Dr hab. Artur Maciąg, prof. PŚk Kielce 04.11.2015

RECENZJA

rozprawy doktorskiej
mgr inż. Łukasza Semkło
pt. „Lokalizacja nieszczelności w sieci wodociągowej poprzez analizę zmian ciśnienia w wybranych węzłach sieci"
(recenzja wykonana na zlecenie Rady Wydziału Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej na podstawie uchwały z dnia 20.10.2015)

1. Zakres tematyczny rozprawy oraz ocena celowości podjęcia tematu

Współczesne sieci wodociągowe są zwykle bardzo rozbudowanymi systemami rur, węzłów oraz przepompowni. Niezawodność takich systemów jest kluczowa z punktu widzenia zarówno firm obsługujących sieć, jak i jej użytkowników. Jak każdy system, sieć wodociągowa może ulegać awariom, wśród których jest pojawienia się nieszczelności. Szybka i precyzyjna lokalizacja takich nieszczelności jest ważna zarówno z ekonomicznego, jak i użytkowego punktu widzenia. Temu zagadnieniu poświęcona jest omawiana rozprawa doktorska. Miejsce nieszczelności w sieci wodociągowej lokalizowane jest poprzez analizę zmian ciśnienia w wybranych węzłach. Aktualnie wykorzystywanych jest wiele metody lokalizacji nieszczelności. Charakteryzują się one rozmaitą skutecznością, posiadając przy tym wady. Poszukiwanie coraz doskonalszych metod określania miejsca wycieku jest ze wszech miar zasadne. Dlatego też podjęty temat rozprawy jest aktualny a opracowana autorska metoda lokalizacji nieszczelności może znaleźć zastosowanie praktyczne przynosząc wymierne korzyści użytkownikom sieci.

2. Ocena formalna rozprawy (objętość literatura itp)

Przedstawiona do recenzji rozprawa liczy 115 stron. Jest to objętość wystarczająca. Tytuł rozprawy odpowiada jej zawartości. Praca składa się z trzech merytorycznych rozdziałów, wstępu, wniosków końcowych, bibliografii, spisu rysunków i tabel (spis tabel zatytułowano omyłkowo w pracy jako spis treści) oraz streszczenia. W pracy zamieszczono również załączniki zawierające przykłady rozbudowanych sieci wodociągowych oraz, w postaci wykresów i tabel, wartości prędkości i ciśnienia w rurociągach. W przedstawionym do recenzji egzemplarzu pracy brakuje streszczenia w języku angielskim.

Bibliografia zawiera pięćdziesiąt dwie pozycje.

- Trzydzieści cztery pozycje to wydawnictwa naukowe (czasopisma, wydawnictwa pokonferencyjne, zeszyty naukowe oraz książki). Wśród nich jest siedem, w których Doktorant jest współautorem. Szesnaście spośród wymienionych źródeł wykorzystana jest tylko w tabeli 2.1, w której zestawione są wory do wyznaczania współczynnika strat liniowych.
- Osiemnaście pozycji bibliografii to źródła internetowe.

Podział pracy na rozdziały oraz ich objętość są prawidłowe z punktu widzenia realizacji jej celu. Redakcja pracy jest jej najsłabszą stroną. Pracę trudno się czyta z uwagi na pojawiające się nieścisłości, nieprecyzyjne oznaczenia i wyrażenia oraz zdawkowe opisy. Szczegółowe uwagi krytyczne dotyczące redakcji pracy zamieszczono niżej.

3. Zwartość pracy, ocena merytoryczna oraz mocne strony pracy

Pierwszym rozdziałem pracy jest wstęp, w którym podano rys historyczny rozwoju sieci wodociągowych. Znajduje się tu również przegląd stosowanych aktualnie metod wykrywania nieszczelności w takich sieciach. We wstępie zamieszczono ponadto cel główny pracy oraz trzy cele szczegółowe.

Autor dostosował podział pracy do celów szczegółowych przyjmując, że każdy z trzech rozdziałów merytorycznych stanowi realizację jednego celu szczegółowego. Taki układ pracy poprawia jej czytelność. Trzymając się tej zasady rozdział drugi, liczący 30 stron, stanowi realizację pierwszego celu szczegółowego: „wyznaczenie rozkładów prędkości w poszczególnych rurociągach oraz ciśnień w węzłach sieci wodociągowej". Przedstawiono sposób wyznaczania rozkładów prędkości w rurociągach i ciśnień w węzłach bazujący na bilansowaniu strumieni masy. Zamieszczono dowód wzoru łączącego liczbę rurociągów sieci, liczbę węzłów oraz liczbę oczek. Dowód przeprowadzono z wykorzystaniem indukcji matematycznej. Nieliniowy układ równań pozwalający wyznaczyć prędkości zawiera współczynnik strat liniowych λ zależny od liczby Reynoldsa oraz chropowatości. W literaturze występują liczne formuły określające współczynnik λ. W pracy wskazano dwadzieścia cztery wzory pozwalające wyznaczyć współczynnik strat liniowych. Formuły te podzielono na pięć grup a następnie badano odchylenia wybranych równań od wzoru referencyjnego. Autor zdecydował wykorzystać równanie Colebrooka-Whitea. Wybór ten został bardzo starannie uzasadniony. W rozdziale drugim zamieszczono również opisy programów „Rurociąg", „SymulationX" oraz „Sieć". Ten ostatni jest autorskim programem Doktoranta. Przedstawione wykresy i tabele pokazują bardzo dużą zbieżność wyników obliczeń uzyskiwanych dzięki tym trzem programom.

Drugi cel szczegółowy pracy: „analiza wpływu położenia nieszczelności w sieci na rozkłady ciśnień w węzłach sieci i na tej podstawie określenie kryterium wyboru węzłów sieci, w których mierzone jest ciśnienie" zrealizowano w rozdziale trzecim, liczącym 21 stron. Autorskie rozwiązanie problemu lokalizacji nieszczelności opiera się na analizie zmienności ciśnień w węzłach sieci, która spowodowana jest zmianą położenia wycieku w elemencie liniowym. Zaproponowano dwie miary zmienności ciśnienia w węźle. Pierwszą jest różnica pomiędzy ciśnieniami najwyższym a najniższym uzyskiwanymi przy różnych lokalizacjach wycieku w elemencie liniowym. Drugą miarą jest odchylenie standardowe uzyskiwanych w ten sposób ciśnień. Miary te uogólniono na większą liczbę węzłów. Wykorzystując miarę zmienności ciśnienia w węźle uzyskuje się diagramy zmienności. W omawianym rozdziale przedstawiono autorski algorytm optymalnego wyboru węzłów, w których powinno być mierzone ciśnienie, bazujący

na uzyskanych diagramach zmienności ciśnienia. Zamieszczono szereg obliczeń wykonanych autorskim programem „Sieć" pokazujących skuteczność programu przy wyborze optymalnej konfiguracji węzłów.

Rozdział czwarty, liczący 15 stron, zawiera realizację trzeciego celu szczegółowego pracy: „opracowanie algorytmu obliczeniowego do lokalizacji nieszczelności sieci na podstawie rozkładu ciśnień w węzłach sieci". Przedstawiony autorski algorytm bazuje na minimalizacji funkcjonału średniokwadratowego błędu pomiędzy zmierzonymi ciśnieniami w wybranych węzłach a ciśnieniami wyliczonymi. Zaproponowano dwuetapowy algorytm poszukiwania miejsca wycieku. W pierwszym etapie wykorzystuje się „zgrubną" strategie ustalenia rurociągu z wyciekiem. W kroku drugim wybrany rurociąg przeszukiwany jest dokładniej (wielkość kroku przestrzennego jest znacznie mniejsza niż w pierwszym etapie). Skuteczność tego algorytmu potwierdzają zamieszczone liczne wyniki obliczeń wykonane z wykorzystaniem programu „Sieć".

Wnioski końcowe zamieszczono w rozdziale piątym. Wskazano również możliwe dalsze kierunki badań bazujące na autorskich rozwiązaniach omówionych w pracy.

Dołączone do pracy załączniki zawierają przykłady rozbudowanych sieci wodociągowych oraz wyniki obliczeń dla tych sieci.

Treść pracy koresponduje z postawionym celem naukowym, którym było opracowanie nowej metody lokalizacji nieszczelności w sieci wodociągowej. Układ rozprawy jest dostosowany do realizacji celów szczegółowych a w konsekwencji celu głównego. Niewątpliwą zasługą Doktoranta jest opracowanie nowej i skutecznej metody lokalizacji nieszczelności. Autor wykazał się głęboką znajomością zagadnień z zakresu mechaniki płynów oraz metod numerycznych. Warsztat naukowy został zatem opanowany. Ponadto Doktorant wykazał się biegłością w implementacji komputerowej opracowanej autorskiej metody, tworząc program „Sieć" realizujący praktycznie uzyskane rozwiązanie problemu naukowego. Program ten należy zaliczyć do znaczących osiągnięć Doktoranta. Z dużą starannością dobrana została formuła określająca współczynnik strat liniowych λ. Na uznanie zasługuje liczba wykonanych, żmudnych symulacji numerycznych. Nie ograniczono się przy tym do prostych przykładów sieci wodociągowej analizując sieci bardziej rozbudowane. Autor wykazał, że zaproponowany sposób rozwiązania problemu lokalizacji nieszczelności jest skuteczny. Jest to duże osiągnięcie doktoranta. Należy podkreślić aktualność tematu oraz możliwość praktycznego wykorzystania opracowanej metody lokalizacji nieszczelności w sieci wodociągowej.

4. Uwagi krytyczne

W odniesieniu do przedstawionej rozprawy doktorskiej, oprócz wyżej wymienionych atutów pracy, wymienić można uwagi krytyczne. Jak wspomniano wyżej najsłabszą stroną pracy jest jej redakcja. W pracy pojawiają się niezręczne, nieprecyzyjne a nawet błędne sformułowania.

Niżej wymieniono zauważone uwagi redakcyjne, które nie wpływają znacząco na ocenę pracy.

- Na stronie 11 pojawia się niezręczne (dwuznaczne) sformułowanie: „11 Systemy te używane są ogólnie na rurociągach, które mogą pozostawić po sobie ślad termiczny związany z transportowanym medium na odcinku kilku metrów pod ziemią." Chodzi zapewne o głębokość.
- Na stronie 13 mamy: „Ostatni podział lokalizacji nieszczelności można określić jako pozostałe metody." Należało napisać, że ostatnią klasę metod lokalizacji stanowią metody pozostałe.

- Rysunek 1.10 jest całkowicie nieczytelny. Nie jest też szczegółowo opisany.
- Na stronie 14 „pod kategoria" powinna być pisana łącznie.
- Na stronie 14 czytamy: „...czyli określenie danego zjawiska fizycznego za pomocą równań matematycznych." Mówi się raczej o modelowaniu albo opisie matematycznym zjawisk a nie o ich określaniu.
- Na stronie 14 powinno być „rozprawa doktorska" a nie „rozprawia doktorska".
- Wymieniając na stronie 14 cele pracy Autor pisze: „Realizacja celu podstawowego wynika z następujących celów szczegółowych:" Raczej w oparciu o cel główny formułuje się cele szczegółowe a nie odwrotnie.
- Na stronie 14 wymienione cele szczegółowe powinny zaczynać się dużą literą.
- Na stronie 17 czytamy: „Oznaczając przez n_e liczbę elementów sieci". Powinno być: „liczbę elementów liniowych.
- W tabeli 2.6 w ostatniej kolumnie jest „numer *n* – tego rury" zamiast *n* – tej rury.
- W tabeli 2.8 brak opisu ostatniej kolumny.
- Rysunki 2.11, 2.12 oraz 2.13 są praktycznie nieopisane. Ponadto wydają się zbędne. Zamiast tego można było pokazać możliwości zastosowania programu SymulationX do modelowania w mechanice płynów.
- W tabeli 2.18 trzecia kolumna zatytułowana jest jako „Rurociągi0" zamiast „Rurociągi". Ponadto nazwa programu Sieć pisana jest czasami jako „Sieć" a czasami jako „Siec" – należało to ujednolicić.
- Na stronie 46 w zdaniu „Rozważana jest podobnie jak w poprzednim rozdziale sieć składająca się z n_e rurociągów i n_w węzłów sieci, tworzących n_o elementarnych oczek sieci" jest zła interpunkcja.

Lektura pracy jest znacznie utrudnione z uwagi na nieprecyzyjne, pobieżne lub błędne sformułowania oraz zdawkowe wyjaśnienia. Powoduje to, że miejscami należy się domyślać, jak przebiega rozumowanie lub jak w istocie działa algorytm. Niżej wymieniono uwagi merytoryczne utrudniające lekturę tekstu.

- Na rysunkach 2.15, 2.17, 2.18, 2.20, 2.21, 2.23, 2.26 oraz 2.27 pokazano różnice wyników uzyskane różnymi programami. Bardziej obrazowe byłoby pokazanie różnic względnych, które dobitniej pokazałyby podobieństwa działania programów.
- We wzorach 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 oraz 3.5 należało wprowadzić dodatkowy indeks związany z numerem węzła. Na przykład s_w^k, gdzie $w = 1,\ldots, n_w$ oznacza numer węzła a $k = 1,\ldots, n_e$ numer rurociągu. Wtedy wzory 3.4 oraz 3.5 miałyby postać s_{pq}^k, co znacznie zwiększyłoby czytelność rozumowania.
- We wzorze 3.3 jest niejasne oznaczenie $\overline{p_{kl}}$.
- We worze 3.4 łączna miara związana jest ze zbiorem węzłów a nie ze zbiorem rurociągów, zatem powinno być $p,q = 1,\ldots, n_w$ a nie $p,q = 1,\ldots, n_e$. Podobnie jest we wzorze 3.5.
- W algorytmie wybieranych jest *l* węzłów spośród n_w węzłów. Zatem liczba kombinacji wynosi $\binom{n_w}{l}$ a nie $\binom{n_e}{l}$, jak to podano na stronie 47.
- Z treści pracy domyślamy się, że szukając najsłabszego ogniwa, minimum dla danej kombinacji węzłów we wzorze 3.6 wyznaczane jest po wszystkich rurociągach, podczas gdy we wzorze tym oznaczenie sugeruje wyznaczanie minimum po węzłach. Rozważana jest konfiguracja *l* węzłów, dlatego we wzorach 3.6 oraz 3.7 indeksowanie powinno być od 1 do *l* a nie od 1 do *r*.

- W algorytmie opisanym w rozdziale czwartym minimalna wartość funkcjonału wyznaczana jest metodą połowienia. Błędnie jest zatem podany we wzorze 4.2 „warunek stopu" algorytmu, w którym badana jest różnica wartości funkcjonału dla różnych punktów. Warunek powinien mieć postać $|x_2 - x_1| < \varepsilon_r$. Pomijając fakt, że w warunku 4.2 oznaczenia J_{u1} oraz J_{u2} nie powinny się pojawić, to są one nieopisane. Aby zrozumieć ich sens należy sięgnąć do algorytmu zamieszczonego na rysunku 4.2.

Brakuje w pracy spisu oznaczeń. Zamieszczenie takiego spisu pozwoliłoby Autorowi na konsekwentne i prawidłowe używanie oznaczeń. Spowodowałoby to w konsekwencji większą czytelność pracy.

Brakuje w pracy szczegółowego przeglądu aktualnego stanu wiedzy na temat lokalizacji nieszczelności w sieciach wodociągowych. Dokonano przeglądu metod lokalizacji ze wskazaniem ich wad i zalet, co można uznać za wystarczające przy założeniu, że prezentowana przez doktoranta metoda jest nowatorska.

W rozdziale trzecim nie pokazano kryterium wyboru liczby węzłów, jak zapowiada tytuł rozdziału 3.1 brzmiący: „Algorytm wyznaczania liczby i położenia węzłów do pomiaru ciśnienia". Wyznaczana jest optymalna kombinacja *l* węzłów przy narzuconej liczbie *l*.

Miary określone wzorami 3.6 oraz 3.7 nie pozwalają bezpośrednio na określenie optymalnej liczby węzłów. Jasne jest, że porównywanie wartości maksymalnych, określonych wzorem 3.7 dla różnej liczby węzłów nie jest zasadne. Być może zastosowanie średniej arytmetycznej zamiast sumy we wzorach 3.4 oraz 3.5, przy jednoczesnym wykorzystaniu współczynnika zamienności zamiast odchylenia standardowego określonego wzorem 3.2, pozwoliłoby uzyskać kryterium wyboru optymalnej liczby węzłów. Wymaga to jednak dalszych pogłębionych, licznych i żmudnych analiz. Dlatego niniejszy akapit nie stanowi uwagi do pracy a jedynie sugestię dotyczącą możliwego kierunku dalszych badań.

4. Podsumowanie oraz wniosek końcowy

Pamiętając o wszystkich niedoskonałościach rozprawy należy stwierdzić, że analizowany temat badawczy jest aktualny a sama rozprawa oraz oryginalne rozwiązanie problemu przyczyniają się do rozwoju nauki. Doktorant podejmując i rozwiązując trudny problem wykazał, że ma umiejętności wymagane w trakcie samodzielnej pracy badawczej, dysponując przy tym niezbędną wiedzą teoretyczną.

W związku z powyższym uważam, że rozprawa doktorska mgra inż. Łukasza Semkło pt. „Lokalizacja nieszczelności w sieci wodociągowej poprzez analizę zmian ciśnienia w wybranych węzłach sieci" **spełnia wymagania ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym i wnoszę o przyjęcie rozprawy oraz dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony**.