

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Chorzewskiego, Doktoranta Stacjonarnych Studiów Doktoranckich WBMiP PW

Tytuł rozprawy: *Modelowanie odkształceń i naprężeń rurociągu podczas przepływu czynnika roboczego*

Promotor: *dr hab. inż. Waldemar Kurowski*

1. Charakterystyka rozprawy

W dotychczasowej praktyce inżynierskiej w obliczeniach wytrzymałościowych rurociągów uwzględniane są obciążenia mechaniczne spowodowane przede wszystkim przez ciśnienie czynnika roboczego oraz temperaturę powodującą rozszerzalność termiczną rurociągów. Ponadto w obliczeniach wytrzymałościowych przyjmuje się, że obciążenia działają na rurociąg w sposób statyczny. Tymczasem w wielu przypadkach, spotykanych w przemyśle, obciążenia mogą mieć charakter dynamiczny, wynikły z drgań rurociągu. Tego rodzaju sytuacja ma miejsce w przypadku dwufazowego przepływu czynnika roboczego przez rurociąg. Przepływowi dwufazowemu towarzyszy niestabilność parametrów czynnika, takich jak ciśnienie czy strumień masowy, co powoduje powstawanie drgań rurociągu. W efekcie w ścianie rurociągu powstają dodatkowe naprężenia dynamiczne, które nie są obecnie uwzględniane w obliczeniach wytrzymałościowych.

Kierując się powyższymi przesłankami, Doktorant w swojej rozprawie podjął temat modelowania naprężeń rurociągu pochodzących od obciążeń związanych z drganiami rurociągu. Z sformułowanej przez niego hipotezy wynika, że podczas przepływu medium w rurociągach występują różnorodne odkształcenia i naprężenia okresowe, między innymi odkształcenia i naprężenia pochodzące od zginania. Ze względu na skomplikowany charakter podejmowanego zagadnienia Doktorant podjął badania związane jedynie z naprężeniami pochodzącymi od zginania.

Praca składa się z dwóch części: teoretycznej oraz badawczej. W części teoretycznej dyplomant podjął próbę przedstawienia wpływu przepływu dwufazowego czynnika na drgania rurociągu. W tym celu przedstawił matematyczne opisy dotyczące przepływu płynu

przez ośrodek. W opisach wykorzystał powszechnie znane równania wynikające z zasad zachowania masy, energii i pędu. Jednak w dalszej części opisu, dotyczącego przepływu dwufazowego płynu przez rurociąg, wcześniej sformułowane matematyczne opisy nie zostały wykorzystane do wyjaśnienia zjawiska niestabilności parametrów w przypadku tego rodzaju przepływu. Doktorant posłużył się tutaj wykresami zaczerpniętymi z literatury.

W dalszej kolejności Doktorant przedstawił matematyczne opisy dotyczące rozkładu naprężeń przy zginaniu powłoki walcowej, które zostały częściowo wykorzystane w części badawczej. Dodatkowo w opisach wytrzymałościowych uwzględniono stan wiedzy stosowanej w projektowaniu rurociągów, dotyczący naprężeń termicznych oraz naprężeń spowodowanych przez ciśnienie czynnika roboczego. Jednak rozważane opisy nie zostały wykorzystane w pracy, np. do wykonania analizy porównawczej wartości poszczególnych naprężeń spowodowanych przez obciążenia rurociągu wynikłe z oddziaływania na ściankę rurociągu temperatury, ciśnienia, czy też wynikłe z drgań rurociągu.

Część badawcza pracy jest związana z rzeczywistym obiektem eksploatowanym w przemyśle. Badanym obiektem jest rurociąg współpracujący z reaktorem instalacji Kralingu Katalitycznego, przez który przepływają węglowodory w stanie dwufazowym. Ponieważ przepływ jest niestabilny, rurociąg podlega drganiom. Jak widać, obiekt badawczy został prawidłowo dobrany.

Doktorant opracował spójną procedurę postępowania przed przystąpieniem do wyznaczania przemieszczeń i naprężeń w rurociągu. Zawarte w zaproponowanej procedurze etapy postępowania, to:

- określenie geometrii badanego rurociągu,
- określenie miejsca montażu czujników pomiarowych, służących do wyznaczania przemieszczeń (przetworniki przemieszczeń) oraz przyspieszeń (akcelerometry) w wybranych punktach pomiarowych,
- akwizycja oraz obróbka sygnałów pomiarowych, wyznaczanie przebiegów czasowych przemieszczeń oraz przyspieszeń,
- analiza widmowa sygnałów pomiarowych przy użyciu metody FFT oraz z zastosowaniem stałej względnej szerokości pasma przepuszczenia,
- wyznaczenie naprężeń pochodzących od zginania rurociągu, w trakcie jego drgań.

Wynikiem zastosowania powyższej procedury było wykonanie szeregu wykresów, przedstawiających: przebiegi czasowe sygnału przyspieszenia rurociągu w wybranych punktach, przebiegi czasowe sygnału przemieszczenia rurociągu w wybranych punktach,

widmo FFT amplitudy sygnału przyspieszenia rurociągu w wybranych punktach, widmo przyspieszenia rurociągu w wybranych pasmach częstotliwości. Uzyskane wyniki pomiarów oraz analiza widmowa umożliwiły w dalszej kolejności wykonanie wykresów rozkładu momentów zginających, sił tnących oraz naprężeń wzdłuż rurociągu.

Autor słusznie zauważa, że naprężenia od zginania rurociągu są jednym z wielu typów naprężeń występujących w trakcie drgania rurociągu, co wynika z analizy widmowej, gdzie występują znacznie większe maksima lokalne, które niosą informacje o intensywności innych okresowych odkształceń rurociągu, większych od zginania. Autor rozprawy postuluje, żeby zaproponowaną metodykę badawczą rozszerzyć na badanie innych odkształceń okresowych. Autor zdaje sobie również sprawę, że wymagane są dalsze prace badawcze nad stanem naprężeń wynikłych z drgania rurociągu. Dlatego praca ma charakter poznawczy, a proponowane metody na obecnym etapie nie mają zastosowania inżynierskiego. Wymagane są dalsze badania, pozwalające na wypracowanie inżynierskich metod projektowania i diagnostyki rurociągów poddanym złożonym obciążeniom, pochodzącym nie tylko od temperatury oraz ciśnienia ale również drgań rurociągu.

Sformułowana przez Autora hipoteza stwierdzająca, że podczas przepływu czynnika roboczego w rurociągach występują różnorodne odkształcenia i naprężenia okresowe, między innymi odkształcenia i naprężenia pochodzące od zginania, została potwierdzona w pracy.

2. Uwagi i pytania do pracy

Z analizy treści zawartej w rozprawie nasuwa się wniosek, że niektóre rozdziały są zbędne lub nie na temat. Przykładowo rozdział 2.1 przedstawia matematyczne opisy jednofazowego przepływu płynu. Natomiast nie zamieszczono modeli cieplno-przepływowych dla dwufazowego przepływu płynu, któremu towarzyszą drgania rurociągu, a więc złożone naprężenia w ścianie rurociągu, między innymi naprężenia pochodzące od zginania stanowiące istotę badań w rozprawie. Wprawdzie w rozdziale 2.2 podjęto problematykę niestabilności w przepływie dwufazowym. Jednak nie wyjaśniono mechanizmu niestabilności, co można było uzyskać wykorzystując matematyczne opisy dla przepływu dwufazowego, których zabrakło w pracy.

W pracy nie przeprowadzono analizy porównawczej uzyskanych wartości naprężeń, pochodzących od zginania w wyniku drgań rurociągu, z wartościami naprężeń pochodzących od naprężeń termicznych, czy też naprężeń spowodowanych przez ciśnienie wewnątrz badanego rurociągu. W tej sytuacji brakuje konkluzji, czy z punktu widzenia bezpieczeństwa

i eksploatacji rurociągu należy w obliczeniach wytrzymałościowych uwzględniać naprężenia pochodzące od drgań?

W bibliografii nie zamieszczono listy najnowszych opracowań naukowych, dotyczących podjętej w rozprawie tematyki badawczej.

W pracy występują drobne błędy stylistyczne i interpunkcyjne. Występuje również szereg niezręcznych sformułowań zdań, np. „Ruch badanego fragmentu rury względem fundamentu jest sumą ruchu unoszenia i ruchu względnego”.

Nie wszystkie symbole występują w wykazie oznaczeń, co utrudnia ocenę pracy. Przykładowo, w r. (86) występuje jednostka [N/m], w r. (90) jednostka [1/m], a w wykazie oznaczeń jednostka bezwymiarowa. Czy opisy dotyczą różnych wielkości, stąd różne jednostki? Jeśli tak, dlaczego wielkości wyrażono tym samym symbolem?

W opisie równań występują błędne jednostki - dotyczy to np. r. (89).

3. Wniosek końcowy

Podsumowując opinię rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Chorzewskiego stwierdzam, że tematyka rozprawy została trafnie wybrana ze względu na możliwość zastosowania przemysłowego zaproponowanej metodyki. Wprawdzie praca ma charakter poznawczy, a uzyskane wyniki nie mają bezpośredniego przełożenia na zastosowanie przemysłowe, to jednak informacje zawarte w pracy stanowią materiał źródłowy do kontynuacji problematyki projektowania inżynierskiego rurociągów z uwzględnieniem zjawiska drgania rurociągu.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska pt. „Modelowanie odkształceń i naprężeń rurociągu podczas przepływu czynnika roboczego” spełnia wymagania określonego ustawą „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuk” (Dz. U. nr 65 poz. 595, z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Marcina Chorzewskiego do publicznej obrony.

