane w przeszłości w stosunku do opisu przedstawionego w rozprawie.

W rozdz. 2 brakuje opisu i wniosków z badań przeprowadzonych w Polsce poza Politechniką Krakowską, a także wskazania zagadnień pominiętych w normach i zaleceniach krajowych i międzynarodowych, dotyczących odprysków betonu pod wpływem pożaru. Pominięto m.in. wyniki badań w publikacjach autorów: I. Pokorska-Silva, M. Kosiorek, J. Fangrat, i in., a także zespołu Z.Woźniak i P.Turkowski z 2013 r. Brakuje informacji o wynikach badań, przedstawianych na kolejnych konferencjach na temat bezpieczeństwa pożarowego obiektów budowlanych, zainicjowanych przez Instytut Techniki Budowlanej w 1995 r. Z publikacji krajowych uwzględnione zostały wyłącznie prace autorów krakowskich. Nawet jeżeli prace innych autorów krajowych nie w pełni dotyczą tematu rozprawy, to warto o nich wspomnieć, choćby krytycznie, aby wskazać na brak podejmowania tej tematyki.

Z pośród publikacji zagranicznych pominięte zostały dosyć ważne publikacje autorów V.K.R. Kodur (2007 i późniejsze), M.Ozawa i in. (Constr.a.Build.Mat. 2012) oraz J.C.Liu i in. (także CBM 2018).

Konkluzje z przeglądu publikacji światowych (str.64) trafnie prowadzą do wniosku o braku dostępnej wiedzy na temat warunków, w jakich następuje odpryskiwanie fragmentów betonu podczas pożaru, co uzasadnia zestawione tezy rozprawy (str.15).

Badania wstępne, które przedstawiono w p.3.1, Tabela 3.1, obejmowały 7 płyt o rozmiarach 1,2x1,0x0,3 m z betonów, różniących się rodzajem cementu i kruszywa, stosunkiem w/c i rodzajem cementu. Wzrost temperatury betonu na głębokości od 0 do 100 mm od powierzchni nagrzewanej w piecu typu Dragon mierzono w czasie 80 minut. W wyniku tych wstępnych badań podjęto decyzję o ograniczeniu dalszych badań do płyt z kruszywem bazaltowym z cementu CEMIII/A 42.5 N. Brakuje argumentów uzasadniających taki wybór zakresu rozprawy, chociaż oczywiście ograniczenie zakresu badań jest konieczne.

Na str. 71 wstępne badania (*preliminary tests*) opisane są w pierwszym akapicie, a poniżej następny podrozdział 3.1.2 jest znów zatytułowany: *Preliminary study*.

Autorka przedstawiła w 3.1.2 skuteczne zastosowanie metody DIC (*Digital Image Correlation*) do analizowania pomiarów odkształceń w badanych płytach. Metoda ta wykorzystana w podstawowej części badań pozwoliła na rejestrację odkształceń po obu stronach badanych płyt i trzeba podkreślić znaczenie rozwijania tej metody w badaniach zjawisk podczas pożaru konstrukcji. Ten etap badań dotyczył powstawania odprysków w różnych warunkach ogrzewania i doprowadził do uzyskania oryginalnych wyników pomiarów.

Do kolejnego etapu badań wybrano płyty wykonane z betonu wysokowartościowego o wytrzymałości normowej na ściskanie nieco ponad 60 MPa., o składzie pokazanym w Tabeli 3.4, przy czym wykorzystano rzeczny żwir jako kruszywo. Program tych badań jest opisany w Tabeli 3.5, obejmującej zarówno oznaczenie właściwości betonu jak i zestawienia warunków podparcia w 7-miu przypadkach. Zakres badań wynikał z konieczności poznania podstawowych właściwości betonów i wyboru rodzaju betonu do zasadniczego programu prac.

Wybór różnych kruszyw do badań wstępnych, a następnie składu betonu do badań podstawowych nie jest uzasadniony w sposób nie budzący wątpliwości.

Obciążenie elementów próbnych przeprowadzono przy użyciu przekładek szczotkowych, które pozwoliły na usunięcie tarcia i uzyskanie pożądanego obciążenia płyt jako tarcz. Opisane są tu także szczegółowo warunki podparcia i nagrzewania płyt w podstawowej części badań, a także rozmieszczenia tensometrów pokazane na Figs. 3.27 do 3.32. Czas wzrastania temperatury (Fig.3.26) i jej trwania został przyjęty zgodnie z Normą ISO 834-1 i nie

występuje w przeprowadzonych badaniach jako istotny czynnik, wpływający na rozwój uszkodzeń betonu.

Badania w pierwszym etapie obejmowały kilka stanów obciążenia próbek w temperaturze zmieniającej się od 20°C stopniowo co 200°C aż do 800 °C.

W tym zakresie zmian temperatury określono:

- wytrzymałość na ściskanie f_c na próbkach sześciennych o boku 150 mm,
- wytrzymałość na rozciąganie f_t przez rozłupywanie walców $\varnothing 100\text{mm} \times 200\text{mm}$,
- wartości średniego modułu sprężystości E na walcach $\varnothing 150\text{mm} \times 300\text{mm}$,
- wartości energii zniszczenia G_f na elementach próbnych $100 \times 100 \times 500$ mm.

Wykresy obejmują wyniki pomiarów wymienionych wyżej wielkości na trzech identycznych próbkach, przy czym różnice między nimi okazały się nieznaczne, z wyjątkiem wykresów G_f w zakresie temperatury od 200°C do 600°C.

Uzyskane wyniki badania właściwości mechanicznych betonu wysokowartościowego w temperaturze do 800 °C objęły obszerny zakres obserwacji i pomiarów, których wyniki przedstawione są w p.4, przy czym stwierdzono niewielkie rozrzuty końcowych wartości uzyskanych z trzech próbek, co potwierdza wiarygodność tych wyników. Szczegółowa dyskusja rezultatów badania zajmuje p.4.1.6, w którym także dokonano porównań są wyniki z danymi z publikacji innych autorów mimo poważnych różnic w warunkach prowadzenia tych badań.

Prace doświadczalne objęły także rejestrację efektów akustycznych, które okazały się charakterystyczne przy różnych warunkach obciążenia.

Autorka zrealizowała obszerny zakres pomiarów i obserwacji, w szczególności rejestrację odpryskiwania betonu i rozwoju rys w czasie oddziaływania ognia w rozmaitych przypadkach podparcia płyt, a także w przypadkach ich ograniczenia przez stalowe obejmy. Badania ogniowe płyt przeprowadzono w specjalnie skonstruowanym piecu systemu Dragon, odpowiednio dostosowanym do rozmiarów płyt i programu obciążania.

Łącznie zakres wykonanych badań można uznać za obszerny, chociaż wynikający z wyboru z pośród licznych możliwych innych kombinacji warunków podparcia i sposobu nagrzewania płyt z betonu. Płyty obciążano według 7-miu schematów (Tabela 4.6), uwzględniając różne warunki obciążenia i ograniczenia odkształceń przy użyciu stalowych obejm, przy czym w każdym przypadku zbadano dwie próbne płyty. Podstawowe badania w wysokiej temperaturze wykonano na elementach betonowych w wieku 300 i 330 dni, bez uzbrojenia. Rejestrowano pojawienie się pierwszych rys i ich głębokość, a także ilość odspojonego betonu oraz formę odspojonych odłamków.

Program obciążania płyt i rejestracji przebiegu badań był obszerny i może być uznany za zupełnie wystarczający do uzyskania ważnych i oryginalnych informacji o zjawisku odpryskiwania betonu z elementów poddanych wysokiej temperaturze.

Zasadnicza część wyników badań i pomiarów przedstawiona jest dodatkowo w postaci Aneksu, zawierającego szczegółowe pomiary i obrazy, uzyskane z dwóch płyt z każdego rodzaju obciążenia i podparcia.

3. Uwagi dyskusyjne i ocena przeprowadzonych badań

Badania stanowiące treść rozprawy były wynikiem udziału Autorki w pracach międzynarodowej grupy specjalistów, zajmujących się zjawiskami, występującymi podczas oddziaływania wysokiej temperatury na elementy betonowe, a w szczególności odpryskiwaniem betonu. Jest to zjawisko stosunkowo mało znane w tematyce zachowania się konstrukcji z betonu w warunkach pożaru. Autorka wybrała zakres swoich oryginalnych badań określony w tytule rozprawy.

Wobec całości zagadnień związanych z zachowaniem się konstrukcji z betonu w warunkach pożaru jest to zakres dość ograniczony, jednak trudno sobie wyobrazić realizację większego zakresu w ramach doktoratu. Wybór rodzaju betonu, warunków podparcia i obciążania, dokonany przez Autorkę można uznać za trafny i interesujący, a także w pełni odpowiadający oczekiwaniom w stosunku do rozprawy doktorskiej. Trzeba docenić przydatność uzyskanych wyników do dalszych prac zespołów badaczy, zmierzających do opracowania norm czy przepisów, odnoszących się do zachowania konstrukcji betonowych czy żelbetowych w warunkach pożaru. Zapewne taka jest intencja wspomnianej grupy specjalistów, a osiągnięcia Autorki w wykonanym przez nią fragmencie badań nabiorą znaczenia w połączeniu z innymi pracami w tej tematyce. Niezależnie od możliwości i potrzeby podjęcia obszernego programu badań międzynarodowych zachowania się betonu i żelbetu w warunkach pożaru, trzeba stwierdzić, że rozprawa dotyczy oryginalnego zakresu badań, wykonanych umiejętnie i szczegółowo rejestrowanych. Autorka uzyskała oryginalne wyniki na podstawie trudnych i obszernych badań doświadczalnych i odpowiednio je zinterpretowała, a program badań został zrealizowany w sposób systematyczny i kompetentny.

Wśród dość licznych drobnych usterek formalnych w tekście rozprawy warto zauważyć, że niepotrzebnie w wielu miejscach wymiar długości określony jest przez *cm*; poprawne jest używanie *mm* i *m* jako jednostek długości.

W recenzji pominięto ocenę przedstawionego tekstu od strony językowej. Użycie języka angielskiego nie jest uzasadnione, zwłaszcza wobec braku nie polskojęzycznych recenzentów w ocenianiu rozprawy.

4. Wniosek

Na podstawie powyższej recenzji stwierdzam, że rozprawa jako główny element przewodu doktorskiego spełnia wszystkie warunki, wynikające z obowiązujących przepisów i z przyjętych zwyczajowo wymagań poziomu naukowego. Wykonane badania doświadczalne i ich opis wraz z analizą wyników są realizacją oryginalnego programu, którego zakres odpowiada w pełni oczekiwaniom w stosunku do rozprawy doktorskiej. Kolejne etapy prac zostały przeprowadzone z dużym nakładem wysiłku i umiejętności ze strony Autorki, a uzyskane wyniki i ich analiza świadczą o dobrym przygotowaniu do dalszej pracy badawczej.

Wobec tego mgr inż. Katarzyna Mróz może być dopuszczona do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Ze względu na skuteczne przeprowadzenie obszernego i trudnego programu oryginalnych badań oraz wykorzystanie niekonwencjonalnych metod badawczych i nowych pojęć uważam, że rozprawa może być wyróżniona i stawiam taki wniosek.

