

Prof.dr hab.inż. Karol KUŚ
Politechnika Śląska

Administracja
Wydziału Inżynierii Środowiska
Wpłynęło dn. 15 KWI. 2019
Nr. 752 szt.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny MŁYŃSKIEJ pt. "Badania wpływu renowacji przewodów wodociągowych metodą cementowania na jakość transportowanej wody"

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie Uchwały Rady Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki z dnia 20.02.2019 r. i pisma ŚO-520-371/19.RKP z dnia 25.02.2019 r. Pana Dziekana dr hab.inż. Stanisława Rybickiego prof. nadzwyczajnego PK.

2. Charakterystyka i ocena rozprawy

Temat pracy doktorskiej został właściwie dobrany, jej cele, tezy i zakres poprawnie sformułowane. Praca jest starannie zredagowana, odznacza się przejrzystym układem i formą tekstu, jej styl jest zrozumiały, a stosowana terminologia poprawna. Materiał graficzny i tabelaryczny jest jednoznacznie czytelny. Praca liczy 179 stron tekstu, w tym 17 tabel, 43 rysunki, 23 fotografie i 14 załączników. Spis literatury zawiera łącznie z bazami internetowymi 143 pozycje. Treść rozprawy została ujęta w ośmiu logicznie następujących po sobie rozdziałach. Rozdział pierwszy przybliżył m.in. problem wtórnego zanieczyszczenia wody w systemach wodociągowych, znaczenie stabilności chemicznej i biologicznej, technologie natrysków zaprawą cementową, żywicą epoksydową i poliuretanową. Autorka wymienia wady i zalety stosowania tych metod w renowacji przewodów wodociągowych. Szczególnie podkreśla niskie koszty wykonania powłoki cementowej i jej wysoką skuteczność obejmującą ochronę czynną i bierną oraz zdolność do samoregeneracji. Jednak powłoki cementowe mogą powodować przekroczenie dopuszczalnych wartości odczynu pH wody, zwiększenie stężenia glinu i pogorszenie zapachu wody zwłaszcza w początkowym okresie po

renowacji. Na stopień ewentualnego pogorszenia parametrów jakościowych wody wpływa także średnica i długość jednorazowo odnowionego przewodu. W rozdziale drugim zostały sformułowane cele, tezy i zakres pracy. Cele pracy obejmują m.in.: analizę i porównanie wpływu powłok cementowych na zmiany parametrów jakościowych wody, opracowanie krzywych zależności przenikania zanieczyszczeń z powłok cementowych w zależności od czasu kontaktu z wodą o określonej jakości i rodzaju zastosowanego cementu, analizę wpływu powłok poliuretanowych na jakość wody, opracowanie modelu matematycznego przenikania zanieczyszczeń z wykładziny cementowej do wody w warunkach statycznych i jego weryfikację. Wśród czterech tez pracy podkreślić należy zmienną jakość wody do picia po kontakcie z wycementowanymi przewodami oraz poddanymi natryskom poliuretanowym, możliwość opracowania krzywych zależności przenikania zanieczyszczeń z uwzględnieniem jakości cementu, możliwości przenikania zanieczyszczeń z wykładziny cementowej do wody w warunkach dynamicznych oraz próby opracowania modelu matematycznego przenikania zanieczyszczeń z wykładziny cementowej do wody bezpośrednio po renowacji. Stąd też zakres pracy obejmował m.in.: opis stanowisk eksperymentalnych i materiałów badawczych, metodykę badań eksperymentalnych w warunkach statycznych i dynamicznych oraz na obiekcie w skali technicznej, analizę zmian parametrów jakościowych różnych rodzajów wód z powłokami cementowymi i poliuretanowymi, krzywe zależności przenikania zanieczyszczeń w funkcji czasu, porównanie wpływu natrysków cementowych i poliuretanowych na jakość wody, opracowanie modelu matematycznego przenikania zanieczyszczeń z wykładziny cementowej do wody oraz podsumowania i wnioski. W rozdziale trzecim Autorka dokonała obszernego przeglądu literatury w zakresie podjętej problematyki. Omówiła bezwykopową odnowę przewodów wodociągowych, natryskową metodę renowacji, wpływ ochronnych powłok natryskowych na jakość wody oraz wpływ naprężeń ścinających na uwalnianie zanieczyszczeń z powłoki cementowej do wody. W kolejnym rozdziale czwartym zaprezentowane zostały materiały, które posłużyły do badań powłok antykorozyjnych (powłoka cementowa, wykonana w trakcie renowacji krakowskiej magistrali wodociągowej, powłoki cementowe wykonane ręcznie na placu budowy, prefabrykowane powłoki cementowe przewodów fabrycznie nowych oraz powłoki z żywicy poliuretanowych stanowiących wnętrza przewodów fabrycznie nowych. Opisane też zostały wykorzystane w pracy trzy rodzaje stanowisk eksperymentalnych, a mianowicie:

- laboratoryjne do badań statycznych (w warunkach stagnacji wody),
- laboratoryjne w skali półtechnicznej do badań dynamicznych (przepływowych),
- na obiekcie do badań w skali technicznej fragmentu krakowskiej magistrali wodociągowej po cementowaniu.

Stanowisko laboratoryjne do badań dynamicznych zlokalizowano w Wydziałowym Laboratorium Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej. Zostało ono tak zaprojektowane, aby były zachowane zbliżone warunki hydrauliczne do panujących w poddanym renowacji metodą cementowania przewodzie $\varnothing 1000$ łączącym ZUW "Raba" w Dobczycach z krakowską siecią wodociągową. Do badań wykorzystano wodę miękką z ZUW "Raba" w Dobczycach i wodę średnio-twardą z ZUW "Bielany". Jako dezynfektant stosowano roztwór podchlorynu sodu. W rozdziale piątym Autorka zaprezentowała metodykę badań laboratoryjnych w warunkach statycznych i półtechnicznych w warunkach dynamicznych. Określiła charakter ruchu burzliwego w układzie badawczym przy pomocy liczby Reynoldsa oraz naprężenia ścinające na granicy ściany przewodu i przepływającej wody, które mogą oddziaływać na szybkość uwalniania zanieczyszczeń z wykładziny cementowej do wody. Opisała przebieg badań na obiekcie w skali technicznej fragmentu krakowskiej magistrali po renowacji metodą cementowania, jak również badania składu pierwiastkowego zastosowanych cementów portlandzkich CEM I od dwóch różnych producentów, wykorzystując m.in. skaningowy mikroskop elektronowy i emisyjny spektromierz plazmowy. Omówiła też etap badań jakości wody w zakresie wskaźników fizycznych i chemicznych, stopnia twardości wody, zapachu i smaku wody oraz ocenę agresywności wody na podstawie Indeksu Langeliera. Następnie podała obliczenia ilości wyługowanych zanieczyszczeń z powłoki cementowej do wody w okresie pomiędzy kolejnymi wymianami wody i skumulowanej ilości substancji wyługowanej z powłoki cementowej (od początku trwania testu do kolejnej wymiany). Rozdział ten kończy procedura określania wielkości stężeń pierwiastków w wodzie przepływającej przez wycementowane przewody.

Konsekwentnie z wcześniej założonym zakresem i metodyką badań. Autorka przeprowadziła obszerne i czasochłonne badania, a uzyskane wyniki zaprezentowała w rozdziale szóstym, uzyskując w ten sposób zbiór informacji o dużym znaczeniu praktycznym. Otrzymane efekty potwierdziły bardzo dobre właściwości powłoki cementowej, która stanowi skuteczną i długotrwałą ochronę przed korozją mechaniczną

i aktywną korodujących ścian przewodów stalowych oraz żeliwnych. Jest to metoda umożliwiająca szybkie tempo realizacji prac renowacyjnych przy niskich kosztach wykonania. Jednak bezpośrednio po renowacji, powłoki cementowe uwalniają znaczne ilości zanieczyszczeń do wody, co ma związek m.in. z rodzajem użytego cementu, jakością transportowanej wody i warunkami hydraulicznymi panującymi w przewodzie. Badania tej problematyki Autorka rozpoczęła od analizy i porównania zmian jakości wód o odmiennej twardości oraz ich wpływu na uwalnianie zanieczyszczeń z powłok cementowych wykonanych w trakcie renowacji przewodów oraz z prefabrykowanych powłok cementowych, oceniając zmiany odczynu pH wody, jej zasadowość, mętność, zapach i smak. Ługowanie metali z powłok cementowych dotyczyło glinu, wapnia, chromu, ołowiu i kadmu, po czym opracowane zostały krzywe zależności przenikania zanieczyszczeń z powłok cementowych do wód o odmiennej twardości i stężeniach dezynfektanta. Bezpośrednio po renowacji, badany też był wpływ powłok cementowych na jakość transportowanej wody. Porównano również wpływ powłok poliuretanowych i renowacyjnych powłok cementowych na jakość wody, zmiany odczynu pH i zasadowości wody, zmiany zawartości ogólnego węgla organicznego, zużycia dezynfektantów, barwę wody kontaktującej się z powłoką poliuretanową oraz zapach i smak wody.

W rozdziale siódmym pracy, Autorka podejmuje próbę modelowania przenikania zanieczyszczeń z wykładziny cementowej do wody poprzez modyfikację matematycznego modelu przenikania zanieczyszczeń, w którym mechanizm przenikania do wody składników utwardzonej zaprawy opierał się głównie na zjawiskach adwekcji i dyfuzji. Proponuje dodatkowo uwzględnienie zjawiska sorpcji związków wypłukiwanych ze struktury utwardzonej zaprawy cementowej. Podaje równanie modelowe, które stanowi zasadniczy element analizy numerycznej opisującej postępującą w czasie t zmianę stężenia substancji C w wodzie, która wypełnia wnętrze wycementowanego przewodu. Model ten stanowi jednak uproszczoną wersję opracowanego w bardziej szczegółowej postaci modelu przenikania zanieczyszczeń. Uproszczenie to dotyczy m.in. uwzględnienia jedynie uogólnionych mechanizmów dyfuzji, rozpuszczania i sorpcji składników cementu. Natomiast zjawisko adwekcji w strukturach kapilarnych wykładziny cementowej jest pomijane. Stąd też zaproponowany model może być przydatny do szacowania wzrostu stężeń zanieczyszczeń w wodzie oraz do obserwacji postępującego w czasie procesu rozpuszczania i sorpcji związków wchodzących w skład zaprawy cementowej w krótkim czasie po renowacji sieci

wodociągowej cementem danego rodzaju. Do opisu transportu substancji obecnych w wykładzinie cementowej, uwzględniono zarówno efekty ich rozpuszczania jak i zjawisko adsorpcji. Ilość całkowita zanieczyszczeń, jaka przeniknie do wody w czasie kontaktu z powłoką cementową zależy od ilości rozpuszczonej i zaadsorbowanej substancji oraz od szybkości tych procesów. W poszukiwaniu parametrów modelu opisującego zachodzące w czasie zmiany stężenia substancji w wodzie, wykorzystano Metodę Najmniejszych Kwadratów, dążąc przede wszystkim do wyznaczania wielkości współczynników określających szybkość rozpuszczania i adsorpcji substancji w zwartej części powłoki cementowej. Następnie wyznaczono wartości stężenia nasycenia substancji w wodzie i wartości współczynnika określającego stan równowagi pomiędzy stężeniem substancji w wodzie, a jej zawartością w powłoce cementowej. Metoda ta posłużyła również do określenia parametru stanowiącego grubość warstwy powłoki cementowej w procesie przenikania zanieczyszczeń do wody. Do przybliżenia opisu pochodnych względem czasu w otrzymanych równaniach operatory różniczkowe zastąpiono operatorami różnicowymi i dokonano aproksymacji pochodnych ilorazami różnicowymi. Zgodnie z otrzymanym modelem matematycznym przeprowadzono obliczenia numeryczne, które umożliwiły jego eksperymentalną weryfikację dla rzeczywistych warunków w danej sieci wodociągowej. Weryfikację przeprowadzono w odniesieniu do warunków statycznych dla dwóch toksycznych metali - chromu i ołowiu, po czym podane zostały parametry do modelowania w celu odtworzenia rzeczywistych warunków panujących w sieci. Wyniki modelowania potwierdzają wysoką zgodność obliczeniowych zmian stężeń pierwiastków w wodzie z ich wartościami pomiarowymi o czym świadczą wysokie wartości współczynników korelacji, zarówno dla chromu, jak i ołowiu. Potwierdza to fakt, że zaproponowany model dobrze opisuje zjawiska przenikania zanieczyszczeń z powłoki cementowej do wody i postępujące w czasie zmiany ich zawartości. Przeprowadzone obliczenia numeryczne zgodnie z przedstawionym modelem matematycznym, umożliwiły wyznaczenie współczynników szybkości rozpuszczania i adsorpcji substancji, które świadczą o tym, że wzrost stężenia zanieczyszczeń w wodzie kontaktującej się z wykonaną powłoką cementową dotyczy głównie powierzchniowego wypłukiwania składników cementu. Przyrost zawartości zaadsorbowanego chromu i ołowiu był największy w pierwszej dobie kontaktu powłoki cementowej z wodą. Natomiast wyznaczenie wielkości współczynników rozpuszczania i adsorpcji umożliwia wykorzystanie opracowanego modelu do szacowania wpływu powłok

cementowych w krótkim czasie po renowacji cementem danego typu. Pracę kończy rozdział ósmy zawierający podsumowanie i wnioski ogólne oraz szczegółowe wnioski i stwierdzenia.

Problem podjęty w pracy zawiera istotne aspekty naukowe, których rozwiązanie wymagało znajomości odpowiednich podstaw teoretycznych m.in. z mechaniki płynów, wodociągów i kanalizacji, technologii wody, technik komputerowych i metod numerycznych oraz modelowania.

Do najistotniejszych osiągnięć Autorki w tym względzie zaliczam:

- umiejętność organizacji i przeprowadzenia kompleksowych badań nad jakością transportowanej wody w przewodach po renowacji z zastosowaniem powłok cementowych i z żywic poliuretanowych, w tym ręcznie wykonanej powłoki cementowej, powłoki cementowej fragmentu krakowskiej magistrali, prefabrykowanej powłoki cementowej i powłoki z żywic poliuretanowych. Badania przeprowadzono na stanowiskach laboratoryjnych do badań statycznych i do badań dynamicznych (w warunkach przepływowych w skali pół technicznej) oraz stanowisk na obiekcie (fragmentie sieci wodociągowej),
- opracowanie matematycznego modelu przenikania zanieczyszczeń z wykładziny cementowej do wody, który uwzględnia nie tylko zjawiska adwekcji i dyfuzji, lecz również sorpcji związków wypłukiwanych ze struktury utwardzonej zaprawy cementowej. Weryfikację przeprowadzono w odniesieniu do warunków statycznych dla dwóch toksycznych metali - chromu i ołowiu, z podaniem parametrów do modelowania w celu odtworzenia rzeczywistych warunków w sieci. Wysokie wartości współczynników korelacji potwierdzają dużą zgodność obliczeniowych zmian stężeń pierwiastków w wodzie z wartościami pomiarowymi. Zaproponowany model może być przydatny do szacowania wzrostu stężeń zanieczyszczeń w wodzie oraz do obserwacji postępującego w czasie procesu rozpuszczania i sorpcji związków wchodzących w skład zaprawy cementowej w krótkim czasie po renowacji,
- podanie przykładów opracowania zależności przenikania zanieczyszczeń z powłok cementowych wykonanych na bazie cementów portlandzkich CEM I pochodzących od różnych producentów, do wód o odmiennej twardości

Podkreślić należy też fakt dobrego osadzenia rozprawy w literaturze światowej i krytycznego odniesienia do aktualnego stanu piśmiennictwa. Pomimo, że metoda cementowania przewodów nie należy do nowych, wymaga ona ciągłych modyfikacji

i ulepszeń. Stąd też pewne fragmenty tej pracy nie posiadają swoich odpowiedników w literaturze. Obok walorów naukowości i oryginalności, rozprawę cechuje duże znaczenie praktyczne i zainteresowanie ze strony przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych przed podjęciem decyzji dotyczącej metody odnowy sieci wodociągowej np. przy pomocy powłoki cementowej, czy powłoki z żywicy poliuretanowej. Zaznaczyć też należy fakt zaplanowania i realizacji zadań na profesjonalnych stanowiskach doświadczalnych w laboratorium Politechniki Krakowskiej i ścisłej współpracy z Krakowskimi Wodociągami.

3. Pytania i uwagi do pracy

1. Przy opisie metodyki badań laboratoryjnych w warunkach statycznych (str. 73), pojawia się zapis mówiący o częściowej zgodności z dwoma normami, holenderską i polską (dotyczy czasu kontaktu wody z wewnętrzną powłoką antykorozyjną pomiędzy kolejnymi wymianami wody). Proszę o wyjaśnienie tej "częściowej zgodności".
2. W nawiązaniu do informacji na str. 109, proszę opisać warunki techniczne realizacji procesu płukania przewodu po zabiegu cementowania o średnicy 1000 mm, długości 10 km i czasie płukania 6 godzin.
3. Przy opisie stanowiska do badań dynamicznych (Fot. 12), pojawia się zapis mówiący o zamontowaniu tzw. kierownic (5,6,9), czyli elementów składających się z równomiernie rozmieszczonych łopatek dzielących strumień przepływającej wody na mniejsze strumienie. Czy te kierownice to strumienice przepływu i nazwanie ich łopatkami jest właściwe?

Powyższe uwagi nie podważają zaufania do osiągniętych w pracy wyników i pozostają bez wpływu na jej wysoką ocenę

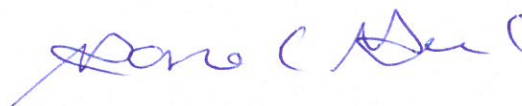
4. Podsumowanie i wnioski

Rozprawa doktorska mgr inż. Anny MŁYŃSKIEJ opracowana pod opieką promotora dr hab.inż. Michała ZIELINY prof. nadzwyczajnego PK stanowi oryginalne, wartościowe rozwiązanie zagadnienia naukowego o istotnym znaczeniu praktycznym. Doktorantka umiejętnie zorganizowała i przeprowadziła kompleksowe badania nad jakością wody w przewodach po renowacji z zastosowaniem powłok cementowych i z żywic

poliuretanowych w warunkach laboratoryjnych oraz fragmencie sieci wodociągowej, Opracowała też i zweryfikowała matematyczny model przenikania zanieczyszczeń z wykładziny cementowej do wody, przydatny m.in. do szacowania stężeń zanieczyszczeń w wodzie w krótkim czasie po renowacji. Efekty te świadczą o opanowaniu warsztatu badawczego przez mgr inż. Annę Młyńską, umiejętności analizy i oceny pomierzonych parametrów, swobodnego posługiwania się aparatem matematycznym i współczesnymi programami komputerowymi. Uzyskane rezultaty mają istotne znaczenie dla rozwoju dyscypliny naukowej "inżynieria środowiska".

Jestem przekonany, że rozprawa doktorska mgr inż. Anny Młyńskiej spełnia wymagania określone przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595, a w szczególności art. 13 pkt. 1) i wnoszę do Rady Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony. Ze swojej strony widzę możliwość rozważenia przez Radę Wydziału wniosku o wyróżnienie.

Z wyrazami szacunku



Gliwice, 10.04.2019 r.

Prof.dr hab.inż. Karol KUŚ

Uzasadnienie w sprawie wyróżnienia pracy doktorskiej
mgr inż. Anny Młyńskiej pt. "Badania wpływu renowacji przewodów
wodociągowych metodą cementowania na jakość transportowanej wody"

W mojej ocenie zasadność wyróżnienia wynika stąd, że praca zawiera elementy o wyjątkowej wartości, które nie posiadają swoich odpowiedników w literaturze i dotyczą: opracowania matematycznego modelu przenikania zanieczyszczeń z wykładziny cementowej do wody, który uwzględnia nie tylko zjawiska adwekcji i dyfuzji, lecz również sorpcji związków wypłukiwanych ze struktury utwardzonej zaprawy cementowej.

Dzięki wyznaczonym współczynnikom rozpuszczania i adsorpcji, model ten może być przydatny do oszacowania wzrostu stężeń zanieczyszczeń w wodzie oraz obserwacji postępującego w czasie procesu rozpuszczania i adsorpcji związków wchodzących w skład zaprawy cementowej w krótkim czasie po renowacji. Jest to oryginalne, wartościowe rozwiązanie zagadnienia naukowego o istotnym znaczeniu praktycznym.

