

Jak skutecznie mierzyć przepływ gorących cieczy? Bezinwazyjnie!

W większości zakładów przemysłowych pomiary przepływu są jednymi z kluczowych pomiarów w kontekście prowadzenia danego procesu, jego wydajności oraz energochłonności. W swojej płataninie rurociągów napotykaną w wielu miejscach dużego i małego przemysłu spotykamy tzw. rury gorące, gdzie temperatury mediów będących nośnikami energii, składnikami lub produktami końcowymi, wynoszą często ponad 200°C. Dla wielu metod pomiarowych oraz samych urządzeń takie warunki stanowią barierę nie do pokonania. Aby inżynierom automatykom było jeszcze trudniej, media gorące zazwyczaj są mediami pod szczególnym nadzorem, a ciecze płynące w strefie zagrożenia wybuchem lub agresywne chemicznie bardzo zawężają możliwości pomiarowe. Stanowi to nie lada wyzwanie z metrologicznego punktu widzenia.

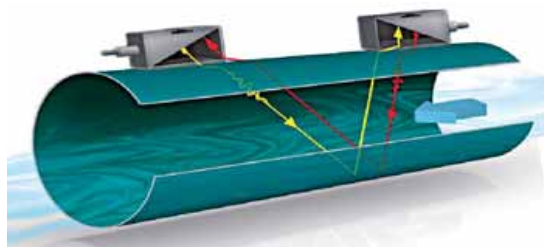
CZYM MIERZYĆ GORĄCE CIECZE?

Najczęściej spotykaną metodą pomiarową przy pomiarze przepływu cieczy o wysokiej temperaturze jest pomiar w oparciu o element śpiętrzący, zwykle kryzę. Inne metody i urządzenia pomiarowe tj. przepływomierze wirowe czy turbinowe również mogą pracować w warunkach zwiększonej temperatury, jednakże są to rzadziej spotykane rozwiązania. Wszystkie z powyższych metod obok specyficznych zalet i wad, mają jedną wspólną cechę: są inwazyjne, a zastosowanie każdej z nich wymaga bezpośredniej ingerencji w rurociąg.

Poszukując optymalnego rozwiązania w zakresie pomiaru przepływu cieczy gorących przeprowadziliśmy analizę parametrów, własności różnych typów przepływomierzy, ich wytrzymałości oraz ceny. Po przewertowaniu wielu stron dokumentacji technicznej oraz licznych testach aplikacyjnych stwierdziliśmy, że najlepszym sposobem aby uniknąć kłopotów eksploatacyjnych byłby pomiar bezinwazyjny, ultradźwiękowy. Mając jednak doświadczenie w typowych aplikacjach (temperaturach) zadaliśmy sobie pytanie: – **Czy pomiar bezinwazyjny tak naprawdę dokładnie i skutecznie mierzy przepływ cieczy przy wysokich temperaturach?**

NOWATORSKI PATENT

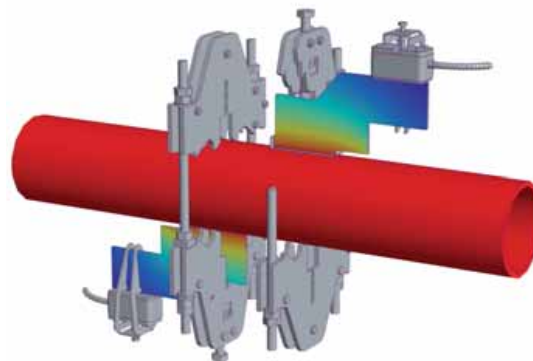
Na rynku obecnych jest wielu producentów przepływomierzy bezinwazyjnych typu „clamp-on”, pracujących w oparciu o zasadę korelacji czasu przejścia sygnału ultradźwiękowego (Transit-Time).



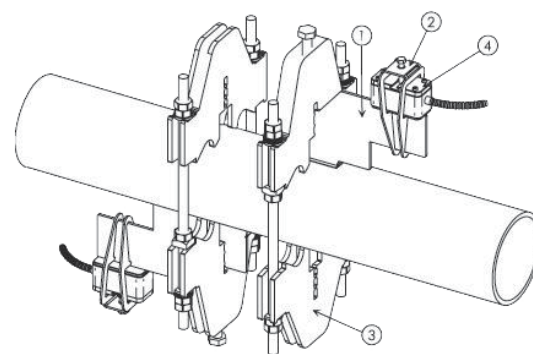
Metoda ta jest w 100% bezinwazyjna z uwagi na sondy pomiarowe, które mocuje się do zewnętrznej ścianki rurociągu. Nie wszyscy producenci mogą jednak pochwalić się w swoim portfolio możliwościami pomiaru przy temperaturze przewyższającej 200°C. Głównym ograniczeniem sprawiającym, że pomiary bezinwazyjne przepływu powyżej pewnej granicy temperatury są niemożliwe, jest materiał. Powierzchnia sond pomiarowych, stykająca się z zewnętrzną ścianką

rurociągu musi być wykonana z dobrze przewodzącego fale ultradźwiękowe materiału, który jednocześnie będzie odporny na długotrwałe oddziaływanie temperatury rurociągu. Standardowe przepływomierze bezinwazyjne marki FLEXIM są w stanie mierzyć bez dodatkowych układów ciecze w zakresie temperatur od -30 do +200°C. Aby zwiększyć graniczne wartości temperatury pracy, niemiecki producent opatentował i z powodzeniem wdrożył układ umożliwiający pomiar przepływu cieczy gorących i kriogenicznych. Dzięki temu możliwe stały się bezinwazyjne pomiary przepływu w zakresie **od -170°C do nawet +580°C**.

Układ umożliwiający pracę w tak szerokim zakresie temperatury jest, najprościej ujmując, nakładką dystansującą powierzchnie standardowych sond pomiarowych od gorącej powierzchni rurociągu. Nakładka ta została całkowicie wykonana ze stali nierdzewnej 304 (1.4301) i nosi nazwę **Wavelnjector®**



◀ Schemat nakładki Wavelnjector®



◀◀ Metoda pomiaru Transit-Time

◀ Opis nakładki:
1. dystanse
2. mocowanie sondy
3. mocowanie na rurociągu
4. sonda pomiarowa

Zasada pracy przepływomierza z **Wavelnjector®** pozostaje bez zmian, jedyną subtelną różnicą jest dłuższa



droga sygnału spowodowana zwiększeniem dystansu pomiędzy powierzchniami sond emitujących falę ultradźwiękową od ścianki rurociągu. Dla zapewnienia dokładnych pomiarów wszystkie przetworniki pomiarowe serii FLUXUS posiadają wbudowany algorytm obliczeniowy umożliwiający współpracę układu z nakładką.

Wavelnjector® umożliwia pomiar w zakresie średnic DN40-DN1000 i można ją skonfigurować w zależności od średnicy rurociągu w trzech wariantach montażowych.

A W PRAKTYCE..

W jednej z polskich rafinerii mieliśmy możliwość przetestowania tego wysokotemperaturowego układu w praktyce. Przeprowadziliśmy testy na dwóch niezależnych rurociągach.

Rurociąg	Medium	Temperatura	Średnica zewnętrzna	Grubość ścianki
1	Gudron	max. 250 °C	276,90 mm	10,10 mm
2	Produkt z hydrokrakingu	345 °C	221,2 mm	8,50 mm

Testy były wykonywane przenośnym przepływomierzem do cieczy FLUXUS F601, jednym zestawem sond pomiarowych oraz nakładką wysokotemperaturową Wavelnjector®. Obydwa rurociągi znajdowały się w drugiej strefie zagrożenia wybuchem.

Aby urządzenie pracowało zgodnie z gwarantowaną dokładnością, bardzo ważny jest, jak z resztą w każdym przypadku, prawidłowy montaż sond i tym samym odpowiednia propagacja sygnału ultradźwiękowego w rurociągu oraz płynącym medium.

Przed montażem urządzenie oblicza i podaje odległości rozstawu głównych elementów mocujących, w dalszym etapie – sond pomiarowych generujących sygnał ultradźwiękowy. Użytkownik montujący nakładkę Wavelnjector®, oprócz odpowiedniego wyboru miejsca pomiarowego (montażowego) musi pamiętać również o dobrym sprzęgnięciu akustycznym właściwych dystansów (sondy-rurociąg). W standardowych wersjach sondy sprzęgane są za pomocą żeli lub specjalnych podkładek gumowych. W tym przypadku, do sprzężenia akustycznego dystansujących elementów z powierzchnią rurociągu używane są cienkie paski wykonane z ołowiu (<280°C) lub stopu srebra (<580°C). Paski zlokalizowane są w miejscu kontaktu dystansujących stalowych płytek z powierzchnią ścianki rury, którą w celu optymalizacji sprzężenia akustycznego należy dokładnie oczyścić z farby oraz wyszlifować do gołej stali.

►►
Pomiar przepływu
gudronu

►►
Przebieg przepływu



►
Miejsce sprzężenia
akustycznego

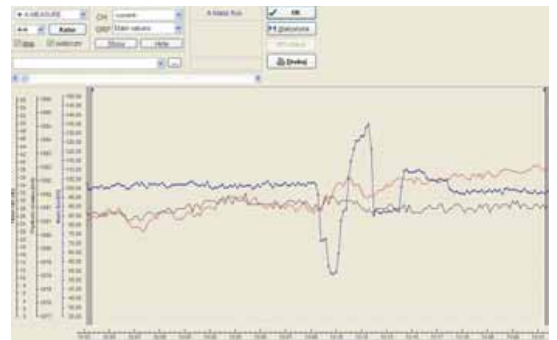
Nawet po dokładnym oczyszczeniu rurociągu z farby, nalotów i wyszlifowaniu nierówności, zawsze powierzchnia będzie miała pewną chropowatość. Dostarczone wraz z nakładką paski materiałowe są na tyle elastyczne, że po dociśnięciu dopasowują się do profilu rurociągu w miejscu montażu, dzięki czemu pozwalają na bardzo dobry kontakt z właściwymi płytkami dystansującymi sondy pomiarowe. Odpowiedni montaż fizyczny elementów nakładki oraz pasków sprzęgających zapewnia mocny, stabilny sygnał i tym samym praktycznie bezobsługową pracę urządzenia.

POMIARY TESTOWE

W obu przypadkach, po zamontowaniu nakładki oraz sond pomiarowych, uzyskaliśmy bardzo dobre parametry sygnału ultradźwiękowego.



Jak widać na zdjęciu nakładka jest tak wyprofilowana, aby umożliwiać montaż na rurociągach ogrzewanych zewnętrznymi rurami grzewczymi. W trakcie pomiarów urządzenie wskazywało bardzo stabilny przepływ zarówno objętościowy (m³/h) oraz – po zadaniu odpowiedniej wartości gęstości mierzonego medium – przepływ masowy (t/h). Zauważalne były bardzo szybkie reakcje na zmiany przepływu koordynowane z inżynierami eksploatacji na obiekcie.



Szybkość reakcji jest charakterystyczna dla ultradźwiękowych przepływomierzy typu „clamp-on”. Generując sygnał z częstotliwością 1000 razy na sekundę, urządzenie bardzo dobrze wykrywa nawet minimalne zmiany w natężeniu przepływu. Duża zakresowość sprawia, że przepływomierz bezinwazyjny wskazuje dokładny przepływ przy minimalnej prędkości przepływu. Przy takich prędkościach, przepływomierze dP (podobnie jak wirowe) wypadają poza swój zakres pomiarowy wskazując zerowy strumień, mimo tego że cały czas płynie pewna ilość cieczy. Przepływomierze turbinkowe z kolei źle znoszą przepływy pulsacyjne.



Temperatura obudowy sond pomiarowych w przypadku drugiego pomiaru na instalacji hydrokrakingu (345°C) nie przekroczyła 50 stopni, można było ściągnąć je gołą dłonią.



Docelowo w układzie przeznaczonym do stałej zabudowy należy zachować kontakt sond z powietrzem, tak aby mogło zachodzić ich swobodne omywanie. Całą resztę (układ montażowy i dystanse) można zaizolować.



Z uwagi na brak żeluz sprężającego, który wysycha przy oddziaływaniu wysokiej temperatury, nie ma potrzeby konserwacji układu montażowego. Jest to wielką zaletą, gdyż każda praca konserwacyjna wiąże się z czasowym odstawieniem pomiaru w danym punkcie. Należy jednocześnie zaznaczyć, iż przy odpowiednim montażu **producent nie przewiduje ani nie rekomenduje przeprowadzania konserwacji, gwarantując jednocześnie dokładność i niezawodność pomiaru.**

BEZINWAZYJNY CZYLI DOKŁADNY I NIEZAWODNY

Dzięki testom wykonanym u naszego Klienta, mieliśmy możliwość na własne oczy przekonać się, że faktycznie ten innowacyjny układ działa bez zarzutu. Przekonaliśmy się, że dokładność i powtarzalność pomiaru nie odbiega od konwencjonalnego pomiaru bezinwazyjnego „clamp-on”, przewyższając równocześnie inne metody pomiarowe swoją charakterystyką i możliwościami. Dodatkowo, z uwagi na brak elementów mających kontakt z płynącą cieczą, nie mamy tutaj do czynienia nawet z minimalnym spadkiem ciśnienia. Brak elementów ruchomych oraz narażonych na zużycie skutkuje również wyeliminowaniem ryzyka awarii związanej

z chemicznym lub erozyjnym oddziaływaniem cieczy i związanej z nią kosztownej naprawy urządzenia, koniecznością opróżnienia i roszczelnienia rurociągu. Co najważniejsze – dzięki Wavelnjector® możliwy jest pomiar cieczy o temperaturach **od -170°C do nawet +580°C.**

Główną cechą tego konkretnego rozwiązania pomiarowego jest także bardzo duża zakresowość, trudna do osiągnięcia w przypadku pomiarów w oparciu o elementy spiętrzające, w których stosuje się dodatkowe przetworniki dP lub kosztowne układy kryzowe z wymiennymi wkładami.

SZEROKIE REFERENCJE

Oprócz opisanych szerzej aplikacji wysokotemperaturowych, nakładka Wavelnjector® umożliwia również pomiar przepływu cieczy o ekstremalnie niskiej temperaturze procesowej np. ciekłego azotu -160°C. W takich aplikacjach nakładka równie skutecznie chroni sondy pomiarowe przed nadmiernym wychłodzeniem. Dzięki temu urządzenia FLEXIM mogą pochwalić się bardzo długą listą referencyjną pomiarów przepływu cieczy zarówno w bardzo wysokiej, jak i ekstremalnie niskiej temperaturze.

Głównym bodźcem do powstania wysokotemperaturowej nakładki były potrzeby wymagających procesów w rafineriach ropy naftowej. Stanowi ona jednak uniwersalną i bezkompromisową propozycję dla różnych branż oraz zakładów przemysłowych mających kłopoty lub chcących uniknąć ewentualnych kłopotów z przepływomierzami pracującymi w trudnych warunkach temperaturowych. Bardzo ważną cechą przepływomierzy bezinwazyjnych FLEXIM jest przy tym fakt, iż mogą one pracować w **strefie pierwszej oraz drugiej zagrożenia wybuchem**, a doposażenie ich w opisywaną nakładkę Wavelnjector® nie zmniejsza ich możliwości aplikacyjnych.

Należy zwrócić uwagę, iż układ pomiarowy w oparciu o przepływomierz bezinwazyjny doposażony w nakładkę Wavelnjector® stanowi nie tylko dobrą propozycję dla nowych instalacji ale jest również doskonałą propozycją modernizacyjną dla starszych układów pomiarowych.

Dla osób odpowiedzialnych za daną instalację lub jej projekt, wybór i eksploatacja danego przepływomierza jest w każdym przypadku swoistym kompromisem pomiędzy zakresowością, dokładnością urządzenia, jego ceną zakupu oraz – co jest niemniej ważne – kosztami eksploatacji i ewentualnych napraw. Prostota wymiany, montaż na ruchu, bezobsługowa praca oraz koszty całkowite aplikacji w oparciu o przepływomierze marki FLEXIM są w wielu przypadkach nie do przecenienia.



Maksym Cichoń

Absolwent kierunku Energetyka na Politechnice Śląskiej. W Introlu pracuje od 2010 w dziale przepływów na stanowisku specjalisty ds. AKP. Zajmuje się bezinwazyjnymi pomiarami przepływu cieczy i gazów oraz przepływomierzami elektromagnetycznymi.



Pomiar przepływu hydrokrakingu



▲ Przepływomierz stacjonarny ADM8027



Sposób izolacji