



DODATKOWA RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: „Analiza właściwości metrologicznych przepływomierzy próbkujących z czujnikami powierzchniowymi”.

Autor rozprawy: Mgr inż. Witold KRIESER

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Stanisław WALUŚ, prof. nzw. w Politechnice Śląskiej

„Dodatkową recenzję” wykonałem w związku z wnioskiem Komisji, która zaleciła poprawę rozprawy doktorskiej. Poprawiona rozprawa zawiera 151 stron i podzielona jest na 8 rozdziałów, wykaz symboli, literaturę i 2 załączniki (brak załącznika 3). W spisie literatury wykazano 107 pozycji.

Poprawiony tekst do rozdziału „7. Weryfikacja doświadczalna” nie uległ zmianie poza zmniejszeniem liczby symboli w ich wykazie. Od rozdziału 7 tekst uległ radykalnej zmianie. Zostało to podyktowane zrealizowaniem przez Doktoranta programu doświadczalnego wyznaczania współczynników wzorcowania oraz opracowania „Budżetu niepewności”. Program doświadczalny został zrealizowany na stanowisku pomiarowym w laboratorium Instytutu Mechaniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej.

1. Cel rozprawy

Cel rozprawy pozostał bez zmian, stąd jego zapis pozostawiam w treści jak podałem w „Recenzji pierwotnej”:

„Pomiary strumienia masy lub strumienia objętości płynów należą do jednych z najczęściej spotykanych pomiarów w procesach przemysłowych. Obserwuje się przy tym wzrost wymagań odnośnie dokładności pomiaru. Są to pomiary trudne i kosztowne z uwagi na stosowane przepływomierze oraz sposoby ich instalowania w obiektach technologicznych. Na tle znacznej różnorodności przepływomierzy, w których wykorzystuje się różne zjawiska fizyczne, wyróżnić można korzystne walory przepływomierzy próbkujących. Wyznaczenie strumienia masy lub objętości w przepływomierzu próbkującym dokonuje się na podstawie wartości prędkości mierzonej czujnikiem prędkości, znajomości pola przekroju przepływowego oraz współczynnika wzorcowania.

Z przeglądu literatury dokonany przez Doktoranta widoczny jest trend w rozwoju rozwiązań przepływomierzy próbkujących oraz możliwości spełnienia wymagań metrologicznych, przy równoczesnym zmniejszeniu kosztów przepływomierzy. Na tym tle Doktorant wywnioskował, iż: „W literaturze można spotkać współczynniki wzorcowania dla wybranych konkretnych czujników i sytuacji pomiarowych, natomiast zagadnienie nie zostało wyczerpane na tyle, aby podane wyniki analizy teoretycznej mogły być zastosowane w prawie każdym przypadku praktycznym”. Należy z tego przeglądu wnioskować, że istnieje

uzasadnienie na podjęcie w doktoracie tematyki zawartej w tytule pracy”.

2. Teza pracy

Zapis dotyczący „tezy pracy” pozostaje bez zmian:

„Doktorant sformułował tezę pracy w następujący sposób:

„Analiza modeli matematycznych urządzeń pierwotnych przepływomierzy próbkujących z czujnikami jednopowierzchniowymi umożliwi wyznaczenie wzorów na współczynnik wzorcowania, pozwalających na wzorcowanie pośrednie (na podstawie modelu matematycznego) przepływomierza oraz na określenie położenia i rozmiaru czujnika, przy którym współczynnik ten zmienia się w jak najmniejszym zakresie”.

W tak sformułowanej tezie pracy widać jasno kierunek niezbędnych dociekań teoretycznych i weryfikacji doświadczalnej, które są bezpośrednio związane z celem pracy”.

3. Zakres rozprawy

Zakres rozprawy nie uległ zmianie i pozostaje bez zmian:

„Zakres rozprawy wynika ze sformułowanej tezy. Doktorant zawarł go w następujących celach badawczych:

1). Obliczenie współczynników wzorcowania dla różnych rozkładów prędkości oraz różnych konfiguracji urządzenia pierwotnego przepływomierza próbkującego. Rozważania dotyczą stanu ustalonego zaś dynamika płynów nie jest brana pod uwagę.

2). Analiza przypadków z modelami matematycznymi osiowosymetrycznych rozkładów prędkości w przewodach zamkniętych kołowych w oparciu o modele zaczerpnięte z literatury. Są to modele dla przepływów: a). laminarnego, b). turbulentnego (wzór uniwersalny, wzór trójskładnikowy, wzór potęgowy Prandtla), c). przejściowego. Rozpatruje się normalne warunki przepływu oraz odbiegające od normalnych.

3). Zakres pracy ogranicza się do analizy przepływomierzy próbkujących z pojedynczymi czujnikami powierzchniowymi o powierzchniach czynnych: prostokątnej i kołowej. Czujniki powierzchniowe są umieszczone w średnicy rurociągu lub cięciwie rurociągu.

4). Weryfikacja doświadczalna wyznaczonych teoretycznie współczynników wzorcowania”.

4. Zawartość rozprawy

Opis zawartości rozprawy do rozdziału „6. Aspekt praktyczny - ...” włącznie pozostaje bez zmian. Opis od rozdziału „7. Weryfikacja doświadczalna” uległ całkowitej zmianie:

„Rozdz.1. poświęcony jest omówieniu literatury dotyczącej różnego rodzaju przepływomierzy. Na tym tle Doktorant wykazał, iż: „W literaturze można spotkać współczynniki wzorcowania dla wybranych konkretnych czujników i sytuacji pomiarowych, natomiast zagadnienie nie zostało wyczerpane na tyle, aby podane wyniki analizy teoretycznej

mogły być zastosowane w prawie każdym przypadku praktycznym”.

Rozdz. 2 zawiera ogólne omówienie zjawiska przepływu płynu w przewodach zamkniętych, pomiaru strumienia objętości za pomocą przepływomierzy próbkujących z różnymi czujnikami. W tym rozdziale zdefiniowany jest współczynnik wzorcowania i schemat wyznaczania strumienia objętości płynu metodą próbkującą. Sformułowano tezę pracy oraz zakres pracy, związany z wyborem modeli matematycznych rozkładów prędkości oraz czujników powierzchniowych.

W rozdz. 3 omówione są modele matematyczne rozkładu prędkości w przewodach zamkniętych o kołowym przekroju poprzecznym, przyjęte z literatury do analizy metrologicznej.

W rozdz. 4 stanowi pierwszy fragment realizacji celów rozprawy i zawiera analizę metrologiczną przepływomierzy próbkujących z czujnikami powierzchniowymi o powierzchni prostokątnej. Wyprowadzono zależności na współczynniki wzorcowania dla osiowosymetrycznych rozkładów prędkości w warunkach normalnych oraz odbiegających od normalnych. Uwzględniono umieszczenie czujników w średnicy rurociągu oraz cięciwie. Wyliczone wartości współczynników czułości zawarto w tablicach oraz w postaci wykresów. Dla każdego przypadku sformułowano wnioski.

Rozdz. 5 stanowi drugi fragment realizacji celów rozprawy i zawiera analizę metrologiczną przepływomierzy próbkujących z czujnikami powierzchniowymi o powierzchni kołowej. Schemat postępowania jak i sposób prezentowania wyników są takie same jak w rozdz. 4.

Rozdz. 6 poświęcony jest aspektom praktycznym doboru przepływomierzy próbkujących. Doktorant w oparciu o wnioski wynikające z przeprowadzonych analiz, znajomość rynku przepływomierzy oraz doświadczenia w stosowaniu przepływomierzy próbkujących, zaproponował etapową metodykę doboru przepływomierzy próbkujących z czujnikami powierzchniowymi dla konkretnych zastosowań. Ustalił jakie dane powinien użytkownik dostarczyć projektantowi aby metoda etapowa mogła być wykorzystana”.

Rozdz. 7 zawiera opis weryfikacji doświadczalnych. Doktorant opisał metodykę weryfikacji doświadczalnej. Opisał stanowisko pomiarowe w laboratorium Instytutu Mechaniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej. Określił zakres weryfikacji wynikający z możliwości zmian parametrów stanowiska pomiarowego oraz wykorzystanych metod wyznaczania prędkości średnich. W pkt. 7.8. Doktorant podał sposoby szacowania niepewności prędkości określonej metodą pierścieni dla anemometru oraz prędkości określonej z wykorzystaniem zwężki. Podał wyniki różnic ocen teoretycznych i doświadczalnych współczynników wzorcowania.

Rozdz. 8 zawiera podsumowanie tego co w ramach rozprawy Doktorant dokonał. Z racji wykonania szerszego zakresu weryfikacji doświadczalnych, wnioski z pracy są bardziej wiarygodne. Byłyby bardziej wyraziste gdyby je formułowano w punktach i skrótowo.

5. Wyniki rozprawy

Na wstępie dodatkowej recenzji pragnę zaznaczyć, iż stwierdzenie w „Recenzji pierwotnej: „Doktorant wykonał zadania wymienione w „Zakresie rozprawy”, przy

ograniczonej weryfikacji doświadczalnej”, przestaje być aktualne z racji wykonanej weryfikacji doświadczalnej. Wyznaczanie współczynników wzorcowania dokonywał w jednolity sposób dla poszczególnych rozkładów prędkości, rodzajów czujników oraz sposobu ich umieszczenia. Po każdej takiej analizie Doktorant formułował wnioski cząstkowe, które miały przemawiać za słuszością sformułowanej w rozprawie tezie.

Praca ma charakter teoretyczno-doświadczalny. Za *główne osiągnięcia Doktoranta* uważam:

- 1). Wyznaczenie współczynników wzorcowania dla osiowosymetrycznych rozkładów prędkości w warunkach normalnych i odbiegających od normalnych, dla czujników powierzchniowych prostokątnych i kołowych.
- 2). Ustalenie parametrów modeli rozkładów prędkości, zależnie od charakteru przepływu oraz sposobu umieszczenia czujnika i jego rozmiaru, przy których współczynnik wzorcowania zmienia się w jak najmniejszym zakresie.
- 3). Sformułowanie etapowej metody doboru przepływomierzy próbujących z czujnikami powierzchniowymi.
- 4). Weryfikację doświadczalną wyznaczenia współczynników wzorcowania w zakresie pozwalającym na ocenę praktycznej przydatności na etapie „wstępnej analizy metrologicznej przepływomierzy próbujących z czujnikami powierzchniowymi”

Przy tych osiągnięciach można przyznać słuszość stwierdzeniu Doktoranta w „Podsumowaniu...”: „Autorowi udało się udowodnić postawioną tezę”. Nadal można oczekiwać w przyszłości dalszego rozszerzenia zakresu weryfikacji doświadczalnej.

6. Uwagi

Uwagi ogólne

Na tle przedstawionych w rozprawie wyników nasuwają się następujące uwagi natury ogólnej:

- 1). Czy istnieje możliwość postępowania podobnie jak w przypadku przepływomierzy zwężkowych? Przyjęcie jednego modelu rozkładu prędkości w przewodach zamkniętych dla wszystkich przypadków. Szczegółowe zróżnicowanie przypadków, zależnie od charakteru przepływu, nastąpi przez znalezienie właściwego wyrażenia na współczynnik wzorcowania. Będzie on miał takie samo znaczenie jak współczynnik przepływu C w przepływomierzach zwężkowych.
- 2). Doktorant przewidywał dokonanie zestawienia współczynników wzorcowania dla różnych rozkładów prędkości. Są one omówione jednak oddzielnie dla każdego rozkładu, z wnioskami dotyczącymi wpływu kształtu czujnika oraz odległości czujnika od osi rurociągu na współczynnik wzorcowania. W ogólnym zestawieniu porównawczym może być bardziej czytelne porównanie punktów (obszarów) niezależności współczynników wzorcowania od parametrów: m , b , n , h , k , położenia czujnika oraz liczby Re .

3). W rozprawie Doktorant przyjął do analizy przypadek rozkładu prędkości osiowosymetryczny odbiegający od normalnego. Jak sam Doktorant stwierdza, za zniekształcony rozkład prędkości rozumie się zazwyczaj rozkład, który nie jest osiowosymetryczny. Skąd zatem ten wybór i czym ten charakter nienormalności może być wywołany?

4). Rozprawa poświęcona jest przepływomierzom, dzięki którym będzie można mierzyć strumień objętości lub strumień masy płynów. Wyniki pomiarów będą określone wówczas gdy będzie możliwa ocena niepewności pomiarów. Odnośnie tego problemu Doktorant wyraził swoje zdanie w zakończeniu Załącznika 1 wersji pierwotnej rozprawy: „*Jak widać określenie niepewności strumienia objętości obliczonego przepływomierzem próbkującym z czujnikiem powierzchniowym jest bardzo złożoną operacją. W pracy tej tylko zasygnalizowano problem i pokazano tylko częściową analizę, gdyż nie jest to podstawowym przedmiotem zainteresowania autora rozprawy doktorskiej*”. W wersji poprawionej rozprawy Doktorant zmienił zdanie i opracował „Budżet niepewności”. Na czym polega zatem złożoność oceny niepewności?

5). Przy obliczaniu niepewności prędkości metodą pierścieni dla anemometru wyznaczono niepewności rozszerzone wg zależności (7.8). Przy obliczaniu niepewności prędkości dla zwężki korzystano z zależności (7.11) na niepewność standardową złożoną wg zależności (7.11) i (7.17) zgodnie z normą PN-EN ISO 5167-1. Zależność (7.17) w pracy doktorskiej służy do obliczania niepewności standardowej złożonej. W normie natomiast zależność (7.17) służy do obliczenia niepewności rozszerzonej. Czy zatem porównanie niepewności w metodzie pierścieniowej i metodzie ze zwężką jest poprawne?

6). Jaki zakres weryfikacji doświadczalnej został dokonany w stosunku do przeprowadzonej w rozprawie analizy teoretycznej?

Uwagi szczegółowe

Uwagi szczegółowe omówione z Doktorantem w odniesieniu do wersji pierwotnej rozprawy zostały zasadniczo uwzględnione przy redakcji wersji poprawionej. Nadal warto wymienić ważniejsze, które są aktualne w stosunku do wersji poprawionej:

1). W rozdziale: 8. *Podsumowanie i wnioski końcowe*, zasadniczo zawarto samo podsumowanie. Wnioski końcowe są częściowo zawarte w poszczególnych rozdziałach. Należało je, po bardziej zwięzłym podsumowaniu, przytoczyć ponownie w streszczonej formie.

2). We wzorze (4.55) granice całkowania powinny być zmienione na granice odpowiadające czujnikowi umieszczonemu w cięciwie.

3). W przekroju całej rozprawy w tablicach z danymi uwzględnia się wiele miejsc znaczących. Czym to jest uzasadnione?

4). Czy przy wyznaczaniu wartości składowych niepewności standardowych u_i we wzorze (7.17) dla d , D , Δp , g , Δh przedziały graniczne powinny być podwojone?

5). Powinno się stosować obowiązujące nazewnictwo:

- na str.9 liczba Re wyraża stosunek odwrotny niż tam podano,

- na str. 127 zamiast „różniczka zupełna” powinno być „pochodna cząstkowa”,
- na str. 133 zamiast „współczynnik ekspansji” powinno być „liczba ekspansji”.

7. Wniosek końcowy

W podsumowaniu recenzji pragnę podkreślić, iż oceniam pracę pozytywnie. Na pozytywną ocenę zasługuje wkład Doktoranta w wyznaczenie współczynników wzorcowania, dzięki czemu zostały ustalone rozmiary i położenia czujników, przy których współczynnik wzorcowania zmienia się w jak najmniejszym zakresie. Uwagi ogólne nie stwarzają okazji do podważenia pozytywnych wyników pracy, lecz jedynie są zachętą do podjęcia dyskusji podczas obrony pracy doktorskiej.

Recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania ustawy z dnia 14 marca 2003 roku „o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki”. Wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

J. Figurski