

RECENZJA

ROZPRAWY DOKTORSKIEJ MGR INŻ. Małgorzaty Rodackiej

pt.: „WPLYW ZJAWISK REOLOGICZNYCH NA UGIĘCIA KABLOBETONOWYCH
BELEK Z BETONU LEKKIEGO ”

1. Podstawa formalna recenzji

Podstawą opracowania niniejszej recenzji stanowi uchwała Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej z dnia 27 kwietnia 2022r. oraz pismo (L.O.510.13.3.2018) nawiązujące do tej uchwały podpisane przez Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej PK prof. dr hab. inż. Andrzeja Szaraty z dn. 9 maja 2022r.

2. Przedmiot, treść pracy i układ redakcyjny pracy


Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Małgorzaty Rodackiej pt. „Wpływ zjawisk reologicznych na ugięcia kablobetonowych belek z betonu lekkiego”. Promotorami rozprawy są profesorowie Politechniki Krakowskiej: dr hab. inż. Lucyna Domagała, oraz dr hab. inż. Rafał Szydłowski (jako promotor pomocniczy).

Głównym celem pracy było porównanie zachowania się belek kablobetonowych wykonanych z betonu lekkiego na kruszywie Certyd i porównywalnego co do wytrzymałości betonu zwykłego poddanych obciążeniu długotrwałemu.

Praca doktorska zawarta jest w jednym tomie i obejmuje 153 strony głównego opracowania oraz 4 załączniki. Łącznie liczy 187 stron. Merytoryczną treść pracy podzielono na 11 rozdziałów, rozdział 12 to bibliografia. Na początku rozprawy zamieszczono streszczenie w języku angielskim i polskim spis stosowanych oznaczeń i symboli streszczenie w języku polskim i angielskim, spis treści, oraz wykaz stosowanych ważniejszych symboli i oznaczeń. Po ostatnim 12 rozdziale zamieszczono spis rysunków zawartych w treści opracowania (łącznie 76 rysunków), spis tabel (łącznie 27 tabel) oraz cztery Załączniki ze szczegółowymi wynikami badań w formie tabel i wykresów (34 strony). Objętość rozdziałów jest bardzo zróżnicowana.

Po krótkim wprowadzeniu (rozdział 1 – 2 strony) uzasadniającym wybór tematu Autorka w rozdziale 2 (20 stron) opisuje właściwości fizyczne i mechaniczne lekkich betonów konstrukcyjnych z uwzględnieniem betonu na kruszywie Certyd, które stosuje we własnych badaniach. Przegląd dotychczas przeprowadzonych badań konstrukcyjnych elementów sprężonych z betonu lekkiego jest zamieszczony w rozdziale 3 (6 stron). Autorka zaznacza, że badania sprężonych elementów są nieliczne i dotyczą belek (głównie w aspekcie start siły sprężającej oraz ugięć) oraz płyt.

Zasady projektowania konstrukcji z betonów lekkich według europejskiej normy PN-EN-1992-1-1:2008 oraz normy amerykańskiej ACI 318:2014 zawiera rozdział 4 (6 stron). Zwięźły

Wzłynęło dnia 04 LIP. 2022
Lp 510.13.3.2018
podpis 

opis zastosowania lekkiego betonu w budynkach jak również konstrukcjach inżynierskich (m.in. w mostach, wiaduktach, konstrukcjach off-shore, zamieszczono w rozdziale 5 liczącym 3 strony. Natomiast w następnym, szóstym rozdziale (1 strona) poruszono aspekt ekonomiczny i ekologiczny zastosowania betonu lekkiego w konstrukcjach.

W rozdziale 7 (2 strony) Autorka dokonała zwięzłego podsumowania przeglądu literatury opisanej w poprzednich rozdziałach w aspekcie przydatności betonu lekkiego do konstrukcji sprężonych jako alternatywy dla betonu zwykłego.

Przeprowadzona analiza stanu wiedzy stanowiła podstawę do sformułowania czterech tez pracy doktorskiej mgr inż. Małgorzaty Rodackiej, które zostały przedstawione w rozdziale 8 (1 strona). Postawione tezy pracy związane są ze skurczem i pęczaniem betonu lekkiego na kruszywie CERTYD oraz przebiegiem ugięć i nośności belek wykonanych z tego betonu pod długotrwałym obciążeniem w porównaniu do belek wykonanych z betonu zwykłego.

Dalsza część rozprawy doktorskiej dotyczy badań przeprowadzonych przez Autorkę. Badania eksperymentalne, przedstawione w najbardziej obszernym w pracy – rozdziale 9 (65 stron). Badania doświadczalne zostały podzielone na dwa etapy: badania wstępne i badania właściwe. Celem badań wstępnych było doświadczalne sprawdzenie możliwości uzyskanie wysokiej wytrzymałości betonu lekkiego na kruszywie Certyd. W ramach tego etapu badań opracowano dwie mieszanki betonowe (C1 i C2), z których wykonano łącznie 51 próbek próbek cylindrycznych $\phi 15/30$ cm do badań wytrzymałości na ściskanie, rozciąganie osiowe, rozciąganie przez rozłupanie oraz do określenia modułu sprężystości. Ponadto wykonano 9 beleczek o wymiarach $15 \times 15 \times 60$ cm do określenia wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu oraz 9 belek o wymiarach $25 \times 15 \times 150$ cm na do pomiaru skurczu i pęczania. Dwie belki z każdego rodzaju betonu zostały sprężone za pomocą 2 stalowych splotów $7\phi 5$ (wprowadzone naprężenia ściskające w przekroju belki wynosiły ok. 10 MPa) po 14 dniach od ich zabetonowania. Pozostałe 5 belek (2 z betonu C1 i 3 z betonu C2) były niesprężone i stanowiły tzw. belki referencyjne do pomiaru skurczu. Belki umieszczone były w komorze klimatycznej w stałej temperaturze ok 20° i wilgotności 50%. Pomiary odkształceń belek prowadzono przez 573 dni. Przytoczone powyżej bardziej szczegółowe informacje co do liczby badanych próbek i elementów pozwalają na zobrazowanie zakresu przeprowadzonych badań.

Wyniki uzyskane z I etapu badań Autorka wykorzystała do opracowania receptury betonu lekkiego metodą iteracyjną. Zwrócono szczególną uwagę na kontrolę wilgotności kruszywa Certyd i jego wcześniejsze nawilżenie. Mieszankę betonu lekkiego wykonano w Laboratorium Wydziału Inżynierii Lądowej PK. Beton zwykły na kruszywie dolomitowym o porównywalnej wytrzymałości na ściskanie z betonem lekkim przygotowany był w wytwórni General Beton Polska.

Z obu rodzajów betonu wykonano 71 walcowych próbek $\phi 15/30$ cm przeznaczonych do pomiaru konsystencji, gęstości, wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie poprzez rozłupanie i 20 próbek sześciennych $15 \times 15 \times 15$ cm do badań wytrzymałości na ściskanie oraz 6 belek $20 \times 20 \times 100$ cm do pomiaru skurczu i pęczania betonu. Ponadto z każdego rodzaju betonu (lekkiego i zwykłego) wykonano po 2 belki $35 \times 25 \times 610$ cm przeznaczone do badań długotrwałych głównie w aspekcie wpływu reologii na ugięcia belek. Belki zostały sprężone dwoma ciągniami bez przyczepności ułożonymi parabolicznie (o maksymalnym mimośrodku 0,125m) po 14 dniach od ich zabetonowania. Po kolejnych 23 dniach belki obciążono w sposób długotrwały przez 559 i 489 dni (odpowiednio dla betonu lekkiego i zwykłego). Po tym czasie zdjęto obciążenie i w próbie czteropunktowego zginania belki badano do zniszczenia.

Przygotowanie, przebieg badań i uzyskane wyniki zostały szczegółowo opisane przez Autorkę w rozdziale 9. Integralnie związane z tym rozdziałem są 4 Załączniki zamieszczone na końcu pracy doktorskiej.

Kolejny 10 rozdział dysertacji dotyczy analizy numerycznej belek kablobetonowych wykonanej za pomocą MES w programie ABAQUS. Celem tej analizy było porównanie wyników teoretycznych z analizy numerycznej z wynikami badań eksperymentalnych. Autorka zdefiniowała zastosowany model betonu (sprężysto-plastyczny ze zniszczeniem CDP), model stali zbrojeniowej i stali sprężającej oraz przedstawiła uzyskane wyniki. W znacznej części opracowany model daje zadowalającą zbieżność z eksperymentem. Rozbieżności pojawiają się głównie w fazie końcowej przed zniszczeniem belek.

W rozdziale 11 Autorka dokonała podsumowania przeprowadzanych badań eksperymentalnych dotyczących zarówno badań betonów oraz belek kablobetonowych w aspekcie sformułowanych na początku czterech tez pracy. Rozdział zakończony został podaniem kierunków dalszych badań.

Bibliografię zamieszczono w ostatnim - 12 rozdziale pracy doktorskiej. Obejmuje 158 pozycji literatury związanych z tematyką dysertacji.

Pracę doktorską kończą cztery Załączniki (łącznie 34 strony), w których zamieszczono - w formie tabel i wykresów - szczegółowe wyniki badań wstępnych, badań betonu lekkiego i zwykłego oraz wyniki badań próbek rdzeniowych pobranych z badanych belek dotyczące wilgotności i gęstości betonu.

3. Ocena merytoryczna pracy

Recenzowana praca doktorska ma charakter eksperymentalno-teoretyczny. Treść pracy ściśle odpowiada jej tytułowi.

Podjęty przez Doktorantkę temat sprężonych belek z betonu lekkiego elementów na kruszywie Certyd za aktualny i ważny o istotnym znaczeniu poznawczym, mający również znaczenie dla praktyki inżynierskiej. Autorka podjęła się ambitnego zadania wykorzystania do betonu lekkiego mało rozpoznanego kruszywa Certyd, szczególnie w zastosowaniu do wysokiej wytrzymałości betonów w konstrukcjach sprężonych i jednocześnie ukierunkowała badania na określenia wpływów reologicznych w badanych betonach oraz belkach kablobetonowych, co wymagało przeprowadzenia przez Nią badań długotrwałych.

Tematyka dysertacji znakomicie wpisuje się w aktualne trendy w budownictwie, którego intensywny rozwój powoduje wzrost wymagań zarówno w odniesieniu do wysokości obiektów jak i rozpiętości elementów konstrukcyjnych. Działania zmierzające do maksymalnego ograniczenia ciężar własny konstrukcji, zwiększenia jej trwałości i maksymalizacji rozpiętości zwiększają zainteresowanie konstrukcjami sprężonymi z betonu lekkiego. Drugim ważnym aspektem jest rosnące ograniczenie dostępności złóż kruszyw naturalnych, co w sposób oczywisty przekłada się na zwiększające zainteresowanie produkcją kruszyw sztucznych. Kruszywo Certyd stosunkowo niedawno wprowadzone zostało na rynek budowlany stąd przeprowadzone obszerne badania materiałowe poszerzają wiedzę związaną z jego właściwościami i przydatnością do betonu, który można zastosować w sprężonych konstrukcjach. Nie można pominąć również aspektu ekologicznego związanego z wykorzystaniem do produkcji tego kruszywa popiołu będącego odpadem po procesie spalania węgla kamiennego.

Wszystkie części rozprawy doktorskiej są merytorycznie spójne. Badania i opracowanie wyników zostały przeprowadzone bardzo starannie. Wyniki badań i przeprowadzonych analiz zostały szczegółowo udokumentowane, łącznie problemami jakie w trakcie realizacji pracy wystąpiły (przykładowo: brak kontroli wilgotności kruszywa w badaniach wstępnych czy problemy ze zbieżnością w analizie numerycznej).

Układ pracy jest merytorycznie poprawny. Główny cel badań został osiągnięty, a sformułowane przez Autorkę cztery tezy zostały udowodnione. Jednoznacznie stwierdzam, że opiniowaną rozprawę dokorską mgr inż. Małgorzaty Rodackiej oceniam jako bardzo dobrą o dużym znaczeniu poznawczym. Poniżej wymienione argumenty stanowią uzasadnienie tej oceny.

Główne osiągnięcia pracy

Za najważniejszy oryginalny dorobek poznawczy o charakterze naukowym Autorki uważam opracowanie koncepcji oraz spójnego, ambitnego programu badawczego i jego realizację umożliwiającego rozpoznanie i porównanie cech reologicznych betonu i ugięć elementów sprężonych z betonu lekkiego na kruszywie Certyd i betonu zwykłego.

- Niepodważalnym, znaczącym osiągnięciem jest przeprowadzenie jakościowych badań sprężonych kablobetonowych w aspekcie reologicznych odkształceń belek z betonu lekkiego i zwykłego pod obciążeniem długotrwałym i ich wpływu na ugięcia, zmianę siły sprężającej i sztywność. Badane belki miały skalę rzeczywistą, a prowadzenie pomiarów pod obciążeniem długotrwałym wymagało dużej staranności, czasu i precyzji. Autorka jednoznacznie wykazała korzystniejsze zachowanie betonu lekkiego pod obciążeniem długotrwałym w porównaniu do betonu zwykłego.
- Przeprowadzenie szerokiego zakresu badań cech fizycznych, właściwości mechanicznych i reologicznych betonu lekkiego na kruszywie Certyd oraz betonu konstrukcyjnego zwykłego z zachowaniem odpowiednich warunków środowiskowych w celu porównania uzyskanych wyników. Badania właściwości reologicznych (skurczu i pęczania) prowadzone były przez okres ponad 500 dni.
- Podjęcie próby opracowania modelu sprężonych belek z wykorzystaniem MES w programie ABAQUS celem przeprowadzenia analizy numerycznej odwzorowującej zachowania się belek sprężonych z obu rodzajów betonu w próbie czteropunktowego zginania. Konieczność istotnych (o ponad połowę) redukcji wytrzymałości oraz modułów sprężystości w celu uzyskania mechanizmu zniszczenia zgodnego z doświadczalnym świadczy o potrzebie dalszych prac nad modelem.

Uwagi o charakterze dyskusyjnym

Uwagi ogólne

1. Beton wskutek zadanego określonego obciążenia odkształca się. Pod wpływem stałej wartości obciążenie działającego długotrwale odkształcenie się zwiększa z powodu

pełzania. Przy odciążeniu następuje spadek odkształcenia, ale jedynie pewna część tego odkształcenia ma charakter odwracalny. Badane przez Autorkę belki były po 23 dniach od sprężenia poddane obciążaniu długotrwałemu przez okres 559 /489 dni odpowiednio dla belek z betonu lekkiego i zwykłego. Następnie belki były odciążane i badane do zniszczenia w schemacie czteropunktowego zginania. Wykresy siła - ugięcie belek (rys. 9.43) zaczynają się od punktu zerowego. Czy było kontrolowano ugięcie belek po ich odciążeniu? Czy zdaniem Autorki historia obciążenia mogłaby mieć wpływ na ich zachowanie się i końcowe ugięcia, jeśli tak to czy byłby on jednakowy dla obu rodzajów betonu? Czy tak pozyskane dane byłyby pomocne w walidacji modelu numerycznego?

2. Czy można przyjąć, że zniszczenie w obszarze zakotwienia kabli małej belki z betonu zwykłego w badaniach właściwych w trakcie sprężania mogło nastąpić wskutek przekroczenia wytrzymałości betonu na docisk?

Wybrane uwagi szczegółowe (w kolejności czytania tekstu pracy)

1. Przy sprężaniu w betonie pojawiły się naprężenia rozciągające na poziomie 4,6 – 4,9 MPa (rys. 9.34). Przekroczona została, zarówno w odniesieniu do betonu lekkiego jak i zwykłego, wytrzymałość betonu na rozciąganie (14 dniowa - czyli w chwili sprężania i 28 dniowa). Na stronie 105 Autorka podkreśla, że w chwili sprężania belki nie uległy zarysowaniu podczas sprężania. Jak można to wyjaśnić?
2. Na rysunku 9.11 przedstawiono zdjęcie badanej próbki cylindrycznej na ściskanie. Nie są widoczne żadne podkładki. Jednocześnie na rysunkach 9.20 i 9.21 próbki walcowe po zniszczeniu, które wskazują na jednostronne rozłupanie części walca. Jak była przygotowana powierzchnia próbek do badań na ściskanie?
3. Autorka w podrozdziale dotyczącym klasyfikacji betonu (str. 79) komentuje w różnicowanie klas wg PN_EN w zależności od rodzaju próbek (cylindryczna czy sześcienna). Ma to miejsce w przypadku betonu zwykłego. Określenie klasy betonu na podstawie 4 próbek cylindrycznych badanych dla określonego wieku betonu (str. 73) jest zdaniem Recenzenta niezbyt miarodajne (próbek sześciennych badano więcej - 20). Jednak za miarodajne do analiz porównawczych Autorka przyjęła klasę wg próbek cylindrycznych (wyższą). Co było powodem takiej decyzji?
Klasa betonu i wartości z nią związane istotna jest w projektowaniu, w badaniach i ich analizie posługujemy się danymi doświadczalnymi.

Praca napisana została starannie i przejrzyście opracowana pod względem edytorskim i językowym. Z drobnych niedociągnięć w tym zakresie wymienić można przykładowe usterki:

s. 7 - Streszczenie: – podano, że kruszywo Certyd wykonane jest z odpadu spalania węgla brunatnego, natomiast na stronie 33. jest informacja iż to kruszywo produkowane jest z popiołu jako odpadu z węgla kamiennego?

s.20 – w. 7 – 12 (g) są powtórzeniem wierszy ze strony 19 : w.4-9 (g)

s. 23 – wyżej (powinno być: wyżej)

s. 47 – lekkie (powinno być: lekkiego)

s. 55 – 3w, g – styl (powinno być: dotyczących)

4. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Małgorzaty Rodackiej jest wartościową pracą eksperymentalno- teoretyczną o istotnym znaczeniu poznawczym w zakresie reologii i ugięć sprężonych belek wykonanych z betonu lekkiego na kruszywie Certyd pod obciążeniem długotrwałym. Reologia a przede wszystkim pełzanie betonu lekkiego to najmniej rozpoznane cechy. Takie ukierunkowanie badań wymagało precyzyjnych pomiarów w długim okresie czasu jak również przeprowadzenia obszernych badań materiałowych betonu lekkiego na zastosowanym kruszywie oraz identycznych badań konstrukcyjnego betonu zwykłego w celu porównania wyników.

Autorka uzyskała szereg cennych wyników doświadczalnych dotyczących wpływu obciążenia długotrwałego na odkształcalność betonu, ugięcia i siłę sprężającą belek kablobetonowych. Poszerzają one znacznie dotychczasowy stan wiedzy w tym zakresie. Mają również znaczenie w praktyce inżynierskiej z uwagi na intensywny rozwój konstrukcji z betonu lekkiego. Analiza numeryczna przeprowadzona przez Autorkę, pomimo problemów dotyczących braku zbieżności szczególnie w końcowej fazie obciążenia przed zniszczeniem belek, może stanowić podstawę do dalszych prac w tym zakresie.

Praca doktorska jest bardzo starannie opracowana, program badań bardzo czytelnie przedstawiony. Uzyskane wyniki są rzetelnie udokumentowane licznymi wykresami, tablicami i zdjęciami w tekście pracy oraz w czterech załącznikach.

Cel pracy został osiągnięty a sformułowane przez Autorkę tezy badawcze zostały w pełni udowodnione.

Zasygnalizowane uwagi w niczym nie umniejszają merytorycznej wartości pracy i nie mają wpływu na ogólną bardzo dobrą ocenę rozprawy doktorskiej przedłożonej do recenzji.

Podsumowując niniejszą opinię stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Małgorzaty Rodackiej pt. *„Wpływ zjawisk reologicznych na ugięcia kablobetonowych belek z betonu lekkiego”* spełnia wszystkie warunki merytoryczne i formalne, którym powinna odpowiadać rozprawa doktorska określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 – oraz w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dn. 22.09.2011 w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora wraz z późniejszymi zmianami.

Na podstawie powyższego wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr inż. Małgorzaty Rodackiej do publicznej obrony pracy doktorskiej.

Krzysztof Nagrodzka - Godych