

Bezinwazyjne pomiary przepływu, czyli rozprawa z mitami – cz. 2

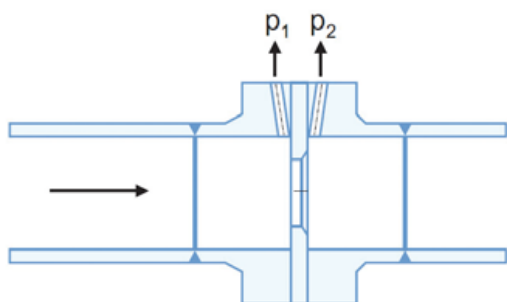
Zjawiska przepływowe związane z ruchem płynu są zagadnieniami złożonymi. Pomiary przepływu cieczy lub gazów są możliwe do prowadzenia w różnorodny sposób, przy wykorzystaniu szeregu metod i urządzeń pomiarowych, które wciąż ulegają postępowi technologicznemu. Wiele z tych metod jest standardowymi rozwiązaniami pomiarowymi stosowanymi od lat. Ale czy są one faktycznie przysłowiowym „złotym środkiem”?

Kontynuując „Akademię automatyki” z poprzedniego numeru porównajmy zatem różne metody w odniesieniu do często niedocenianych bezinwazyjnych przepływomierzy ultradźwiękowych.

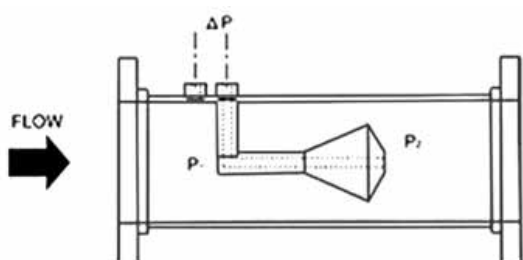
ODCINKI PROSTE

W specyfikacji technicznej oraz wymogach instalacyjnych u każdego producenta przepływomierzy znajduje się informacja o wymaganiach zachowania prostego odcinka przed oraz za miejscem – lokalizacją montażu przepływomierza. Ma to związek z profilem przepływu, którego istotę opisaliśmy w poprzednim numerze „Pod kontrolą”. Różne przepływomierze z uwagi na mnogość dostępnych metod pomiarowych będą reagować bardzo różnie na lokalizację ich zamontowania.

PRZEPŁYWOMIERZE RÓŻNICY CIŚNIEŃ

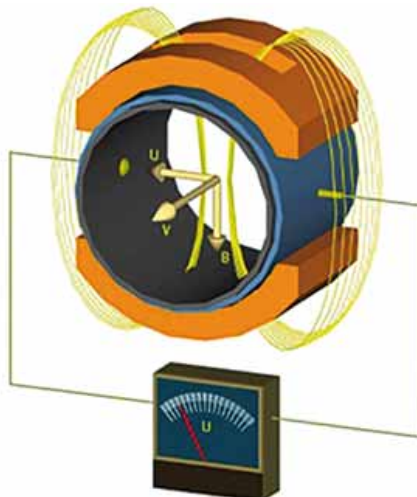


Przepływomierze te bazują na pomiarze spadku ciśnienia w płynącym płynie, spowodowanego zwężeniem wewnątrz rurociągu. Metoda ta została zastosowana zgodnie z teorią Daniela Bernoulliego sformułowaną w XVIII w. Ogólne określenie przepływomierzy różnicy ciśnień dotyczy kryz, zwężek Ventouriego, dysz oraz elementów stożkowych. Zaburzony profil przepływu może doprowadzić w tym przypadku do odchyżeń wskazań względem wartości rzeczywistej natężenia przepływu. W większości przypadków zawirowania obecne w przepływie powodują wskazywanie przez urządzenia wartości niższych niż wartości rzeczywiste. W przypadku elementów stożkowych, w niektórych przypadkach nie wymaga się spełnienia zachowania odcinków prostych. Wówczas elementy pomiarowe (stożki) same w sobie są swego rodzaju prostownicą przepływu.



PRZEPŁYWOMIERZE ELEKTROMAGNETYCZNE

Ten typ przepływomierza nadaje się wyłącznie do mediów przewodzących i mierzy spadek napięcia indukowany przez przepływającą ciecz w polu elektromagnetycznym. Producenci sugerują zachowanie odcinka prostego o długości co najmniej 5x DN, ale generalnie można stwierdzić, że przepływomierze elektromagnetyczne nie są tak bardzo wrażliwe na zaburzenie profilu przepływu, jak inne typy przepływomierzy.



Przepływomierz elektromagnetyczny – schemat

Przepływomierz różnicy ciśnień – schemat

PRZEPŁYWOMIERZE TURBINKOWE

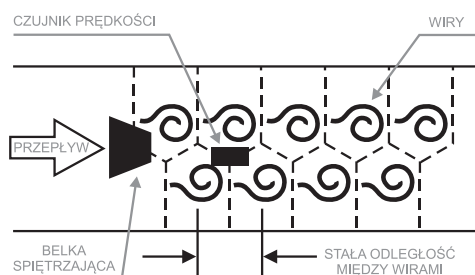
Wpływ zaburzeń profilu przepływu w przepływomierzach turbinkowych jest dość silnie uzależniony od konstrukcji łopatek turbinki. Jeżeli zawirowania ułożone będą w tym samym kierunku w jakim następuje obrót łopatek, wówczas zawirowania spowodują zwiększenie prędkości obrotowej. Wynikiem tego będzie zawyżanie wskazań mierzonego przepływu. W odwrotnej sytuacji, kiedy zawirowania występują w przeciwnym kierunku, urządzenie będzie zaniżało wskazania.

PRZEPŁYWOMIERZE WIROWE (VORTEX)

Ten typ przepływomierzy pracuje w oparciu o celowe wymuszenie zaburzenia, które ma na celu wygenerowanie wirów w płynącej strudze. Natężenie przepływu obliczane jest przez monitorowanie częstotliwości tworzenia się wirów. Oznacza to, że dodatkowe zaburzenia w przepływie mogą negatywnie wpłynąć na obliczenia i tym samym wskazania przepływomierza. W niektórych przypadkach może być wymagane zastosowanie odcinka prostego o długości ok. 70xDN przed miejscem zabudowy przepływomierza. Przepływomierze wirowe są dodatkowo wrażliwe na wibracje oraz pulsacje przepływu.

Stożek spiętrzający – schemat

Przeptywomierz
wirowy – schemat



PRZEPŁYWOMIERZE MECHANICZNE

Przeptywomierze mechaniczne jak np. owalno-kółkowe (*positive displacement*) lub tłokowe, gdzie przepływająca struga cieczy wprawia w ruch element pomiarowy, którego przesunięcie odpowiada pewnej zadanej objętości, są jednymi z niewielu urządzeń niewrażliwych na wpływ występowania zaburzeń przepływu. Są one jednak wrażliwe na inne czynniki, np. zmiany lepkości cieczy, czy zabrudzenia, ale jest to już inna historia.

PRZEPŁYWOMIERZE MASOWE CORIOLISA

Zasada działania przeptywomierzy masowych Coriolisa opiera się na pomiarze sił generowanych przez przepływ płynu przez oscylujące rurki. Siły wzbudzają się w wyniku efektu Coriolisa i powodują przesunięcia fazowe oscylacji rurek pomiarowych względem siebie. Siła wspomnianego przesunięcia fazowego jest wprost proporcjonalna do przepływu masowego danego płynu. Z uwagi na fakt, że przeptywomierze Coriolisa mierzą bezpośredni przepływ masowy, nie są wrażliwe na wpływ instalacji przeptywomierza i tym samym zaburzenia profilu przepływu. Jednakże są wrażliwe na naprężenia mechaniczne wynikające ze złej zabudowy. Skomplikowanie konstrukcji przeptywomierza Coriolisa niestety przekłada się na jego wysoką cenę.

PRZEPŁYWOMIERZE ULTRADŹWIĘKOWE

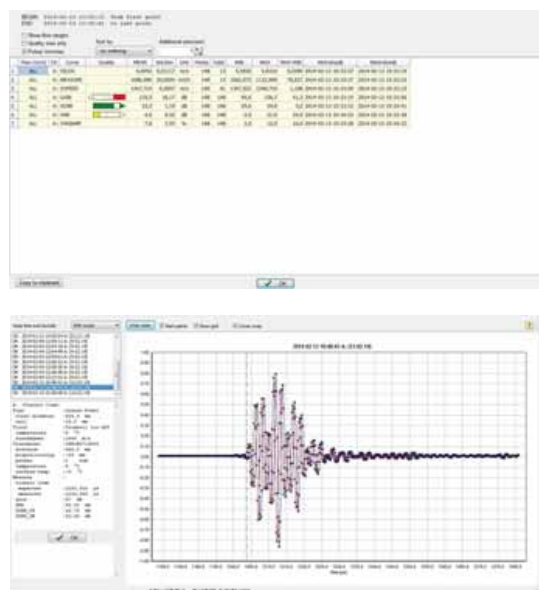
Większość przeptywomierzy ultradźwiękowych pracuje w oparciu o zasadę Transit-Time, gdzie sygnał ultradźwiękowy przemieszcza się pomiędzy dwoma czujnikami. Przejście sygnału odbywa się zarówno z prądem jak i pod prąd mierzonego medium. Zaburzenia w profilu przepływu mają negatywny wpływ na czas przejścia ścieżki mając tym samym wpływ na wskazanie przeptywomierza. Dotyczy to zarówno urządzeń inwazyjnych, gdzie czujniki mają bezpośredni kontakt z medium, jak i tych bezinwazyjnych.

Wpływ asymetrycznego profilu przepływu lub wirów na pomiar jest uzależniony głównie od charakteru przejścia ścieżki sygnału ultradźwiękowego. Można powiedzieć, że im przeptywomierz ma więcej ścieżek (przejść sygnału przez przekrój rurociągu) tym lepiej dla pomiaru. Większa ilość ścieżek przejścia zwiększa uśrednianie profilu przepływu. Istotnym faktem jest, że niektóre przeptywomierze ultradźwiękowe posiadają własną auto-diagnostykę, która w sposób pośredni może wskazać czy w lokalizacji zabudowy przeptywomierza ultradźwiękowego występują niekorzystne zaburzenia przepływu. Nie należy mylić tego z wyliczeniem lub kompensacją błędu pomiarowego wynikającego z tych zaburzeń – tak daleko technika ultradźwiękowa w pomiarach przepływu jeszcze nie doszła.

DIAGNOSTYKA I OCENA JAKOŚCI POMIARU

Pomiar parametrów sygnałowych ścieżki przejścia sygnału ultradźwiękowego polega głównie na pomiarze

siły oraz jakości odbieranego sygnału. Można jednakże analizować jeszcze równolegle kilka innych parametrów związanych z propagacją fali w medium oraz medium i ścianie rurociągu (przeptywomierze bezinwazyjne). Producenci umożliwiają analizę parametrów użytkownikom, nie jest to jednak proste bez lepszego poznania urządzenia. Nieliczni producenci w dokumentacji technicznej podają wartości progowe pewnych sygnałów diagnostycznych, które są wymagane do tego aby urządzenie pracowało zgodnie z założeniami specyfikacji producenta. Dodatkowo, oprogramowanie do akwizycji danych z przenośnych przeptywomierzy bezinwazyjnych również umożliwia prostą wizualizację jakości parametrów. Na rysunku poniżej widać kolory: zielony, żółty oraz czerwony, oznaczające odpowiednio dobry, poprawny, słaby poziom sygnału



Dzięki bardzo wysokiemu próbkowaniu (1000 Hz) oraz cyfrowej analizie dodatkowych parametrów tj. fluktuacji amplitudy lub czasu przejścia pojedynczej ścieżki, bezinwazyjne przeptywomierze typu „Clamp-on” są w stanie wychwycić odchylenia. Tym samym wskazują pośrednio, że wyniki pomiaru mogą być obciążone dodatkowym błędem wynikającym z zaburzeń przepływu. Taka analiza możliwa jest niezależnie od rodzaju medium (ciecz lub gaz).

Diagnostyka sygnałowa przeptywomierzy bezinwazyjnych jest również sporym ułatwieniem podczas uruchamiania takiego przeptywomierza oraz znajduje dobre zastosowanie podczas testów przed finalnym montażem przeptywomierza stacjonarnego, pozwalając na weryfikację możliwości i jakości pomiaru w miejscu zabudowy. Wykonanie testów jest bardzo proste z uwagi na bezinwazyjność montażu oraz pozwala potwierdzić czy przeptywomierz będzie działał poprawnie czy też nie. Zważywszy na inwazyjność innych, wspomnianych wyżej metod pomiarowych, wcześniejsza „przymiarka” przeptywomierza w przeważającej ilości przypadków nie jest możliwa. Diagnostyka sygnałowa pomaga również w analizie otrzymanych danych pomiarowych w przypadku używania przenośnego przeptywomierza bezinwazyjnego do badania przepływów lub oceny innych przeptywomierzy na danej instalacji. Użytkownik takiego urządzenia ma możliwość zweryfikowania tego czy sygnały diagnostyczne są zgodne z zaleceniami producenta i tym samym czy jego pomiary są zgodne ze stanem faktycznym.

Warto przy okazji zaznaczyć, że wielu producentów, w szczególności tanie propozycje z „Dalekiego Wschodu”, nie przywiązują wagi do jakiegokolwiek diagnostyki sygnałowej. Jak nie trudno się domyśleć, ma to niebagatelny wpływ na jakość pomiaru.

OSAD ŚCIANKI WEWNĘTRZNEJ

Jednym z mitów odnośnie możliwości pracy bezinwazyjnych przepływomierzy jest kwestia występowania kamienia lub innych narostów wewnątrz ścianki rurociągu. Istnieje wśród użytkowników opinia, że wewnętrzne narosty uniemożliwiają pracę przepływomierza bezinwazyjnego lub powodują duże zafałszowanie wartości pomiaru. W istocie samo obrastanie jest przeszkodą i zjawiskiem niepożądanym, ale są sposoby radzenia sobie w tych jakże trudnych warunkach pomiarowych.

Wewnętrzny osad może mieć wielorakie pochodzenie, od kamienia w aplikacjach na wodzie ciepłej lub biologiczny narost w instalacjach wody surowej, po osady pochodzenia chemicznego. Wszystkie powyższe stanowią przeszkodę dla sygnału ultradźwiękowego i mają często bardzo silne własności tłumiące ten sygnał. Można powiedzieć, że jeżeli sondy emitują sygnał ultradźwiękowy z pewną mocą początkową, to jedynie ok. 20-25% tej mocy jest w stanie wyjść ze ścianki rurociągu do mierzonej cieczy, dając tym samym efekt pomiarowy. W przypadku gazów mówimy o ok. 2-5% energii początkowej sygnału wyemitowanej przez sondy. Co zatem dzieje się zresztą energii? Każdy ośrodek, przez który sygnał przechodzi, wytłumia sygnał, nawet od samego początku – czyli od materiału sondy, który jest najczęściej kompozytem wykonanym z tworzywa sztucznego. Następnie sygnał przenika z sondy poprzez żel sprzęgający lub matę sprzęgającą (Viton) do rurociągu, gdzie rozchodzi się po całym jego obwodzie i wnika do medium. W mierzonym medium wysłany sygnał, o ile jest wystarczająco silny może ulec wielokrotnemu odbiciu, dając wspomniany efekt pomiarowy, czyli tzw. „Transit Time”. W sytuacji kiedy na granicy faz ścianka wewnętrzna rurociągu – mierzona ciecz występuje dodatkowa warstwa, czyli osad, wówczas sygnał ulega dodatkowemu wytłumieniu. Dodatkowo, jeżeli warstwa ta nie jest równa może to spowodować niepożądane odbicie sygnału. Skutkuje to osłabieniem siły sygnału przy sondzie odbierającej i może prowadzić do utraty stabilności pomiaru lub po prostu braku pomiaru. Aby temu zaradzić najprościej jest użyć silniejszych sond pomiarowych. Dzięki temu zwiększamy energię początkową emitowanego sygnału i tym samym zwiększamy szanse przebiecia się sygnału przez dodatkową (nieprzewidzianą warstwę). Z doświadczeń aplikacyjnych w pracy z tymi urządzeniami wynika, że w ok. 70% przypadków zamiana sond pomiarowych daje pożądane rezultaty. W pozostałych przypadkach narost jest z reguły jednak tak duży, że pomiary w sposób bezinwazyjny nie są możliwe.

NAROST WEWNĘTRZNY A DOKŁADNOŚĆ POMIAROWA?

Jednym z często zadawanych pytań podczas pomiarów urządzeniem bezinwazyjnym jest pytanie o taki wpływ na dokładność pomiaru ma narost wewnętrzny. Niestety tutaj nie ma odpowiedzi jednoznacznej, chyba że, mamy wiedzę o tym jak duży jest ten narost. Jeżeli możemy to stwierdzić, możemy dodać grubość narostu do parametru grubości ścianki. Urządzenie będzie

wówczas przeliczało wartość natężenia przepływu przy uwzględnieniu zmniejszenia przekroju rurociągu. Kwestia zależności między narostem a dokładnością jest jednakże mało istotna w przypadku dużych średnic rurociągów, gdzie kilka mm nie ma wielkiego znaczenia. W przypadku niewielkich średnic rurociągów kilka mm lub nawet dziesięć mm mogą jednak wpłynąć znacząco na końcowy wynik.

BARDZO DROGA TECHNOLOGIA?

Jednym z argumentów pojawiającym się przeciwko aplikacji bezinwazyjnego przepływomierza jest obawa o koszty takiej aplikacji. Prawdą jest, że na tle niektórych przepływomierzy cena zakupu urządzenia bezinwazyjnego jest wysoka i często zakup takiego urządzenia nie jest uzasadniony w żadnym stopniu. Jednocześnie istnieje mnóstwo przykładów, że wybór „Clamp-on’a” może okazać się ekonomicznym strzałem w dziesiątkę. Przykładowo aplikacje na mediach o wysokiej temperaturze, często przekraczającej 200°C znacznie zawężają wybór metody pomiarowej. Koszt instalacji np. kryzy pomiarowej, jej przeglądów, czy koszty ewentualnej awarii, wycieku i postoju instalacji są wysoce niepożądane. W przypadku mediów łatwopalnych, wybuchowych, wymuszających użycie przepływomierzy zgodnych z dyrektywą ATEX, sytuacja również się komplikuje. W takich właśnie sytuacjach przepływomierze bezinwazyjne stają się bardzo atrakcyjne i to nawet pomimo użycia specjalnego układu do wysokich temperatur (max. 600°C) lub certyfikowanych do pracy w strefie pierwszej (Ex de) oraz zgodnych z wymogami dotyczącymi iskrobezpieczeństwa. Przy urządzeniu bezinwazyjnym nie tylko nie występują bowiem żadne dodatkowe koszty związane z pracami montażowymi, ale nie ma również szczególnie ważnego ryzyka związanego z niebezpieczeństwem rozszczelnienia instalacji.

ALTERNATYWA SPRAWDZONA W PRAKTYCE

Wybór przepływomierza podobnie jak to w życiu jest zawsze kwestią związaną z wieloma zmiennymi oraz argumentami za i przeciw. Czy przepływomierze bezinwazyjne nadają się do wszystkiego? Na pewno nie. Niemniej jednak, na tle innych metod, przepływomierze bezinwazyjne udowadniają często swoją przydatność, dokładność, niezawodność oraz prostotę montażu. Pozwalają one przy tym zoptymalizować kwestie pomiarowe w wielu zakładach, a ich możliwości zostały już wielokrotnie potwierdzone nie tylko w zaciśnięciu laboratoriów symulujących warunki idealne. Jednym z głównych argumentów za aplikacją takiego rozwiązania jest mnogość zainstalowanych już aplikacji, w liczbie ok. 60.000 w pomiarach przemysłowych różnych branż na całym świecie. Czy mogą znaleźć zastosowanie w Państwa instalacji? Analizę tej kwestii zostawiam już Czytelnikom zachęcając przy tym gorąco do kontaktu.



Maksym Cichoń

Absolwent kierunku Energetyka na Politechnice Śląskiej. W Instytucie pracuje od 2010 w dziale przepływów na stanowisku menedżera produktu. Zajmuje się bezinwazyjnymi pomiarami przepływu cieczy i gazów oraz przepływomierzami elektromagnetycznymi.

tel. 32 789 00 91