

RECENZJA

ROZPRAWY DOKTORSKIEJ PANA MGRA INŻ. RAFAŁA WALCZAKA „NOŚNOŚĆ NA ŚCINANIE BETONOWYCH BELEK PODSUWNICOWYCH W PRZEDŁUŻONYM OKRESIE TRWAŁOŚCI, W WARUNKACH NIEPEWNOŚCI ZAKOTWIENIA KABLI SPRĘŻAJĄCYCH”

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 23 lutego 2023 roku, nawiązującym do uchwały Rady Naukowej wymienionego Wydziału, podjętej w dniu 15 lutego 2023 r.


Formalną podstawą recenzji jest umowa z dnia 10 marca 2023 r.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana magistra inżyniera Rafała Walczaka pt. „Nośność na ścinanie betonowych belek podsuwnicowych w przedłużonym okresie trwałości, w warunkach niepewności zakotwienia kabli sprężających”. Praca ta została przygotowana na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej pod kierunkiem Pana dra hab. inż. Wita Derkowskiego prof. PK jako promotora.

Opiniowana dysertacja zawarta jest w jednym tomie, liczącym 221 stron.

Problematyka rozprawy

Jako temat swojej rozprawy Doktorant wybrał problematykę nośności na ścinanie kablobetonowych belek podsuwnicowych po kilkudziesięciu latach użytkowania, jako dodatkowy element wprowadzając niepewność kotwienia poszczególnych kabli sprężających. Już pierwsze z tych zagadnień ma zakres wystarczający do ujęcia w rozprawie doktorskiej – tym samym pełny zakres pracy należy uznać za wykraczający poza przeciętne wymagania stawiane dysertacjom doktorskim. Praca dotyczy zagadnień bardzo słabo rozpoznanych badawczo, co wynika, między innymi, z wielkości badanych

Wpłynęło dnia 11.04.2023
L. dz. 10.510.10.2.2018
podpis 

elementów i trudności w pozyskaniu odpowiedniej ich serii. Przy tym, poddane badaniom elementy były masowo stosowane w licznych obiektach przemysłowych i nadal są użytkowane w znacznej ich liczbie, zatem problemy poruszane w dysertacji mają duże znaczenie praktyczne – w tym w zakresie wiarygodnego szacowania nośności kablobetonowych belek podsuwnicowych w których stwierdzono niepewności w zakresie stanu zakotwień kabli sprężających.

W powyższym kontekście sformułował cele pracy, a mianowicie:

- (1) wykazanie, że możliwe jest przyczepnościowe przekazanie siły sprężającej z kabla wielodrutowego na element, w sytuacji utraty zakotwienia mechanicznego,
- (2) opracowanie modelu obliczeniowego długości transmisji dla kabla wielodrutowego z przyczepnością, w sytuacji utraty zakotwienia mechanicznego, pozwalającego oszacować ją z dokładnością nie mniejszą niż przyjęta w normach dla elementów strunobetonowych,
- (3) sprawdzenie sposobu pracy elementu oraz modelu jego zniszczenia, w sytuacji utraty zakotwień wybranych kabli sprężających, przy różnych położeniach skupionego obciążenia zewnętrznego;
- (4) opracowanie modelu obliczeniowego nośności strefy ścinania kablobetonowej belki podsuwnicowej, w sytuacji utraty zakotwień wybranych kabli sprężających,
- (5) wykazanie, że minimalny stopień zbrojenia poprzecznego w kablobetonowych belkach podsuwnicowych umożliwia bezpieczną ich pracę, nawet w sytuacji utraty zakotwień wybranych kabli sprężających.

W opisanym stanie rzeczy temat badawczy podjęty przez Doktoranta należy uznać jako aktualny i ważny.

Treść rozprawy

Treść rozprawy zawarta jest w dziewięciu rozdziałach, poprzedzonych streszczeniem (polskim i angielskim) i uzupełnionych wykazem cytowanej literatury (189 pozycji podstawowych + 17 innych), spisem rysunków i fotografii oraz spisem tabel.

Rozdział 1 zawiera krótki opis historyczny stosowania w Polsce konstrukcji kablobetonowych, ze wskazaniem problemu trwałości zakotwień kabli sprężających.

W rozdziale 2 Autor precyzuje tematykę i cel pracy, w tym poruszane w niej zagadnienia naukowe, formułuje cele pracy (wymienione w poprzednim punkcie recenzji) i jej zakres (studia literaturowe, badania eksperymentalne, analizy numeryczne i modele analityczne) oraz przedstawia przyjęte ograniczenia (wyłączenie zagadnień zmęzeniowych oraz efektów działania sił poziomych).



Rozdział 3 zawiera przegląd stanu wiedzy, podzielony na zagadnienia z zakresu zachowania się stref zakotwień cięgien sprężających i ścinania w elementach zbrojonych z niskim stopniem zbrojenia poprzecznego. W rozdziale Autor przedstawił zalecenia normowe, procedury autorskie oraz stan badań modelowych w zakresie obydwu poruszanych zagadnień. Należy docenić, że zagadnienia te opisał nie tylko w formie suchych zestawień wzorów i badań, ale także poddał krytycznej analizie pod kątem sformułowanych celów pracy oraz zaplanowania badań.

W rozdziale 4 Autor przedstawił wykonane w ramach rozprawy doktorskiej własne badania modelowe wykonane na serii belek typu KBP 80/6 z pierwszym wariantem sprężenia, zdemontowanych po kilkudziesięciu latach pracy. W szczególności badania obejmowały opisane niżej zagadnienia.

- Ścinanie belek, w trzech różnych schematach przyłożenia siły (ścinanie przy małej smukłości, przy dużej smukłości i z siłą w środku rozpiętości) i w trzech różnych układach zakotwień (wszystkie zakotwienia, odcięte zakotwienie górnego kabla, odcięte zakotwienia dwóch dolnych kabli). Pomiary odkształceń na powierzchni betonu prowadzono tensometrami elektrooporowymi oraz jako optyczne, metodą korelacji obrazu (DIC). Ponadto mierzono siły, ugięcia i poślizg kabli (w elementach z odciętymi zakotwieniami).
- Długość transmisji siły sprężającej po utracie zakotwienia. Badania prowadzono jak poprzednio, w sytuacji odcięcia zakotwienia górnego kabla sprężającego albo dwóch dolnych kabli sprężających. Pomiary prowadzono jako pośrednie, mierząc różnice odkształceń betonu na powierzchni elementu, wzdłuż badanych kabli. Do pomiarów użyto tensometrów elektrooporowych, czujników światłowodowych (na wyrównanej powierzchni, metodą statyczną i dynamiczną) i metodą optyczną (której zaniechano po badaniach wstępnych).
- Rzeczywistą wartość siły sprężającej w danym kablu. Pomiary prowadzono metodą cięcia otuliny i cięcia kabla, równolegle wykonując obliczenia bazujące na danych projektowych i na pomiarach momentu rysującego.
- Wypełnienie kanałów kablowych iniektem. Badania wykonano metodą sklerometryczną i jako ultradźwiękowe (betonoskopem).

Ponadto Autor wykonał szereg badań materiałowych, w tym: badania stali sprężającej i stali zbrojenia miękkiego (na pobranych próbkach drutów i prętów – pełne charakterystyki σ - ϵ), badania betonu (na próbkach rdzeniowych, w zakresie wytrzymałości na ściskanie, modułu sprężystości i wytrzymałości na rozciąganie osiowe) oraz badania chemiczne betonu i zaczynu iniekcyjnego.



Wszystkie badania były na bieżąco podsumowywane i, w sposób krytyczny, analizowane.

W rozdziale 5 Autor opisał wykonane badania numeryczne, w tym przyjęty model MES wraz z właściwościami materiałowymi, zasady etapowania obliczeń (wykonano je w 5 fazach, przy czym degradację przyczepności zamodelowano dla dwóch przypadków jakości iniekcji kanałów kablowych) oraz walidację modeli z kalibracją parametrów przyczepności. Uzyskane wyniki zostały zestawione i porównane z wynikami badań modelowych. Rozdział zakończono analizą uzyskanych wyników i porównań oraz wnioskami.

Rozdział 6 Autor poświęcił kompleksowej analizie uzyskanych w pracy wyników, z podziałem na poszczególne grupy badań. Każda z zawartych tu analiz zakończona została wnioskami. W tym samym rozdziale zaprezentowane zostały też efekty analiz obliczeniowych nośności na ścinanie zgodnie z 11 procedurami normowymi, a wyniki zostały porównane z rezultatami wykonanych badań. Autor dokonał też analizy porównawczej danych z badań modelowych i numerycznych, z dyskusją uzyskanych wyników.

Rozdział 7 poświęcony jest proponowanym modelom analitycznym – w zakresie obliczania długości odcinka transmisji naprężeń z kabli sprężających na beton i w zakresie obliczania nośności na ścinanie belek z niepewnymi warunkami kotwienia kabli sprężających.

W krótkim rozdziale 8 Autor zawarł ogólne wnioski z wykonanych prac, a rozdziale 9 podsumowanie, w którym odniósł się do sformułowanych w rozdziale 2 celów pracy (uzupełnione o modele obliczeniowe opisane wcześniej w rozdziale 7).

Merytoryczna ocena rozprawy

Na początku tej części recenzji stwierdzam, że opiniowaną rozprawę doktorską Pana magistra inżyniera Rafała Walczaka oceniam pozytywnie. Za taką oceną przemawiają poniższe argumenty.

- Temat rozprawy jest trafnie dobrany, bowiem ma znaczenie poznawcze oraz wyraźne odniesienie do eksperckiej praktyki budowlanej. Powyższe świadczy o umiejętności sformułowania tematu badawczego powiązanego z rzeczywistymi problemami konstrukcyjnymi.
- Autor wykazał dobrą znajomość poruszanej tematyki, wyrażoną w krytycznym przeglądzie stanu wiedzy.
- Program badań został prawidłowo dobrany i umiejętnie zrealizowany. Na szczególne podkreślenie zasługują tu szeroko zakrojone badania wykonane na pełnowymiarowych elementach konstrukcyjnych, z wykorzystaniem nowoczesnych



technik pomiarowych i umiejętnym wykorzystania uzyskanych z nich wyników, a także towarzyszące im badania materiałowe.

- Autor wykonał też zaawansowane obliczenia numeryczne oraz opracował i przedstawił uproszczone (na poziomie inżynierskim) procedury analityczne.
- Wyniki wszystkich badań i analiz zostały przedstawione w sposób szczegółowy, co pozwala na ich wykorzystanie przez innych badaczy, w tym wykonanie odrębnych analiz.
- Autor wykazał się umiejętnością prawidłowego i logicznego wnioskowania na podstawie uzyskanych wyników badań i analiz. Jest to cenna umiejętność, bowiem najlepiej nawet opracowane wyniki bez odpowiedniej interpretacji pozostają jedynie zbiorem liczb i wykresów.

Wśród szczegółowych osiągnięć poznawczych pracy wymienić należy:

- przeprowadzenie unikatowych badań na pełnowymiarowych elementach sprężonych i bardzo czytelne przedstawienie wyników,
- wykazanie wysokiej nośności kablobetonowych belek podsuwnicowych w sytuacji utraty części zakotwień, równoznaczne z wykazaniem przyczepnościowej pracy kabli sprężających w określonym zakresie sił,
- wykazanie jakościowo różnego charakteru pracy badanych belek oraz różnej ich nośności w zależności od smukłości ścinania (wskaźnika a/d). Jest to szczególnie ważne w belkach podsuwnicowych, gdzie znaczne siły skupione przemieszczają się wzdłuż elementu, zatem smukłość ścinania jest zmienna w sposób ciągły.
- potwierdzenie ilościowe oczywistych jakościowo założeń o niewielkim wpływie skuteczności kotwienia górnego kabla sprężającego oraz istotnym wpływie skuteczności kotwienia dolnych kabli na zachowanie się badanych belek,
- wykazanie znacznej nośności poprzecznej badanych belek pomimo niskiej intensywności zbrojenia poprzecznego,
- wykazanie ilościowe i jakościowe zachowania się belek przed zniszczeniem, w tym "sygnalizowanie" zniszczenia,
- opracowanie prostych, inżynierskich procedur obliczeniowych.

Obowiązkiem recenzenta jest także sformułowanie pytań i uwag krytycznych, w tym o charakterze dyskusyjnym. Poniżej przedstawiono wybrane uwagi (w nieco przypadkowej kolejności).

- Wnioski jakościowe z wykonanych badań i analiz są bardzo cenne i mają charakter uniwersalny, natomiast wniosków ilościowych nie można traktować jako



uniwersalnych – bowiem bazują one na badaniach jednego typu belek z jednym wariantem zbrojenia sprężającego. Tym samym wartości pokazane w rozdziale 9 powinny być opatrzone uwagą, że dotyczą jedynie przebadanych elementów.

- Podobnie, przebadanie 3 położzeń siły w elementach gdzie przemieszcza się ona w sposób ciągły nie pozwala na wyciągnięcie jednoznacznym wniosków dotyczących wpływu a/d na wyniki (przy czym oczywiste jest ograniczenie ilościowe badań do wybranych układów obciążenia).
- W opisach i na wykresach zależności ugięcia od siły warto odnieść się do warunków SGU w belkach podsuwnicowych, gdzie jest bardzo ostry warunek ograniczenia ugięć do $L/500$. Warto odnieść uzyskane wyniki do tej wartości.
- Pewne wątpliwość budzi wiarygodność oceny rzeczywistych belek na podstawie proponowanych algorytmów lub MES – w sytuacji, gdy niska jest wiarygodność nieniszczących badań stopnia i jakości iniekcji kanałów kablowych, a badania inwazyjne są niewskazane, przy tym również mało wiarygodne z uwagi na ich wybiórczość.

W zakresie edytorskim praca stoi na bardzo dobrym poziomie. Z obowiązku jednak wymienię zauważone, drobne niedociągnięcia, nie mające wpływu na czytelność opracowania.

- Str. 16 – opisany zakład mieścił się w Strzybnicy, a nie w Strzybnicach.
- Str. 20, wiersz 14d – zbędny, a wręcz nieprawidłowy przecinek.
- Tabele 3 i 4 – jedyne miejsca, gdzie w tekście użyto [cm] (proponuję ujednolicenie do [mm] lub [m]).
- Str. 33, wiersz 9d – jest "nie wystarczająca", powinno być "niewystarczająca"
- Str. 35, wiersz 17g – jest "nie mniej", powinno być "niemniej"; to samo na str. 61 i 196.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując niniejszą recenzję stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana magistra inżyniera Rafała Walczaka pt. „Nośność na ścinanie betonowych belek podsuwnicowych w przedłużonym okresie trwałości, w warunkach niepewności zakotwienia kabli sprężających” stanowi cenny wkład w rozwój wiedzy w zakresie badań i oceny nośności powszechnie wykorzystywanych kablobetonowych belek podsuwnicowych.

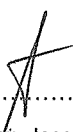
Pomimo sformułowanych wcześniej drobnych uwag krytycznych uważam recenzowaną pracę za oryginalną i cenną, spełniającą wymagania stawiane w Ustawie z dnia 14 marca



2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (właściwej dla postępowań wszczętych przed 30 kwietnia 2019 r.).

Ponadto, co istotne, recenzowana praca w pełni udowadnia spełnienie przez Doktoranta wymagań stawianych na ósmym poziomie uczenia się (wg Europejskich Ram Kwalifikacji) w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji.

Tym samym wnoszę o dopuszczenie Pana magistra inżyniera Rafała Walczaka do publicznej obrony przedmiotowej rozprawy doktorskiej. Ponadto jestem przekonany, że recenzowana praca zasługuje na wyróżnienie.


.....
prof. dr hab. inż. Jacek Hulinka