

Prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak, dr h.c.
Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Politechnika Świętokrzyska

Opinia

o rozprawie doktorskiej mgr inż. Macieja Szudarka pt. „Modelowanie wybranych właściwości przepływomierzy z oscylatorem mechanicznym.”

Promotor rozprawy dr hab. inż. Mateusz Turkowski, prof. PW

Podstawa opracowania recenzji: zlecenie Dziekana Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej.

I. Zakres i cel rozprawy

1. Przedstawiona do recenzji rozprawa składa się z 10 rozdziałów, zawiera 144 strony, w tym 94 rysunków i 12 tabel. W pracy należy wyodrębnić dwie główne części:

Cześć 1 – obejmuje wprowadzenie dotyczące uzasadnienia podjęcia pracy i przedstawienie jej struktury (rozdział 1), a także przegląd literatury odnoszący się do przepływomierzy oscylacyjnych z ruchomym elementem i przedstawieniem ich znanych modeli analitycznych oraz przeprowadzenie porównań z innymi typami przepływomierzy.

Cześć 2 – dotyczy właściwej części pracy obejmującej istotę rozwiązanych problemów. Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury ustalił autor cele pracy wyodrębniając cel główny odnoszący się do rozszerzenia badań nad przepływomierzami z oscylatorem mechanicznym, aby zwiększyć zakres ich zastosowania (rozdział 3). Aby zrealizować cel główny ustalono sześć celów szczegółowych dotyczących:

- oceny możliwości modelowania przepływomierzy,
- wyznaczenie czynników wpływających na charakterystykę liniowości krzywej błędu, gdyż dotychczas przeprowadzono badania w ograniczonym zakresie;
- przeprowadzenie weryfikacji optymalnego kształtu oscylatora z uwzględnieniem wpływu różnych czynników na właściwości metrologiczne i użytkowe badanego przepływomierza, gdyż takich badań dotychczas nie zrealizowano,
- przeprowadzenie prac eksperymentalnych dotyczących wpływu pulsacji przepływu i zaburzeń dolotowego profilu prędkości na funkcjonowanie przepływomierza oraz przeprowadzenie badań wpływu chropowatości powierzchni rury wlotowej na właściwości metrologiczne (wymienione prace wymagały szczegółowej analizy, gdyż nie były dotychczas realizowane),
- przeprowadzenie prac eksperymentalnych w warunkach odnoszących się do różnych rodzajów cieczy, gdyż dotychczas uwzględniano tylko wodę i płynną siarkę.

Natomiast w rozdziale 4. przedstawiono i opisano stanowisko do przeprowadzonych badań eksperymentalnych obejmujących wybór odpowiedniego przepływomierza. Do każdego elementu pomiarowego zastosowanego na stanowisku badawczym zostały zgodnie z Głównym Urzędem Miar ustalone rozszerzone niepewności pomiaru.

Do już istniejącego stanowiska do kalibracji pomiaru objętości wody, które rozbudowano w celu możliwości badania pulsacji, a także wykonano specjalne instalacje powietrza niskociśnieniowego zapewniając odpowiedni przepływ.

Autor opracował również model numeryczny badanego przepływomierza korzystając z obliczeń stosowanych w mechanice płynów (rozdział 5). Rozdział ten zawiera wprowadzenie do tej problematyki wykonane na podstawie przeglądu literatury. W przeprowadzonym modelowaniu wykorzystano doświadczenia i oprogramowanie Interdyscyplinarnego Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego Uniwersytetu Warszawskiego. W modelowaniu tym ustalono parametry geometryczne oscylatora i przyjęto w oparciu o doświadczenia przemysłowe warunki brzegowe.

Natomiast w rozdziale 6. dokonano symulacyjnych badań opracowanego modelu. Dokonane analizy wykazały, że badany przepływomierz ma tendencje do powstawania histerezy jego parametrów w stosunku do położenia kąowego dla płaszczyzn roboczych przegród i tylnych powierzchni. Ten zbudowany model matematyczny pozwolił na opracowanie metody poprawy liniowości krzywej kalibracji.

Z kolei w rozdziale 7. autor przedstawił koncepcje poprawy wydajności przepływomierza w oparciu o kolekcję przyjętych parametrów geometrycznych jego elementów, głównie pod kątem ich kształtu. W rozdziale tym zaproponowano również metodykę badania trwałości zastosowanych łożysk z ostrzem nożowym w oparciu o zbudowane specjalne oryginalne stanowisko badawcze.

W pracy również dokonano oceny różnorodnych ograniczeń powodujących zakłócenia przepływów analizując m. in. wpływ różnych mocowań na tzw. profil prędkości, a także błędów montażowych. W rozdziale tym ustalono również wpływ chropowatości powierzchni ścianek rur na wynik pomiaru natężenia przepływu.

Natomiast w rozdziale 9. przedstawiono prace eksperymentalne w warunkach kriogenicznych wykorzystując modelowe stanowisko kalibracyjne. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że przepływomierze z oscylatorem mechanicznym mogą być przydatne w pomiarach płynów kriogenicznych, co może mieć duże zastosowanie w praktyce przemysłowej.

Rozdział 10. zawiera wnioski końcowe, które odnoszą się do opracowania bardzo przydatnych wymagań dotyczących instalowania przepływomierzy z oscylatorem mechanicznym.

Zweryfikowano model CFD przepływomierza z oscylatorem mechanicznym, co pozwoliło na większe jego wykorzystanie w warunkach przemysłowych.

Stwierdzono, że na poprawę liniowości krzywej wzorcowania ma wpływ kształt profilu przepływu wlotowego do przepływomierza.

Zostały zweryfikowane i rozszerzone badania dotyczące optymalnego kształtu oscylatora, co pozwoliło na opracowanie zaleceń projektowych.

Z przytoczonych 127 pozycji literaturowych zdecydowana większość odnosi się do zagadnień merytorycznych związanych z rozprawą, z czego wyodrębniono jeden współautorski artykuł doktoranta. W przedstawionym wykazie publikacyjnym pominał pozycje literaturowe, które bezpośrednio odnoszą się do tematyki niepewności pomiarów, np. Arendalski J.: Niepewność pomiarów. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2003, Piotrowski S., Kostyrko K.: Wzorcowanie aparatury pomiarowej, PWN, Warszawa 2000, Taylor J.R.: Wstęp do analizy błędów pomiarowych PWN Warszawa 1999, Tużeniecka D.: Ocena niepewności wyników pomiarów, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1997.

Ponadto pominięto literaturę dotyczącą właściwości metrologicznych i użytkowych narzędzi pomiarowych, głównie zawartych w dokumentach normalizacyjnych i w przewodnikach Głównego Urzędu Miar.

Należy stwierdzić, że brak niektórych pozycji literaturowych nie umniejsza znacznej wartości przedstawionego materiału tym bardziej, że autor w swojej rozprawie przytacza swoje publikacje ośrodka naukowego, w którym

doktorant realizował recenzowaną rozprawę doktorską. Przedstawiona do opinii rozprawa doktorska jest napisana poprawnie. Układ pracy jest właściwy, gdyż zawiera wszystkie niezbędne elementy, takie jak:

- określenie na podstawie literatury stanu wiedzy,
- podanie celów pracy,
- zaprezentowanie własnych osiągnięć w obszarze badań teoretycznych i eksperymentalnych.

2. Uzasadnienie podjęcia tematu i przyjęcia celów pracy

Jednym z najważniejszych problemów we współczesnej technice jest konieczność przesyłowania materiałów energetycznych w postaci cieczy lub gazu, gdyż wszystkie obszary aktywności współczesnego człowieka potrzebują coraz więcej źródeł energii, do których zalicza się w głównej mierze ropę i gaz ziemny. Ze względów oszczędnościowych w celu przesyłu tych materiałów energetycznych budowane są rurociągi i gazociągi, które zaczynają odgrywać ogromną rolę w gospodarce lokalnej i globalnej. Jak wykazuje praktyka występują istotne problemy w eksploatacji tych urządzeń, głównie w obszarze pomiaru natężenia przepływu przesyłanych materiałów energetycznych. W związku z tym stale pojawia się problem nowych rozwiązań do dokładniejszego pomiaru przepływów jednofazowych i wielofazowych głównie wykorzystanych do stosowania przy zabiegach rozliczeniowych zakupu i sprzedaży skroplonego gazu ziemnego. Odczuwa się sposób zdecydowany brak przepływomierzy do powszechnego wykonania pomiaru ilości na przykład przewożonego gazu w cysternach. Bo problem pomiaru w terminalach importowanego LNG jest w gruncie rzeczy poprawnie rozwiązany.

Dlatego też przedstawione przez autora główne cele pracy dotyczące rozszerzonych badań przepływomierzy z oscylatorem mechanicznym w aspektach wymagań konstrukcyjnych i eksploatacyjnych, zwłaszcza z uwzględnieniem ich właściwości użytkowych i metrologicznych, są całkowicie uzasadnione.

II. Ocena merytoryczna pracy

Z przedstawionej recenzji pracy, która dotyczy dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna można uwzględnić niżej podane oryginalne elementy:

1. Przedstawienie dokładnej i krytycznej analizy literatury obejmujące 127 pozycji w dużej większości zagranicznej reprezentującej wiele ośrodków naukowych.
2. Przeprowadzenie dokładnej i wnikliwej oceny wytypowanych do badań przepływomierzy z oscylatorem mechanicznym.
3. Opracowanie modelu numerycznego w oparciu o współpracę z Uniwersytetem Warszawskim
4. Przeprowadzenie walidacji zbudowanego modelu pod kątem jego przydatności do badań symulacyjnych.
5. Dokonanie dokładnej analizy działania przepływomierzy z oscylatorem mechanicznym z uwzględnieniem ustalonych zagrożeń poprawności ich funkcjonowania.
6. Przeprowadzenie badań z uwzględnieniem szczególnych parametrów konstrukcyjnych do sprawdzenia poprawności funkcjonowania badanych przepływomierzy.
7. Ustalenie wymagań eksploatacyjnych pod kątem wykonania poprawnych pomiarów natężenia przepływów.
8. Przeprowadzenie wnikliwych badań eksperymentalnych z wykorzystaniem unikatowych na skalę międzynarodową stanowisk badawczych, takich jak: zestaw urządzeń do kalibracji i przepływomierzy, stanowisko do badań trwałości łożysk nożowych oraz stanowisko do badań pulsacji przepływów.

Oceniając pozytywnie niniejszą pracę chciałbym przedstawić kilka uwag polemicznych i krytycznych:

1. Zaproponowany i zrealizowany do wykonania program badawczy dotyczący badań przepływomierzy z oscylatorem mechanicznym głównie odnosił się do analiz związanych z jego konstrukcją. Natomiast jak deklarował autor rozprawy praca miała dotyczyć problematyki właściwości metrologicznych i użytkowych przepływomierza, jako urządzenia metrologicznego.
Uważam jednak, że te właściwości zgodnie z podstawami metrologii nie zostały przeanalizowane. Oczekuję, że podczas obrony doktorant przedstawi te właściwości metrologiczne i użytkowe analizowanych przepływomierzy.
2. Autor do badań eksperymentalnych wykorzystał oryginalne stanowiska badawcze. Jednak z tekstu rozprawy nie wynika, że one zostały zaprojektowane i zbudowane w ramach zrealizowanej pracy, ale może są one już w dyspozycji laboratorium, z którego doktorant korzystał.
3. Przedstawiona do recenzji praca doktorska ujmuje bardzo ważny problem stosowania w praktyce dystrybucji gazu przepływomierzy z oscylatorem mechanicznym pod kątem zagadnień metrologicznych. Z tego względu dyskusyjne jest umieszczenie istotnych zagadnień analizy błędów w załącznikach. Efektywna taka analiza pozwoliłaby na ocenę, o ile przeprowadzone prace badawcze spowodowałyby poprawę niepewności pomiaru.
4. Autor przy ocenie budżetu błędu sprowadził swoje rozważenia do ustalenia tzw. niepewności typu B. Wydaje się, że byłoby wskazane, aby dla takiego zmodyfikowanego przepływomierza dokonać ustalenia niepewności typu A i porównać z niepewnością dotychczas stosowanych przepływomierzy. Taka analiza mogłaby potwierdzić, że dokonane rozważania teoretyczne i praktyczne doprowadzają do poprawy podstawowych właściwości metrologicznych dotyczących wierności, poprawności i dokładności pomiarów, a kompleksowo ujmując niepewności pomiarów stosowanych przepływomierzy. Przecież metrologia, jako nauka głównie eksperymentalna odnosi się do zabiegów porównawczych.
5. Autor w swoim wykazie literatury powołuje się na wynalazki zastrzeżone w dokumentach Urzędu Patentowego RP autorstwa promotora rozprawy. Wydaje się celowe dokonanie analizy proponowanych zmian konstrukcyjnych, które kwalifikowałyby do zgłoszenia nowych wynalazków odnoszących się do przepływomierzy.
6. Autor w swojej rozprawie dokonał analizy wpływu chropowatości powierzchni rur wlotowych, ale pominięto inne rodzaje nierówności powierzchni, tj. falistość i zarys kształtu. Z punktu widzenia posiadanej intuicji wydaje się, że na jakość przepływu będzie miał przede wszystkim zarys kształtu ustalony za pomocą odpowiedniego błędu.
7. Autor podaje, że przeprowadzone badania mają charakter unikatowy. Wydaje się, że jest to stwierdzenie może zbyt przesadne i mało skromne. Problem dystrybucji skroplonego gazu jest zagadnieniem obejmującym sfery ogromnego biznesu i z tego względu można sformułować przypuszczenie, że istnieją z pewnością doskonale rozwiązania oceny ilości dystrybuowanego gazu, ale ze względów komercyjnych mogą być one niepublikowane.

Należy stwierdzić, że przedstawione powyżej uwagi krytyczne mają w dużej mierze charakter polemiczny i dyskusyjny. Mogą być one kierunkiem dalszych badań i rozważań doktoranta odnośnie rozpatrywanych przepływomierzy.

III. Ocena końcowa pracy

Analizując opiniowaną pracę stwierdzam, że kompleksowa jej ocena jest pozytywna. Na taką oceną składają się niżej podane stwierdzenia:

1. Opiniowana rozprawa doktorska dotyczy ważnych problemów inżynierii mechanicznej odnoszących się do badań przepływomierzy z oscylatorem mechanicznym, głównie pod kątem zmian konstrukcyjnych i użytkowych.
2. Badania zostały przeprowadzone poprawnie pod względem metodologicznym, a wnioski wynikające z tych badań i analiz zostały odpowiednio sformułowane.

3. Praca wnosi szereg informacji z zakresu możliwości wykorzystania metod numerycznych do modelowania urządzeń pomiarowych.
4. Wyniki przeprowadzonych prac badawczych mogą mieć duże znaczenie użytkowe w dystrybucji gazu, a także innych różnorodnych cieczy.

Autor w pracy wykazał się także:

- znaczną wiedzą w zakresie modelowania numerycznego i przeprowadzenia eksperymentalnych badań stanowiskowych,
- umiejętnością korzystania z literatury naukowej i technicznej,
- umiejętnością opracowania odpowiedniego programu badawczego, przyjęciem odpowiedniej metodyki badawczej, umiejętnością prowadzenia badań teoretycznych i eksperymentalnych,
- zdolnością poprawnego wnioskowania.

Na podstawie powyższych stwierdzeń wyrażam opinię, że przedstawiona rozprawa doktorska pt. „Modelowanie wybranych właściwości przepływomierzy z oscylatorem mechanicznym: spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim i może być dopuszczona do publicznej obrony, a po jej pomyślnym przebiegu może być podstawą nadania mgr inż. Maciejowi Szudarkowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

St. Adamczyk

