

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

„Nie ma powodu, dla którego ktokolwiek chciałby mieć własny komputer w domu”. Takie słowa w 1977 roku padły z ust Kena Olsena, dyrektora i założyciela jednej z dużych korporacji informatycznych. Prawie 100 lat wcześniej geniusz i wynalazca Thomas Edison stwierdził, że „Gramofon nie ma żadnej przyszłości handlowej”. Z dzisiejszej perspektywy świat udowadnia ciągle, że nowe idee, które początkowo wydają się nie mieć z wielu względów przyszłości, po czasie okazują się przelomowymi, mającymi wpływ na rozwój i poprawę warunków pracy dla wielu ludzi.

Postęp technologiczny sprawia, że to co jeszcze do niedawna było niemożliwe wykonujemy teraz z łatwością. Wszyscy mamy tego świadomość, ale mimo to wiele rzeczy nowych i nieznanych sprawia, że podchodzimy do nich z ograniczonym zaufaniem. Podobnie jest również z wieloma technologiami spotkanymi na naszym podwórku szeroko pojętej automatyki przemysłowej. Będąc odpowiedzialnym za urządzenia pomiarowe, proces technologiczny lub jakość finalnego produktu nierzadko boimy się bowiem zmieniać coś co już pracuje i się sprawdza. Jest to chyba normalna ludzka reakcja, ale czy w niektórych przypadkach nie prościej i nie lepiej byłoby...?

ZMIERZYĆ PRZEPŁYW?

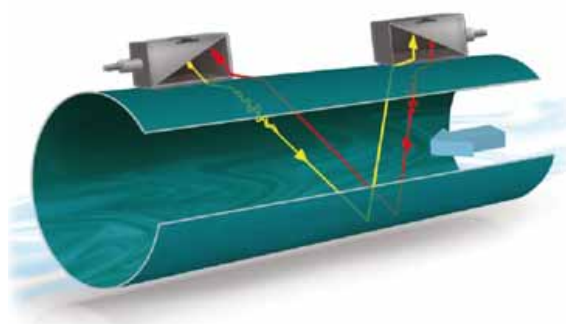
Pomiar przepływu mediów ciekłych, gazowych czy pary niemal od zawsze jest jednym z najważniejszych pomiarów, w których to stosuje się wiele metod i technologii pomiarowych. Większość z nich jest charakterystyczna dla danego procesu czy medium. Fizyka nie kłamie i każda metoda z uwagi na swoją zasadę pomiaru ma swoje plusy i minusy, a wybór konkretnej jest zawsze kompromisem pomiędzy dokładnością, łatwością bądź trudnością w eksploatacji, kosztami ewentualnych napraw oraz finalną ceną urządzenia. Problem w tym, że często nie zdajemy sobie sprawy z tego, że mogliśmy zrobić coś lepiej, prościej czy taniej. W dziedzinie pomiarów przepływu dobrym przykładem są bezinwazyjne przepływomierze ultradźwiękowe.

TECHNOLOGIA ULTRADŹWIĘKOWA – FAKTY

Obecna od wielu lat technologia ultradźwiękowa zdążyła już wyrzucić duży wpływ na rynek przepływomierzy, gdzie najczęściej spotykanym przepływomierzem tego typu jest wersja inwazyjna, kołnierzowa. Prawie wszystkie z nich działają w oparciu o pomiar różnicy czasu przejścia sygnałów ultradźwiękowych nadawanych i odbieranych przez czujniki ultradźwiękowe. Sygnał pomiarowy przechodzi przez mierzony ośrodek w dwie strony z prądem oraz pod prąd płynącego medium. Płynąca ciecz sprawia, że sygnał biegnący pod prąd tej cieczy jest opóźniony w czasie względem sygnału biegnącego z prądem tej cieczy. Różnica czasów przejść obu sygnałów „ Δt ” jest proporcjonalna do prędkości z jaką płynie mierzone medium. Ta zasada, określana jako metoda „Transit-Time” jest również stosowana w pomiarach bezinwazyjnych. Różnica polega na tym, że czujniki pomiarowe nie mają kontaktu z mierzonym medium – są przymocowane do rurociągu od zewnątrz.

TECHNOLOGIA BEZINWAZYJNA – WYZWANIA

Z racji tego, że sondy pomiarowe są mocowane od zewnątrz należy rozwiązać tutaj szereg



Metoda „Transit-Time”

kwestii związanych z propagacją fali ultradźwiękowej. Najważniejszym czynnikiem związanym z aplikacją tego pomiaru jest odpowiedni wybór aplikacji, na której przepływomierz bezinwazyjny będzie działał skutecznie. Kierując się czynnikiem maksymalizacji dokładności pomiaru możemy na wstępie zdyskwalifikować aplikacje na przepływach wielofazowych, takich jak: ciecze zagazowane, ciecze nienewtonowskie czy zabrudzone cząstkami stałymi (np. ścieki komunalne). W przypadku gazów chodzi głównie o gaz mokry z wyraźną obecną fazą ciekłą lub cząstkami stałymi – np. gaz bezpośrednio z odwiertu z ziemi. Wszystkie zabrudzenia mają bowiem negatywny wpływ na tłumienie sygnału pomiarowego, choć mimo to czasem także na wspomnianych mediach również urządzenia pracują. Co więcej, często przepływomierze bezinwazyjne w przeciwieństwie do swoich inwazyjnych odpowiedników są w stanie pracować nawet w kilkuprocentowym zabrudzeniu medium. W takich przypadkach, jeżeli chcemy utrzymać dokładność i stabilność, należy jednak bezwzględnie wykonać weryfikujące testy obiektowe. Ta dość częsta praktyka jest bardzo prosta z uwagi na charakter pomiaru.

Sposób montażu przepływomierza bezinwazyjnego Flexim



DOKŁADNOŚĆ

Na przestrzeni kilkunastu lat od kiedy technika ultradźwiękowa, bezinwazyjna weszła na rynek przepływomierzy utarło się stwierdzenie, że taki pomiar nie może być dokładny. W przemyśle jeszcze do tej pory pokutuje stwierdzenie, że tak naprawdę nic co nie ma fizycznego kontaktu z mierzoną cieczą lub gazem nie może być traktowane poważnie. Jak bardzo mylnie jest to stwierdzenie mogą świadczyć nie tylko niezależne badania laboratoryjne, ale przede wszystkim bogata lista aplikacyjna dostarczonych urządzeń oraz referencji. Kluczem do dokładności ultradźwiękowców jest bowiem prawidłowy montaż i uruchomienie układu pomiarowego.

Należy pamiętać, że tylko zgodny ze sztuką pomiar przepływu oraz zaleceniami producenta sposób montażu przepływomierza bezinwazyjnego gwarantuje dokładny i niezawodny pomiar przez lata.

TROCHĘ TECHNIKI, CZYLI MOŻLIWOŚCI OBLICZENIOWE

Jak to zwykle bywa, na efekt finalny (jakość pomiaru) wpływ ma wiele różnych elementów. Jednym z nich są możliwości obliczeniowe oraz algorytm pomiarowy urządzenia. Jednym z ważniejszych elementów jest podwójny układ DSP (procesora sygnałowego) oraz kilka innych, nie mniej ważnych elementów. Przetwarzanie sygnałów we współczesnych przepływomierzach ultradźwiękowych odbywa się całkowicie cyfrowo.

DOKŁADNOŚĆ POMIARU A ZMIANY TEMPERATURY

Pod hasłem kompensacja temperatury kryje się pewien detal konstrukcyjny używany tylko i wyłącznie przez firmę Flexim – jednego z pionierów technologii bezinwazyjnej. Mam tu na myśli czujnik temperatury RTD umieszczony w sondach pomiarowych. Nie chodzi tutaj o pomiar temperatury medium, choć jest on również możliwy przy pomocy czujników zewnętrznych podłączonych do urządzenia. Ten konkretny czujnik ma na celu pomiar temperatury samych sond pomiarowych, a w zasadzie wychwytywanie zmienności temperatury sond np. z uwagi na zmienność temperatury otoczenia lub medium – co dość często ma miejsce. Każda zmiana temperatury środowiska pracy urządzenia pociąga za sobą zmianę kąta wnikania sygnału ultradźwiękowego wysyłanego z pojedynczej sondy. Kąt wnikania jest stały i wynika ze specyficznego kąta zamontowania elementu nadawczego – kryształu piezoelektrycznego. Jednakże zmiana temperatury ośrodka, w którym rozchodzi się

ultradźwiękowy impuls powoduje przesunięciem tego kąta, a wynika to z właściwości materiału rurociągu. Niestety z uwagi na stałe zamocowanie piezokryształu nie można nim samym regulować tegoż kąta. Dzięki wbudowaniu czujnika RTD wewnętrzny algorytm urządzenia wykonuje kompensację tych zmian elektronicznie. Nie ma innego sposobu kompensacji tych zmian niż bezpośredni pomiar temperatury materiału. Bez tej kompensacji, przy pracy układu pomiarowego w warunkach dynamicznej zmiany temperatury procesu lub otoczenia, może występować dodatkowy błąd pomiaru na poziomie 1% przy wahaniami temperatury na poziomie 16°C (!). Wbudowany czujnik RTD jest jedną z unikalnych i ważniejszych zalet sond produkowanych przez Flexim. Dzięki temu firma spełnia wymagania jakie stawia norma ASME MFC 5M dla ultradźwiękowych przepływomierzy do cieczy. FLEXIM jest obecnie jedynym producentem spełniającym te wymogi.

Oprócz wspomnianego wyżej procesu kompensacji temperatury materiału sondy, algorytm pomiarowy przepływomierzy Flexim eliminuje tzw. **błędy dryfu zera**, które są również powodowane przez zmiany temperatur. Dryf ten związany jest z obwodami elektronicznymi przepływomierza. Dzięki algorytmowi pomiarowemu urządzenia spełniają specyfikowaną niepewność pomiaru 0,01 m/s, często ją przewyższając.

Błędy „zera” mają wpływ na dokładność. Każda para sond pomiarowych jest ze sobą parowana na etapie produkcji, eliminując tym samym czynnik temperaturowy. Dodatkowo każda para sond przechodzi kalibrację „na mokro”. Dzięki temu przepływomierze nie muszą być kalibrowane na zerowym przepływie (na docelowej instalacji) i nie występuje tutaj **błąd tzw. kalibracji zera**.

NIEWIELKIE NATĘŻENIA PRZEPŁYWU

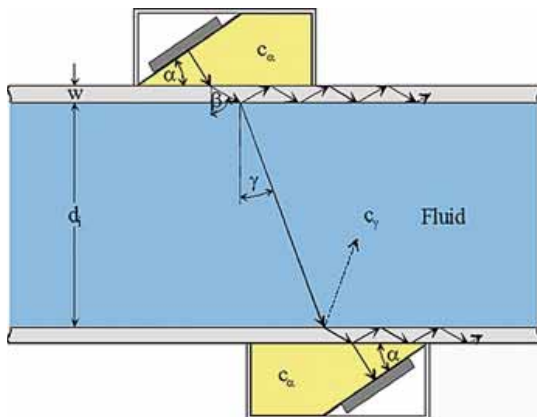
Jeden z ciekawszych przykładów miejsc, gdzie klienci doceniają możliwości i dokładność pomiaru bezinwazyjnego oraz generalnie metody ultradźwiękowej są niewielkie przepływy. Nie ma uniwersalnego przepływomierza, który byłby w stanie mierzyć wprost od zera, a różne technologie przy małych przepływach wykazują duży spadek dokładności pomiarowej. Na dokładność pomiaru ma tutaj niebagatelny wpływ kalibracja urządzenia wykonywana „na mokro”. Od niedawna jesteśmy w stanie dostarczyć przepływomierze mogące mierzyć ciecz płynącą z prędkościami na poziomie 0,02 m/s z dokładnością ok 2%.

MECHANIKA PŁYNÓW I WŁAŚCIWOŚCI PRZEPŁYWOWE

Zanim rozpoczniemy rozważania dotyczące porównywania różnych metod pomiarów należy przyrzeć się bliżej bezwymiarowej wielkości zwanej liczbą Reynoldsa (Re). Jest ona zdefiniowana jako stosunek sił czynnych obecnych w strudze do sił bezwładności związanych z lepkością. W zależności od tego, która z sił dominuje liczba Reynoldsa jest wyznacznikiem natury przepływu w rurociągu.

W różnej literaturze spotykamy różne wartości graniczne dla liczby Re zależne od rodzaju płynu oraz autora publikacji. Typowo, jeżeli liczba Re wynosi poniżej 2000, wówczas siły lepkości dominują i oznacza to tzw. przepływ laminarny lub inaczej warstwowy, gdzie płyn przepływa w równoległych

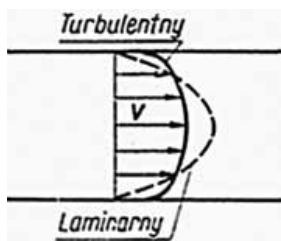
Kąty przesunięcia
sygnału
ultradźwiękowego



warstwach niemieszających się ze sobą. Z reguły zjawisko przepływu laminarnego oznacza niewielką prędkość przepływu, w wielu przypadkach powiązaną z jego dużą lepkością.

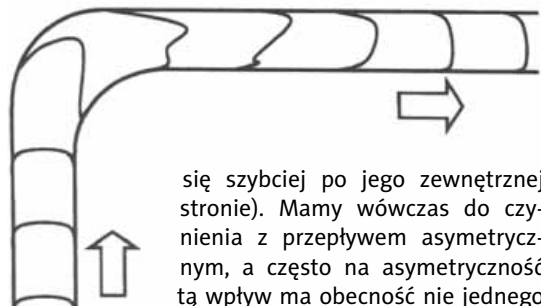
W przypadkach wartości liczb Re powyżej ok. 5000-10000 siły czynne przeważają i oznaczają to przepływ turbulentny – gdzie kierunek wektora siły jest równoległy do osi rurociągu ale nie występuje tutaj już uwarstwienie przepływu, a cząsteczki płynu mieszają się ze sobą w całej objętości (warstwach). Pomiędzy tymi dwoma rodzajami przepływów występują zjawiska niejednoznaczne, tzw. przepływy przejściowe – jest to zjawisko nie do końca pożądane dla większości metod pomiarowych. W przeważającej ilości przypadków siły czynne dominują w przepływach i bardzo często liczby Re wynoszą powyżej 100.000 dla cieczy, dla gazów często oznaczają się je w milionach.

PROFIL PRZEPŁYWU



Podczas przepływu w rurociągu, wartość prędkości przepływu nie jest stała w całym jego przekroju. Z uwagi na tarcie przy ściankach rurociągów powstają straty energii. W związku

z tym w jego przekroju uwydatnia się pewien gradient (czoło) prędkości przepływu. Taki gradient możemy zobaczyć na rysunku powyżej w przypadku przepływu laminarnego oraz turbulentnego. Profil przepływu wymaga czasu na pełne ustabilizowanie się, wówczas często jest określany mianem „idealnego” profilu przepływu. Inżynierowie i projektanci instalacji przemysłowych często „szukają” odpowiedniej długości rurociągu tak aby dać szansę na pełne ustabilizowanie się przepływu. Odpowiedni profil, czyli w pełni ustabilizowany, ma niebagatelne znaczenie dla dokładności pomiarowej urządzenia. Oczywiście w rzeczywistości na instalacji nie znajdziemy tylko prostych odcinków rurociągów, trzeba w niej bowiem również przewidzieć zawory, trójniki, kolanka itp. Wszystkie wspomniane elementy mają negatywny wpływ na profil przepływu (na przykład płyn wypływający z kolanka 90° będzie poruszać



się szybciej po jego zewnętrznej stronie). Mamy wówczas do czynienia z przepływem asymetrycznym, a często na asymetryczność tą wpływ ma obecność nie jednego kolanka lecz szeregu elementów, na

ZBYT KRÓTKIE ODCINKI PROSTE – JAK SOBIE Z NIMI RADZIĆ?

Kluczowym faktem jest to, że w większości przypadków przepływomierze zostały skonstruowane przy uwzględnieniu pracy w warunkach „idealnych”.

ISO (International Standards Organisation) lub producenci przepływomierzy sugerują optymalne warunki zabudowy urządzenia. Specyfikują wówczas długości odcinków prostych w jakich powinno się montować dany przepływomierz. Długości te określone są jako długość przed oraz za punktem pomiarowym. Niestety w rzeczywistości jednym z większych problemów jest to, że podczas fazy projektowej instalacji zaniedbano tę kwestię nawet w formie zbliżonej do warunków sugerowanych. Za takie przykłady mogą służyć instalacje chemiczne lub petrochemiczne. Jedną z bezpośrednich metod przeciwdziałania jest stosowanie prostownic przepływu, które mają na celu „wyprostowanie” profilu przepływu i tym samym redukcję odcinków prostych za elementami zaburzającymi przepływ. Jedną z pośrednich metod jest sposób montażu przepływomierza ultradźwiękowego. Przepływomierze typu in-line występują w różnych konfiguracjach np. 4- i więcej- ścieżkowe. Natomiast przepływomierze bezinwazyjne Clamp-on mogą zostać zamontowane również w trybie wielościeżkowym, przy wykorzystaniu różnych wariantów lokalizacji sond pomiarowych. Na zdjęciu poniżej pokazana jest metoda tzw. „podwójne V”. Możemy wysnuć tezę, że im więcej ścieżek, tym większe jest uśrednienie składowych nieliniowych obecnych w profilu przepływu, co wpływa znacząco na jakość naszego pomiaru. Jest to jedna z wielkich zalet bezinwazyjnych przepływomierzy, praktykowana w szczególności w aplikacjach w gazownictwie.



◀◀ Schemat przepływu laminarnego i turbulentnego

▶ Transit-Time – „podwójne V”

W części drugiej artykułu zostanie przybliżony wpływ braku odcinków prostych na przepływomierze działające w oparciu o różne metody pomiarowe na tle metody bezinwazyjnej. Dodatkowo przedstawionych zostanie kilka przykładów, gdzie tzw. „Clamp-On” z racji swoich zalet jest idealnym przepływomierzem technologicznym.



Maksym Cichoń

Absolwent kierunku Energetyka na Politechnice Śląskiej. W Introlu 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

◀◀ Asymetryczny profil przepływu