

Prof. dr hab. inż. Jacek HULIMKA  
Politechnika Śląska  
Katedra Inżynierii Budowlanej  
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice

Gliwice, czerwiec 2022 r.

**RECENZJA**  
**ROZPRAWY DOKTORSKIEJ PANI MGR INŻ. MAŁGORZATY RODACKIEJ**  
**„WPŁYW ZJAWISK REOLOGICZNYCH NA UGIĘCIA KABLOBETONOWYCH**  
**BELEK Z BETONU LEKKIEGO”**

**Podstawa formalna i przedmiot recenzji**

Niniejszą recenzję opracowałem na prośbę Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej, Pana Profesora Andrzeja Szaraty, wyrażoną w piśmie z dnia 09 maja 2022 roku – na podstawie uchwały Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej z dnia 27 kwietnia 2022 roku.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pani magister inżynier Małgorzaty Rodackiej pt. „Wpływ zjawisk reologicznych na ugięcia kablobetonowych belek z betonu lekkiego”. Praca ta została przygotowana na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej pod kierunkiem Pani dr hab. inż. Lucyny Domagały prof. PK jako promotora i Pana dra hab. inż. Rafała Szydłowskiego prof. PK jako promotora pomocniczego.

Opiniowana dysertacja zawarta jest w jednym tomie liczącym 187 stron.

**Problematyka rozprawy**

Jako temat swojej rozprawy Doktorantka wybrała problematykę możliwości i zasadności użycia lekkich betonów do wykonania konstrukcji sprężonych. Zagadnienie to ma duże znaczenie praktyczne, zwłaszcza w aspekcie wykorzystania kruszyw wytworzonych z wykorzystaniem materiałów odpadowych. Tym samym temat badawczy podjęty przez Doktorantkę należy uznać jako aktualny i ważny. W tym miejscu należy jednak odnieść się do tytułu pracy – moim zdaniem jest on zbyt szeroki w stosunku do zawartych w niej treści.

Bazując na szerokim przeglądzie literatury, Doktorantka sformułowała cztery tezy pracy, a mianowicie:

- 1) Beton lekki, wykonany ze wstępnie nawilżonego kruszywa Certyd, z uwagi na dużą ilość wody w nim skumulowanej, może charakteryzować się niższym skurczem i jego wolniejszym przyrostem przez stosunkowo długi okres czasu od betonowania
- W porównaniu do betonu zwykłego.

DZIEKANAT	
Wydział Inżynierii Lądowej	
23 CZE. 2022	
Wpłynęło dnia	10. 5. 10. 15. 4. 2018
L. dz.	
podpis.....	

- 2) Pełzanie lekkiego betonu konstrukcyjnego na kruszywie Certyd wyższych klas wytrzymałości (powyżej LC35/38) jest mniejsze niż w przypadku betonu zwykłego o podobnej wytrzymałości na ściskanie.
- 3) Pomimo większego skurczu końcowego i mniejszego modułu sprężystości betonu lekkiego w porównaniu z betonem zwykłym, możliwe jest uzyskanie podobnych lub mniejszych ugięć doraźnych i końcowych belek poddanych obciążeniu długotrwałemu.
- 4) Maksymalna nośność oraz przebieg ugięć w próbie czteropunktowego zginania dla belek kablobetonowych z betonu lekkiego na kruszywie Certyd, po działaniu obciążenia długotrwałego, są podobne jak dla belek z betonu zwykłego.

Dwie pierwsze tezy mają, co prawda, charakter materiałowy, jednak mieszczą się w zakresie pracy. W istocie są rodzajem kamieni milowych, bowiem ich potwierdzenie nadaje sens dwóm kolejnym tezom o charakterze konstrukcyjnym.

Tezy 1 i 3 zawierają pewną sprzeczność – otóż w tezie 1 mowa jest o skurczu betonu lekkiego niższym niż betonu zwykłego (w stosunkowo długim okresie czasu), podczas gdy w tezie 3 istnieje założenie większego skurczu końcowego betonu lekkiego w porównaniu z betonem zwykłym. Pojęcie "stosunkowo długi okres czasu" jest tu bardzo nieprecyzyjne, a założenie większego skurczu końcowego betonu lekkiego niepewne.

## **Treść rozprawy**

Treść rozprawy zawarta jest w jedenastu zasadniczych rozdziałach, uzupełnionych streszczeniami w języku polskim i angielskim, wykazem symboli i oznaczeń, wykazem cytowanej literatury (158 pozycji uszeregowanych w kolejności cytowania) oraz załącznikami zawierającymi szczegółowe wyniki badań.

Rozdział 1 (3 strony) zawiera krótkie wprowadzenie uzasadniające wybór tematu.

W rozdziale 2 (20 stron) Autorka dokonuje przeglądu stanu wiedzy w zakresie właściwości fizycznych i mechanicznych betonów lekkich (podział ma charakter umowny, bowiem właściwości nazwane tu mechanicznymi, również są właściwościami fizycznymi) oraz właściwości betonu z kruszywem Certyd.

Rozdział 3 (6 stron) zawiera krótki przegląd literatury w zakresie badań elementów sprężonych wykonanych z betonów lekkich.

W rozdziale 4 (6 stron) Autorka odnosi się do zasad projektowania konstrukcji z betonów lekkich zgodnie z zapisami norm PN-EN i ACI.

Rozdział 5 (3 strony) to przykłady zastosowania betonów lekkich w konstrukcjach budynków i obiektów inżynierskich, rozdział 6 (1 strona) zawiera opis aspektów

ekologicznych zastosowania betonów lekkich, a rozdział 7 (2 strony) jest podsumowaniem przeglądu literatury.

W rozdziale 8 (1 strona) Autorka przedstawiła tezy pracy – zacytowane i skomentowane w poprzednim punkcie recenzji.

W Rozdziale 9 (65 stron) Autorka zawarła szeroki opis własnych badań. Zostały one podzielone na badania wstępne, celem których było potwierdzenie możliwości wykonania betonu lekkiego na kruszywie Certyd, spełniającego założone wymagania wytrzymałościowe oraz rozpoznanie cech takiego betonu, w tym skurczu i pęczania w badaniach długotrwałych (około 1,5 roku) oraz badania właściwe. W ramach tych drugich Autorka przebadła szereg cech dwóch betonów: lekkiego i zwykłego o podobnych wytrzymałościach (w tym skurcz i pęczanie) oraz przeanalizowała zachowanie się kablobetonowych belek wykonanych z tych betonów, poddanych obciążeniom długotrwałym (około 500 dni), a następnie zniszczonym.

Rozdział 10 (16 stron) to opis badań numerycznych odwzorowujących badane belki sprężone. Zostanie on skomentowany w dalszej części recenzji.

W rozdziale 11 (4 strony) Autorka zawarła krótkie podsumowanie pracy (w tym w odniesieniu do postawionych tez) oraz wyszczególniła planowane w przyszłości badania.

### **Merytoryczna ocena rozprawy**

Na początku tej części recenzji stwierdzam, że opiniowaną rozprawę doktorską Pani magister inżynier Małgorzaty Rodackiej oceniam bardzo pozytywnie (choć z pewnymi zastrzeżeniami, o czym później). Za pozytywną oceną przemawiają poniższe argumenty.

- Temat rozprawy jest trafnie dobrany, ma bowiem zarówno znaczenie poznawcze, jak i możliwe bezpośrednie odniesienie do projektowania i wykonawstwa belek sprężonych z betonów lekkich.
- Za trafnością wyboru tematu przemawia też fakt nakierowania badań na zagadnienia związane z zastąpieniem kruszyw mineralnych sztucznymi, co powiązać można z szeroko rozumianymi zagadnieniami ekologii.
- Program badań został poprawnie dobrany. Na podkreślenie zasługuje tu wykonanie bardzo dokładnych badań własnych, zarówno w zakresie modeli, jak i materiałów, a także rozsądne ich etapowanie.
- Autorka wykazała się umiejętnością prawidłowego wnioskowania na podstawie uzyskanych wyników badań.
- Autorka w sposób uczciwy zaprezentowała także te wyniki, które nie były zadowalające, starając się określić przyczyny ich niepowodzeń.

Wśród szczegółowych osiągnięć poznawczych pracy wymienić należy:

- udowodnienie możliwości wykonania betonu wysokiej wytrzymałości na bazie kruszywa Certyd, wraz z oceną uwarunkowań (w tym konieczności uwzględnienia wstępnej wilgotności kruszywa),
- wykonanie szerokich badań materiałowych, w tym długotrwałych badań skurczu i pęcznienia,
- zaprojektowanie i wykonanie badań modelowych belek sprężonych w skali prawie naturalnej,
- dokładne opracowanie uzyskanych wyników wraz z płynącymi z nich wnioskami,
- wykonanie szerokiego i szczegółowego przeglądu stanu wiedzy, będącego podstawą sformułowania tezy pracy.

Obowiązkiem recenzenta jest także sformułowanie pytań i uwag krytycznych, w tym o charakterze dyskusyjnym. Poniżej przedstawiłem wybrane uwagi i pytania (w nieco przypadkowej merytorycznie kolejności, wynikającej z ciągłości tekstu pracy).

- W Rozdziale 1 jest stwierdzenie, że niższy moduł sprężystości nie stanowi dużego problemu w przypadku konstrukcji sprężonych, co Autorka uzasadnia jego wpływem zarówno na ugięcia od sprężenia (w górę), jak i od obciążeń (w dół). Nie należy jednak zapominać, że niski moduł sprężystości ma też wpływ na straty od skrótu sprężystego.
- Na Rys. 2.1 Autorka pokazuje zależność gęstości betonu lekkiego od jego wytrzymałości na ściskanie. W rzeczywistości jest odwrotnie – to wytrzymałość zależy od gęstości (co zresztą jest prawidłowo pokazane na osiach wykresu).
- W Rozdziale 4, poświęconym normom, część opisów ma charakter bardzo ogólny i mogła być pominięta bez uszczerbku dla opracowania.
- Pewien niepokój budzi wykres na Rys. 9.5, gdzie odkształcenia skurczowe betonu C-1 po niemal 600 dniach w sposób wyraźny wciąż rosną. Dlaczego Autorka nie kontynuowała badania?
- Receptury betonów przedstawione są w sposób zbyt ogólny, co uniemożliwia powtórzenie eksperymentu przez innych badaczy. W szczególności dotyczy to zapisów "kruszywo dolomitowe" i "piasek", bez uszczegółowienia danych, w tym uziarnienia.
- Na str. 78 są niezgodności pomiędzy wartościami wytrzymałości betonu na Rys. 9.16 i w tekście. Podobnie na str. 84 i Rys. 9.22, gdzie, dodatkowo, opisy zależności są nieco zagmatwane.
- Na str. 79-80 Autorka wyjaśnia zachowanie się próbek betonu ich wysoką jednorodnością – w tym miejscu po raz kolejny brakuje danych dotyczących uziarnienia kruszywa.

- Założenie, że badane belki sprężone są częścią monolitycznego stropu służy wyłącznie ocenie obciążenia stałego, bowiem zachowanie się belki zmonolityzowanej z płytą będzie inne niż belki o przekroju prostokątnym.
- W punkcie 9.3.6.6 są niezgodności pomiędzy wartościami ugięć na Rys. 9.39 i w tekście. Nie jest też wyjaśnione, jak przyjęta w pomiarach umowna wartość ugięcia "0" miała się do linii prostej łączącej podpory (jakie było ugięcie belek od ciężaru własnego przed ich sprężeniem).
- W Tabeli 9.11 wartości powinny być podane ze znakami uwzględniającymi ich zwrot.
- W opisie badań belek sprężonych brak jest wzmianki o czasie pomiędzy odjęciem obciążenia symulującego sumaryczne obciążenie stałe belek, a momentem ich badania niszczącego. Z uwagi na fakt badania belek sprężonych czas ten nie jest bez znaczenia na zachowanie się badanych elementów. W pracy brakuje też opisu zachowania się belek po odjęciu obciążeń "stałych", w tym zmian ich ugięć.
- W nawiązaniu do uwagi wyżej – co przyjęto jako poziom "0" w badaniach do zniszczenia, pokazanych na Rys. 9.43?
- Wzór (27) jest nieprawidłowy – wyraża on ugięcie belki wolnopodpartej obciążonej jedną siłą usytuowaną w środku rozpiętości, a został użyty do przypadku belki obciążonej parą sił.
- W pierwszym zdaniu punktu 10.1 Autorka pisze, że model numeryczny wykonano w celu weryfikacji naprężeń i odkształceń. To błąd logiczny, bowiem numeryką nie można weryfikować wyników pomiarów z badań modelowych – odwrotnie, to badaniami modelowymi weryfikujemy wyniki analiz MES. Z kolei w p. 10.4 znajdujemy zapis, że głównym celem analizy numerycznej była walidacja otrzymanych wyników badań eksperymentalnych. To ponownie ten sam błąd logiczny.
- Opisane w punkcie 10.3 "manewrowanie" danymi materiałowymi w celu uzyskania zbieżności wyników analiz MES z wynikami badań modelowych jest działaniem niewłaściwym, prowadzi bowiem do powstania fałszywych zgodności.
- Nawiązując do powyższego, zgodności Autorka i tak nie uzyskała (pomimo zapisu o dużej zbieżności, str. 130). Rysunek 10.7 tylko pozornie wykazuje podobieństwo wykresów z analizy MES i z badań modelowych – wykresy "w pionie" są blisko siebie, lecz "w poziomie" różnice są bardzo duże. Przykładowo, przy maksymalnych wartościach sił (na wykresie błędnie opisanych w [mm]) ugięcie modeli numerycznych jest rzędu 50 mm, a rzeczywistych – rzędu 80-90 mm.
- Opisy map uzyskanych w analizie MES są niejednoznaczne i niekompletne, co utrudnia ich odczytanie i interpretację.

- Generalnie, zawarta w pracy analiza MES wydaje się niepotrzebna. Praca ma charakter wyraźnie badawczy, skutkiem czego niespecjalnie udane obliczenia numeryczne niewiele do niej wnoszą, a wręcz nieco psują odbiór całości. Natomiast po dopracowaniu modeli numerycznych będą one cennym uzupełnieniem prezentowanych badań.

W zakresie edytorskim oraz językowym praca stoi na bardzo dobrym poziomie, chociaż rażą pewne drobne niedociągnięcia, a wśród nich:

- opisanie, w obydwu streszczeniach, wymiarów badanych belek jako 250×150×1500 mm,
- powtórzenie (niemal dosłowne) dwóch akapitów z p. 2.1.2 w p. 2.1.2.2,
- nie zawsze prawidłowa interpunkcja i drobne nieścisłości gramatyczne (choć są to nieliczne przypadki),
- drobne "literówki" oraz niezgodności formy w ramach paru zdań,
- nadużywanie przyimka "dla",
- opis strat siły sprężającej w jednostkach naprężeń (Tabela 3.1),
- wyrażenie ciężaru w [kg] (str. 42),
- niekonsekwentne zapisy w częściach tablic (wymienne, z małej lub wielkiej litery),
- niewłaściwy zapis jednostek w paru miejscach – [Mpa] albo [MP zamiast [MPa], [kg/m<sup>3</sup>] zamiast [kg/m<sup>3</sup>],
- "literówki" na rysunkach modeli,
- błąd w opisie ilości betonu (str. 68: 1,25 dm<sup>3</sup> zamiast 1,25 m<sup>3</sup>),
- niepotrzebna linia opisu pod wzorem (17) – skopiowana z opisu wzoru (16),
- brak jednostki w opisie pod wzorem (19),
- zapis "średnica Ø",
- użycie w p. 10.2.4 jednostki [cm], podczas gdy w całej pracy konsekwentnie stosowany jest [mm],
- błędny opis jednostki na Rys. 10.7 (siła [mm]),
- brak wartości współczynnika zmienności w Tabelach 35 i 43.

Niemniej, w porównaniu z innymi pracami, jakie dotychczas oceniałem, recenzowana dysertacja prezentuje bardzo dobry poziom językowy.

## **Podsumowanie i wniosek końcowy**


Podsumowując niniejszą recenzję stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani magister inżynier Małgorzaty Rodackiej pt. „Wpływ zjawisk reologicznych na ugięcia kablobetonowych

belek z betonu lekkiego” stanowi istotny wkład w badania zarówno cech betonów lekkich, jak i możliwości stosowania ich w konstrukcjach sprężonych.

W recenzji sformułowałem szereg uwag krytycznych o różnej wadze, niemniej praca jako całość jest cenna. Zamieszczone uwagi powinny natomiast zostać uwzględnione przez Autorkę w ewentualnych publikacjach i dalszych badaniach.

Po rozważeniu zalet i wad recenzowanej pracy uważam ją za oryginalną, spełniającą wymagania stawiane w Ustawie z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (właściwej dla postępowań wszczętych przed 30 kwietnia 2019 r.).

Tym samym wnoszę o dopuszczenie Pani magister inżynier Małgorzaty Rodackiej do publicznej obrony przedmiotowej rozprawy doktorskiej.

  
.....  
prof. dr hab. inż. Jacek Hulimka