

Prof. dr hab. inż. Cezary Madryas, prof. zw.
Politechnika Wroclawska
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Katedra Mechaniki Budowli i Inżynierii Miejskiej

Wrocław, 16 lipca 2016 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Kamila Mogielskiego
pt. „Parametry rur kanalizacyjnych po ich bezwykopowej rehabilitacji
powłokami epoksydowymi utwardzanymi in situ ”

1. Formalna podstawa opracowania recenzji

Formalną podstawę opracowania recenzji stanowią zlecenie na jej wykonanie skierowane do mnie przez Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej pismem (ID-002-4/16) z dnia 4 maja 2016 roku oraz dołączony do ww. pisma egzemplarz rozprawy doktorskiej autorstwa mgr. inż. Kamila Mogielskiego pt. „Parametry rur kanalizacyjnych po ich bezwykopowej rehabilitacji powłokami epoksydowymi utwardzanymi in situ”, wydanej w Kielcach w 2016 roku w postaci maszynopisu afiliowanego przez Politechnikę Świętokrzyską, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki.

2. Analiza treści pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została napisana na 219 stronach numerowanych, zawierających: treść rozprawy (182 strony), spis literatury (169 pozycji) oraz sześć załączników z tabelami. Tekst dysertacji, poprzedzony spisem treści i wykazem najważniejszych skrótów i oznaczeń, podzielono na 8 rozdziałów. Do rozprawy dołączono krótkie (1/2 strony) streszczenie w języku angielskim. Pracę podzielono na dwie części:

1. (rozdziały od 2 do 4) – stanowiącą szerokie studium problemu,
2. (rozdziały od 5 do 8) – opisującą przebieg przeprowadzonych badań oraz dyskusję i wnioski.

W rozdziale pierwszym, nazwanym „Wstępem” i napisanym na 17 stronach, opisano przedmiot, tezy badawcze, cele naukowe i użytkowe oraz zakres dysertacji.

Analizując treści tej pracy odnosi się wrażenie, że pierwsza teza jest oczywista i nie wymaga udowodnienia. Stąd też uważam, że podstawowymi tezami pracy są tezy druga i trzecia, których udowodnienie stanowi o wartości naukowej i użytkowej rozprawy. Autor rozprawy potwierdza to opisując w dalszej części pracy dwa użytkowe jej cele:

1. cyt.: „*Opracowanie procedury wyznaczania współczynników redukujących grubość ulegającej sklejeniu z rehabilitowanych przewodem kanalizacyjnym powłoki adhezyjnej, ...*”

SEKRETARIAT DZIEKANA

Wpłynęło dnia 26. 07. 2016

Podpis ... Fedro 50/16

2. cyt.: „Zaproponowanie włączenia do dwóch stosowanych obecnie metod wyznaczania grubości powłoki typu CIPP współczynnika związanego z chropowatością rehabilitowanego przewodu kanalizacyjnego, ...”.

W rozdziale drugim (10 stron) poświęconym analizie technologii powłok impregnowanych żywicą (autor używa określenia powłoki żywiczne, co moim zdaniem jest określeniem z pogranicza żargonu budowlanego) omówiono:

- rodzaje żywic stosowanych w technologii CIPP,
- rodzaje tworzyw, które nasączane są tymi żywicami (nazywane przez autora nośnikami żywic – moim zdaniem nazwa ta nie jest trafiona, zdecydowanie lepiej byłoby używać pojęcia matryca),
- funkcję prelinarów („przewody rurowe”, określenie również zaczerpnięte z żargonu budowlanego),
- metody utwardzania żywic,
- problem powtórnej rehabilitacji konstrukcji przewodów, występujący w przypadku niepowodzenia aplikacji powłoki lub jej zużycia.

Przedstawione w rozdziale treści są znane specjalistom zajmującym się analizowanymi zagadnieniami i nie wnoszą nowych wartości poznawczych. Niemniej jednak, dla uporządkowania przeprowadzonych rozważań, ich przypomnienie w dysertacji można uznać za celowe.

W rozdziale trzecim (29 stron) Autor dokonał analizy wyników dotychczasowych badań powłok służących do technicznej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych w kontekście celowości podjętych przez Niego rozważań. Ten rozdział opracował na podstawie szerokiego studiów literatury tematu, w tym najnowszych pozycji. Zawarł w nim informacje o metodach badań z użyciem zewnętrznego nadciśnienia lub wewnętrznego podciśnienia, wewnętrznego nadciśnienia i siły przyłożonej od góry w stosunku do badanego elementu. Ponadto omówił problem badania powłok dawno zainstalowanych, a także właściwości „klejące” powłok mających zdolność wywoływania zjawiska adhezji (określanie tych powłok przez autora „powłokami adhezyjnymi” jest dalekim uproszczeniem). Problemowi adhezji słusznie poświęcił więcej miejsca, gdyż zjawisko to ściśle koresponduje z postawioną przez Autora tezą i jednym z celów pracy. Rozdział zamykają rozważania na temat starzenia się materiałów powłok, ich funkcji oraz uzasadnienie podjęcia tematu. W mojej ocenie Autorowi udało się dotrzeć do informacji o interesujących wynikach badań, ich zakresach i brakach w pełni uzasadniających podjętą w dysertacji tematykę.

W rozdziale czwartym (6 stron) Autor opisał właściwości materiałów z których wykonano próbki badawcze. Jak wynika z tego opisu, badania przeprowadzono na betonowych rurach prefabrykowanych typu Wipro o średnicach DN 200-300, rurach kamionkowych o średnicach DN 200-300 (dostarczonych przez dwóch producentów) oraz rurach z polichlorku winylu (PVC) o średnicach DN 200, 250 i 315 (dostarczonych przez dwóch producentów). Asortyment rur jest wystarczający, aby uznać wyniki badań za reprezentatywne. Do wykonania linerów użyto dwuskładnikowej żywicy epoksydowej i poliestrowej włókniny filcowej z poliuretanową folią ochronną (pierwsza seria badań). W drugiej serii występuje preliner wykonany z materiału Valeron IL, który został dostarczony razem z włókniną filcową.

Rozdział piąty (36 stron) został poświęcony opisowi badań laboratoryjnych. Autor przedstawił w nim przyjęte założenia ograniczające zakres badań. Doktorant odniósł się tu do dużej liczby technik renowacyjnych jakie są dostępne w technologii CIPP oraz do bardzo licznego asortymentu możliwych typów przewodów, wskazując na możliwość eksplozji kombinatoryjnej, która mogłaby uniemożliwić przeprowadzenie eksperymentu ze względu na konieczność wykonania bardzo dużej liczby pomiarów. Jest to podejście uzasadnione. Przy czym należy być świadomym, że konsekwencją takiego założenia jest ograniczanie zdobytej wiedzy do przewodów nieprzełazowych o przekroju kołowym wykonanych z trzech typów materiału. Zaznaczam, że w mojej ocenie nie zmniejsza to wartości dysertacji.

W efekcie przyjętych założeń wykonano badania (nazywane głównymi) wytrzymałości na zgniatanie i sztywności obwodowej na 204 próbkach podzielonych na trzy serie. Przyjęto, poza opisanymi już właściwościami materiałów, trzy grubości nominalne powłok (3,0 mm, 4,5 mm i 6,0 mm) w dwóch wariantach: powłoka o właściwościach adhezyjnych i powłoka bez takich właściwości – nazwana w pracy autonomiczną oraz próbki rur bez powłok (walidacyjne).

Celem pierwszej serii badań głównych było ilościowe sprawdzenie przyrostu wytrzymałości na zgniatanie lub sztywności obwodowej spowodowane wprowadzeniem wykładziny o zdolnościach adhezyjnych, w przypadku drugiej serii - po zamontowaniu powłok autonomicznych. Umożliwiło to określenie wpływu adhezji na wytrzymałość na zgniatanie lub sztywność obwodową. Celem trzeciej serii badań było określenie wpływu chropowatości rur na poziom adhezji, a tym samym na nośność rur na zgniatanie.

W dalszej części rozdziału dokonano porównania warunków rzeczywistych z warunkami jakie stworzono dla badań laboratoryjnych. Strukturę obiektu badań (przewodu) z uwzględnieniem wielkości wejściowych, oddziaływań i czynników zakłócających przedstawiono w formie graficznej, co zwiększa czytelność opisu. Dla zminimalizowania wpływu czynników zakłócających użyto skalibrowanych narzędzi pomiarowych. Zadbano także o ostrożność w trakcie transportu i przygotowania próbek. Świadczy to o umiejętności prowadzenia tego typu badań przez Autora w kontekście możliwości popełnienia błędu.

Opisano także procedurę przygotowania próbek i sposoby ich oznaczania po wprowadzeniu pojęcia „kohorta próbek”, oznaczającym podobieństwo próbek w jednej kohorcie pod względem materiału rury, jej wymiarów geometrycznych, nominalnej grubości powłoki oraz jej rodzaju (ze zdolnością do adhezji i bez takiej zdolności).

Dalsza część rozdziału poświęcona jest opisowi metodologii badań na zgniatanie i sztywności obwodowej. Badania na zgniatanie próbek rur betonowych i próbek rur betonowych z powłokami renowacyjnymi zostały wykonane zgodnie z normą PN-EN 1542 (2005 r.), a badania na zgniatanie rur kamionkowych zgodnie z normą PN-EN 295-3 (1999 r.).

Badania sztywności obwodowej rur z PVC wykonano zgodnie z normą PN-EN ISO 9969 (2008 r.), a badania sztywności obwodowej powłok rehabilitacyjnych zgodnie z metodą B opisaną w normie PN-EN 1228 (1999 r.) dotyczącą kompozytu GRP. Wszystkie z wymienionych norm są aktualne i mogły służyć jako podstawa badań.

Badania chropowatości powierzchni wewnętrznych rur, decydującej o stopniu „sklejenia” lineru z rurą w wyniku zjawiska adhezji, przeprowadzono na profilometrach dostosowanych do ciężaru rur.

Pomiary wytrzymałości adhezyjnej, zdefiniowanej jako wartość oddziaływania (siła, praca lub naprężenie) niezbędnego do rozerwania połączenia adhezyjnego, wykonano na piętnastu próbkach rur z powłokami mającymi zdolność adhezji. Pomiary te nie zostały wykonane na próbkach rur z PVC. Badania przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 1542 (2000 r.) określającą procedurę pomiaru siły odrywającej.

Rozdział kończy opis sposobu pomiaru grubości powłok. Zagadnienie nie jest bagatelne z uwagi na fakt, że powłoki są formowane in situ w wyniku czego ich grubości mogą odbiegać od nominalnych. Zastosowano tu metodę opisaną w przywołanej już normie PN-EN 1228 dotyczącej kompozytów GRP. Należy podkreślić za Doktorantem, że niewielkie różnice grubości powłok nie wpływają zasadniczo na ich nośność i w standardowych obliczeniach konstrukcji nie są brane pod uwagę.

Opisany rozdział jest jednym z dwóch najważniejszych rozdziałów dysertacji i stanowi o jej wartości naukowej. W mojej ocenie przeprowadzone i opisane badania są autorskim osiągnięciem naukowym Autora.

Rozdział 6 (23 strony) został poświęcony analizie wyników badań opisanych w rozdziale piątym. W pierwszej części tego rozdziału Doktorant opisał wizualną ocenę przebiegów zniszczenia układów „rura – liner” w badaniu wytrzymałości na zgniatanie. Zilustrował to graficznie wyróżniając trzy poziomy zniszczenia próbek z rur sztywnych (rys.50). W mojej ocenie ta forma prezentacji jest bardzo spektakularna i oryginalna. Schematy graficzne uzupełniają zdjęcia wykonane podczas badań, co dodatkowo podnosi wartość pracy.

W dalszej części rozdziału Autor porównał wyniki badań wytrzymałości na zgniatanie lub sztywności obwodowej poddając je uprzednio standaryzacji. Szczegółowe ich zestawienie przedstawiono w postaci wykresów. Sprawdzenie, czy statystycznie istotne są różnice w rozkładach znormalizowanej wartości wytrzymałości na zgniatanie ($F\%$) lub sztywności obwodowej ($S\%$) w poszczególnych kohortach, przeprowadzono wykorzystując test U (Mann’a – Whitney’a). Na tej podstawie wykazano, że we wszystkich porównywanych parach kohort występują istotne różnice statystyczne. Analizując to zagadnienie w kontekście błędów pomiarowych, Autor słusznie uznał, że podstawową przyczyną różnic są błędy przypadkowe wynikające z niejednakowych grubości powłok. Ich wpływ zredukowano wyznaczając wartości oczekiwane przy użyciu krzywych regresji.

W ostatnim, siódmym rozdziale pracy (45 stron) przedstawiono możliwość uwzględniania wyników badań w obliczeniach według stosowanych metod wyznaczania grubości powłok. W celu przeprowadzenia analizy problemu dokonano podziału poddanych renowacji powodów na dwie kategorie. Uogólniając można powiedzieć, że są to renowacje z wykorzystaniem zjawiska adhezji i renowacje gdzie zjawisko to nie wystąpiło. Biorąc to pod uwagę i wspomnianą już niejednakową grubość powłok cały zbiór próbek podzielono na osiem grup, dla których utworzono odrębne modele regresji. Reasumując wyniki tej analizy Autor słusznie stwierdza, że w praktyce powłoki rehabilitacyjne znacznie przekraczają długość 30 cm (wymiar próbki), co przy ich przestrzennym charakterze pracy powoduje, że odcinki o niższych

parametrach są „rekompensowane” odcinkami o lepszych parametrach. Dokładniejsza analiza tego problemu byłaby możliwa przy zastosowaniu modelu cyfrowego 3D z zastosowaniem MES, czym w pracy się nie zajmowano.

W dalszej części rozdziału Autor przeprowadził statyczno-wytrzymałościową analizę pracy powłoki na styku rur, głównie w aspekcie możliwości jej oderwania od końców rur pod wpływem parcia hydrostatycznego działającego na wykładzinę w szczelinie między rurami. Przyjął tu (świadomie) proste schematy statyczne z dużym zapasem bezpieczeństwa, gdyż nie uwzględniają one krzywizny rur oraz obwodowego wklęsnięcia jakie powstaje w wykładzinie na styku rur. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń dla tak przyjętych schematów wykazał, że w miejscach tych nie nastąpi odrywania powłok od rur.

W podrozdziale 7.5 Doktorant przedstawił podstawowe zalety stosowania powłok z właściwościami adhezyjnymi i zagrożenia dla ich stosowania wynikające przede wszystkim z charakteru zniszczenia przewodu poddawanego renowacji oraz parametrów konstrukcyjnych materiału z jakiego jest wykonany. Moim zdaniem ta część pracy jest wysoce przydatna, przede wszystkim ze względu na potencjalną aplikację jej wyników.

W części opisującej modele obliczeniowe przedstawiono sposób wyznaczenia współczynnika redukcyjnego K_M . Jest to realizacja celu pracy, gdyż zastosowanie tego współczynnika w obliczeniach umożliwi redukcję grubości powłok spowodowaną uwzględnieniem zjawiska adhezji (i jego wpływu na wytrzymałość na zgniatanie lub sztywność obwodową). Stąd też, w następnej części pracy, Autor opisuje możliwość uwzględniania współczynnika redukcyjnego K_M :

- w metodzie zalecanej przez ASTM F-1216 09,
- w metodzie zalecanej przez wytyczne ATV – M127.

Propozycja zmian w pierwszej z metod polega na wprowadzeniu przedmiotowego współczynnika do wzoru służącego weryfikacji, czy obciążenia działające na powłokę o zadanej geometrii przekroju poprzecznego nie powodują jej uszkodzenia. Ponadto w formie graficznej przedstawiono algorytm decyzyjny dotyczący możliwości stosowania współczynnika K_M oraz dwa przykłady obliczeniowe grubości powłoki z jego uwzględnieniem.

W przypadku wytycznych ATV – M127 Autor proponuje redukcję grubości powłok poprzez przemnożenie ich grubości wyznaczonej standardowo przez współczynnik K_M . Wyniki takich obliczeń przedstawił w tabelach.

Rozdział 8 (6 stron) to dyskusja i wnioski końcowe. W pierwszej części rozdziału Autor przedstawia uzasadnienie udowodnienia trzech głównych tez pracy oraz jej celu utylitarne. Następnie formułuje dziewięć zasadniczych wniosków jakie wynikają z przeprowadzonych badań i możliwości stosowania ich wyników. Szeroko też opisuje uwarunkowania jakie są związane ze stosowaniem przedmiotowych powłok i ich konsekwencje.

Rozdział kończy stwierdzenie, że przeprowadzone badania dopiero po poszerzeniu ich zakresu oraz weryfikacji przez inne ośrodki naukowo-badawcze mogą stanowić podstawę do modyfikacji standardowych metod obliczania grubości powłok, co nie w pełni podzielam.

3. Ocena merytoryczna pracy

Analizując treść dysertacji na bieżąco przedstawiłem ważniejsze, pozytywne i krytyczne komentarze dotyczące jej wartości naukowej i praktycznej. Według mojej oceny podjęta przez Autora tematyka jest bardzo aktualna, chociaż problemy te były już niejednokrotnie analizowane. Niektóre wyniki tych analiz Doktorant przywołuje słusznie stwierdzając, że ich autorom nie udało się osiągnąć rozwiązania zamkniętego. Co więcej nie znane mi są badania kompozytowych powłok renowacyjnych ściśle pasowanych w takim ujęciu jak wykonał to Doktorant, co uważam za podstawową wartość pracy. Przeprowadzone badania i analizy wykraczają znacznie poza badania eksperckie, kwalifikując bez wątpienia pracę do grupy prac rozwiązujących złożony problem naukowy i techniczny metodami (narzędziami) naukowymi. Wykorzystanie narzędzi naukowych, jakimi są urządzenia (aparatura) do badań laboratoryjnych, a także użyte modele matematyczne, wymagały od Doktoranta pozyskania wiedzy z zakresu aplikacji aparatury, procedur badawczych oraz z obszaru statystyki matematycznej. Autor wykazał się dużymi umiejętnościami dotyczącymi projektowania eksperymentu, jego realizacji oraz, co bardzo ważne, interpretacji wyników badań. Na tej podstawie stwierdzam jednoznacznie, że Doktorant jest przygotowany do samodzielnego rozwiązywania problemów naukowych.

W recenzji nie wyodrębniłem rozdziału dotyczącego uchybień formalnych, gdyż nie wpływają one zasadniczo na merytoryczną wartość pracy. Generalnie stwierdzam, że praca jest napisana bardzo dobrym językiem, starannie zredagowana i nie wymaga wprowadzania znaczących poprawek. Jednak przed ewentualną jej publikacją (do czego zachęcam Doktoranta) powinna jeszcze raz zostać poddana szczegółowej redakcji.

Reasumując bardzo pozytywną opinię o pracy chciałbym jednak przedstawić kilka refleksji o charakterze ogólnym, które być może posłużą Autorowi w dalszej pracy naukowej.

Bezsprzeczną wartością dysertacji jest prezentacja systematycznie przeprowadzonych badań trudnej konstrukcji zespolonej, jaką są odnowione przewody kanalizacyjne (szczególnie gdy wystąpi zjawisko adhezji). Założony cel pracy jest szczytny, jednak jak sam Autor zauważył w rozdziale ósmym, prawdopodobieństwo wykorzystania wyników badań na obecnym etapie w praktyce jest iluzoryczne. Dla wykorzystania badań poza ich rozszerzeniem (szczególnie na przewody o innej geometrii przekrojów poprzecznych) i ewentualnej weryfikacji przez inne ośrodki naukowo-badawcze (z potrzebą taką nie do końca się zgadzam), konieczne jest przeprowadzenie analizy ekonomicznej w kierunku wykazania zysków jakie wynikają ze stosowania powłok o mniejszej grubości. Obawiam się, że zyski te nie będą znaczące.

Ponadto sugeruję Autorowi, aby skierował swoje najbliższe działania naukowe na modelowanie cyfrowe konstrukcji w technologii 3D z wykorzystaniem MES, co pozwoli na wykorzystanie wyników badań do stworzenia innowacyjnego narzędzia do obliczania tego typu konstrukcji o znaczącej wartości aplikacyjnej, a co za tym idzie komercyjnej.

4. Wniosek końcowy

Doktorant jasno sformułował zakres i cel pracy. W wyniku przeprowadzonych badań osiągnął założony cel i udowodnił postawione tezy. Sposób przeprowadzenia badań i ich metodyka są autorskimi osiągnięciami Doktoranta, który rozwiązał, jak już napisałem, złożony problem techniczny metodami naukowymi. Biorąc pod uwagę wartość pracy wnioskuję o jej wyróżnienie.

Reasumując stwierdzam, że dysertacja spełnia wymogi stawiane pracom na stopień naukowy doktora nauk technicznych, co upoważnia mnie do postawienia wniosku o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'L. M. 77', written in a cursive style.