

Katowice, dnia 04 luty 2015 r.

Prof. dr hab. inż. Andrzej WILK
Wydział Transportu
Politechniki Śląskiej

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina CHORZEWSKIEGO nt. „Modelowanie odkształceń i naprężeń rurociągu podczas przepływu czynnika roboczego”.

Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzję opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej prof. dra hab. inż. Janusza ZIELIŃSKIEGO, wyrażone w piśmie L.Dz. PO/14/2014 z dnia 10.12.2014r.

1. UWAGI WSTĘPNE

Opiniowana rozprawa dotyczy problematyki projektowania rurociągów stosowanych w instalacjach rafineryjnych, które służą do transportu materiałów ropopochodnych, najczęściej aktywnych chemicznie, pod wysokim ciśnieniem i w wysokiej temperaturze. Dobór rozwiązania konstrukcyjnego i technologii wykonania tych rurociągów powinien zapewnić, podczas ich eksploatacji, bezpieczną i niezawodną realizację procesu produkcyjnego. Rurociągi te poddawane są obciążeniom mechanicznym wskutek pulsującego turbulentnego przepływu medium, który wywołuje złożone stany naprężeń występujących w ściankach rurociągu i w złączach jego elementów. Wskutek turbulencji w elementach tych pojawiają się okresowo zmienne w czasie odkształcenia, które wywołują naprężenia zmęczeniowe, przy jednoczesnym występowaniu naprężeń spowodowanych obciążeniem cieplnym, wysokim ciśnieniem oraz ciężarem własnym instalacji. Naprężeniom tym towarzyszy przepływ aktywnego chemicznie płynu, co powoduje powstawanie mikrouszkodzeń warstwy materiału wewnątrz rurociągu, a w granicznych przypadkach może doprowadzić do pęknięć rurociągu i eksplozji instalacji. Systemy rurociągowo powinny być zaprojektowane tak, aby zapewnić można było bezpieczną i niezawodną pracę instalacji przy występującym złożonym stanie

obciążeń i odkształceń, z uwzględnieniem zmiennych naprężeń zginających, które powstają wskutek turbulentnego przepływu czynnika roboczego. Naprężenia te są najczęściej pomijane w obliczeniach wytrzymałościowych podczas konstruowania rurociągu.

Uwzględniając powyższe, uważam, że podjęcie tematu rozprawy doktorskiej, dotyczącej badania odkształceń i naprężeń rurociągów podczas przepływu czynnika roboczego należy uznać za celowe ze względów poznawczych i utylitarnych.

2. PRZEDMIOT I ZAKRES ROZPRAWY

Przedstawiona do recenzji rozprawa składa się z 7 rozdziałów i bibliografii. Zawartość jej przedstawiono na 93 stronach tekstu, natomiast bibliografia obejmuje 102 pozycje literaturowe.

3. OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY

W rozdziale 1 Autor przedstawił ogólne problemy konstruowania rurociągów ze szczególnym uwzględnieniem warunków zapewnienia niezawodności ich funkcjonowania. Autor zwraca między innymi uwagę na konieczność prowadzenia badań rurociągu, przed przekazaniem do eksploatacji, w celu ustalenia jego stanu zdatności lub ograniczonej zdatności podczas eksploatacji.

W rozdziale 2 przedstawiono ogólnie zależności opisujące zjawiska zachodzące podczas przepływu laminarnego i turbulentnego cieczy i gazów, zgodnie z zasadami hydrodynamiki. Szczególną uwagę poświęcono analizie przepływów dwufazowych, które występują w praktyce, w przypadku mieszanin dwu- lub wielofazowych. Opisano niestabilności tego przepływu, podano ich klasyfikację. Przeprowadzona analiza obciążeń rurociągu prowadzi do wniosku, że turbulencje przepływu oraz występujące niestabilności powodują okresowo zmienne w czasie obciążenia i odkształcenia rurociągu, a w tym przede wszystkim zginanie. Naprężenia te, o charakterze zmęczeniowym o znacznej wartości, dodają się do naprężeń spowodowanych obciążeniem cieplnym oraz tych spowodowanych wysokim ciśnieniem czynnika i ciężarem instalacji. Szczególne znaczenie mają naprężenia zmęczeniowe gnące, które powinny być uwzględniane w obliczeniach wytrzymałościowych, podczas konstruowania rurociągu. Kontynuując rozważania analizowano w rozprawie stan naprężeń gnących w powłokach walcowych.

Na podstawie przeprowadzonej analizy przepływu medium w rurociągu sformulowano w rozdziale 3 hipotezę o występowaniu w tym przypadku różnorodnych odkształceń i naprężeń okresowych, w tym pochodzących od zginania. Potwierdzenie tej hipotezy było celem dalszych badań teoretycznych i eksperymentalnych przedstawionych w pracy.

Uważam, że przyjęta przez Autora hipoteza i cel rozprawy zostały sformułowane poprawnie i mogą być wykorzystane w praktyce.

W rozdziale 4 podsumowano stan wiedzy na temat wyznaczenia obciążeń i naprężeń stałych i zmiennych rurociągu, występujących w czasie jego eksploatacji. Zdefiniowano i opisano naprężenia termiczne, spowodowane zmianami temperatury cieczy płynącej w rurociągu, pochodzące od ciśnienia tej cieczy, spowodowane działaniem ciężaru własnego instalacji oraz pochodzące od oddziaływań sił zewnętrznych, wywołanych przez czynniki takie jak: wiatr, nasłonecznienie, opady atmosferyczne i inne.

Rozdział 5 zawiera zwięzłe omówienie metody badań odkształceń dynamicznych rurociągów, spowodowanych przez turbulencje i niestabilność przepływu. Jednym z elementów tego stanu odkształceń jest często zginanie. Założono, że podstawę do wyznaczenia tego stanu odkształceń będą stanowiły pomiary przyspieszeń drgań elementów rurociągu, które za pomocą podwójnego całkowania posłużą do wyznaczenia przemieszczeń elementów. Przyjęto przy tym założenie, że drgania opisuje system ruchów okresowych. Przyjęta metoda badań zakładała, że pomiary powinny być wykonane w wielu przekrojach badanego fragmentu rurociągu, w odpowiednio dobranym układzie współrzędnych, związanych z jednym z przekrojów, co umożliwi wyznaczenie odkształceń względem tego przekroju. Przeprowadzono analizę widmową pomierzonych przyspieszeń drgań. Wyznaczone w dalszej kolejności odkształcenia dynamiczne badanego fragmentu rurociągu pozwoliły na określenie naprężeń w badanych przekrojach zgodnie z metodami wytrzymałości materiałów. Przeprowadzono badania obciążeń i naprężeń wybranego elementu rurociągu, przez który płynie dwufazowy czynnik roboczy o podwyższonym ciśnieniu i temperaturze. Założono, że podczas przepływu medium dwufazowego występują zmienne odkształcenia i naprężenia zginające. Ruch badanego odcinka rurociągu wyznaczono poprzez wizualizację zmian położenia rury w trakcie pracy. Wyznaczono odkształcenia i naprężenia gnące wybranego fragmentu rurociągu popartego na elastycznych podporach, na podstawie pomiarów drgań i ich częstotliwościowego obrazu w wybranych przekrojach rurociągu. Przeprowadzona analiza częstotliwościowa przyspieszeń drgań poszczególnych przekrojów rurociągu pozwoliła na

identyfikację pierwszej postaci drgań, a w dalszej kolejności wyznaczenie średniej i maksymalnej wartości zmiennych ugięć oraz naprężeń gnących. Wykazano, że wypadkowe odkształcenia wybranego odcinka rury, zmienne w czasie, są rezultatem superpozycji różnych odkształceń okresowych. Założono, że odkształcenia mają charakter sprężysty, a superpozycja różnych składowych zmiennych jest liniowa. Zgodnie z założeniami pracy, przeprowadzono analizę tylko jednej składowej okresowych odkształceń fragmentu rurociągu. Rezultaty badań potwierdzają hipotezę, że okresowe składowe zmiennych w czasie drgań wypadkowych rurociągu są wymuszane przez turbulencję przepływającego czynnika. **Podsumowując uzyskane wyniki badań można stwierdzić, że są one osiągnięciem naukowym Autora o znaczeniu także praktycznym. Hipoteza o występowaniu, podczas przepływu medium w rurociągach różnorodnych odkształceń i naprężeń okresowych, w tym pochodzących od zginania została eksperymentalnie potwierdzona. Cel pracy został osiągnięty.**

4. UWAGI KRYTYCZNE

4.1 Przeprowadzona w rozdziale 6.4 analiza widmowa sygnału przyśpieszeń drgań wykazała, że w widmie tym, oprócz przyjętej do rozważań pierwszej postaci drgań, występują również inne postacie drgań o dużej amplitudzie, w zakresie wyższych częstotliwości. Amplitudy odkształceń i naprężeń tych drgań mogą także osiągać znaczne wartości, które należałoby ocenić.

4.2 W rozdziale 6.6 wyznaczono zmienne wartości naprężeń gnących rurociągu w wybranych przekrojach. Brak jest w pracy dyskusji na temat uzyskanych wyników obliczeń tych naprężeń. Celowe byłoby wyznaczenie składowych statycznych naprężeń i porównanie z wartościami zmiennymi naprężeń gnących w ocenie wytrzymałości rurociągu.

4.3 Wnioski pracy zostały opracowane zbyt ogólnie, brak wniosków szczegółowych wynikających bezpośrednio z przeprowadzonych badań własnych.

4.4 Zauważono nieliczne usterki tekstu, opisu wykresów jak również błędy terminologiczne, które zaznaczono w tekście pracy.

5. OCENA KOŃCOWA PRACY

Uważam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska posiada wartości poznawcze i praktyczne w zakresie badań rurociągów, służących do przepływu cieczy dwufazowych. Na podstawie prezentowanych w pracy wyników analiz teoretycznych i eksperymentalnych uważam, że Autor rozwiązał zadanie badawcze i udowodnił słuszność ogólnie sformułowanej przez siebie hipotezy. Wykazał się przy tym wiedzą praktyczną i teoretyczną w zakresie projektowania i modelowania odkształceń i naprężeń rurociągów.

Na tej podstawie stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Marcina CHORZEWSKIEGO pt. „Modelowanie odkształceń i naprężeń rurociągu podczas przepływu czynnika roboczego” mieści się w dyscyplinie : budowa i eksploatacja maszyn oraz spełnia wymagania stawiane przez Ustawę o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym z dnia 14.03.2003r. i może być dopuszczona do publicznej obrony.

Andrzej Witek