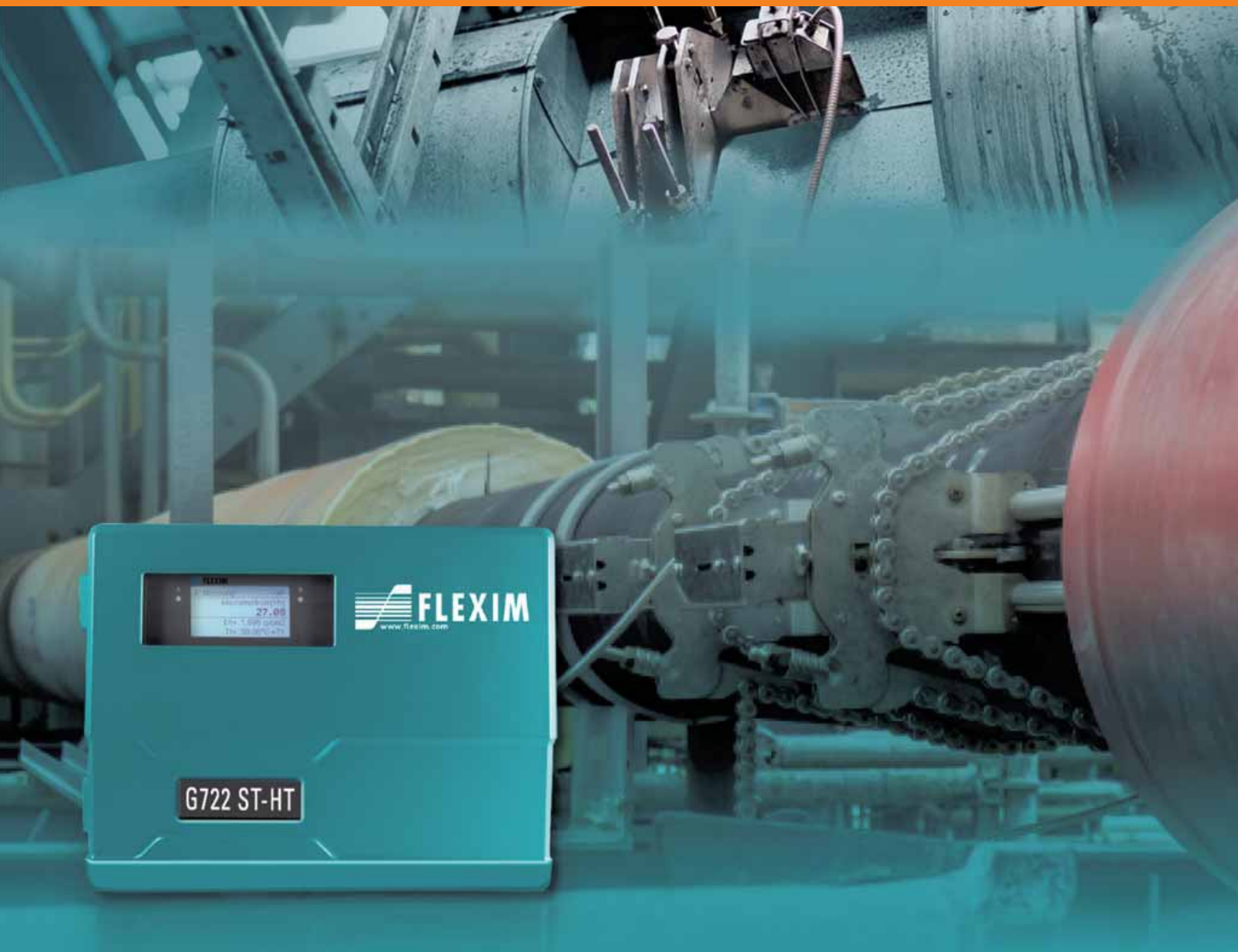


PodKontrolą

automatyka i pomiary

wydawca:
Introl Sp. z o.o.

02/2024 (62)



w numerze:

temat
wydania



dobra
praktyka



akademia
automatyki



Bezinwazyjny ultradźwiękowy pomiar przepływu pary
o wysokim reżimie temperaturowym – czy to możliwe?

Kalibracja pod pełną kontrolą
Nowoczesne rozwiązania kalibracyjne Beamex

Pomiary fotometryczne w przemyśle chemicznym

spis treści

	nowości		4
	temat wydania	Bezinwazyjny ultradźwiękowy pomiar przepływu pary o wysokim reżimie temperaturowym – czy to możliwe?	6
	dobra praktyka	Kalibracja pod pełną kontrolą Nowoczesne rozwiązania kalibracyjne Beamex	10
	akademia automatyki	Pomiary fotometryczne w przemyśle chemicznym	14

wydawca

introl

automatyka i pomiary

Introl Sp. z o.o.
ul. Kościuszki 112, 40-519 Katowice
www.introl.pl

redakcja

Paweł Głuszek
Bogusław Trybus
Magdalena Pajor
Rafał Skrzypiciel
Adam Reimann

dodatkowe informacje i subskrypcja

www.podkontrola.pl

Drodzy Czytelnicy!

Pierwszą połowę roku kończymy nowym numerem „Pod Kontrolą”. Zapraszamy do lektury najnowszych artykułów od naszych specjalistów.

Z uwagi na rosnące ceny energii, para wodna stała się obecnie medium, którego zużycie jest coraz częściej i dokładniej kontrolowane. O pomiarze przepływu pary wodnej już pisaliśmy, tym razem autor skupia się na nowym rozwiązaniu do bezinwazyjnego pomiaru pary o wysokiej temperaturze. Do tej pory pomiar takiego medium wymagał zastosowania metod inwazyjnych, które mają swoje zalety, ale też i liczne wady. Nowa technologia ultradźwiękowa CFM pozwala na pomiar przepływu pary wodnej o temperaturze nawet 630°C bez konieczności ingerencji w rurociąg. O zaletach tej innowacyjnej metody, a także o jej ograniczeniach przeczytacie Państwo w „Temacie wydania”.

Konieczność utrzymania dokładności aparatury pomiarowej na odpowiednim poziomie wymaga jej kalibracji. To prawda znana wszystkim pomiarowcom. Do wzorcowania aparatury na obiekcie służą kalibratory dokumentujące. One, podobnie jak każde inne urządzenia, także wymagają ponownych kalibracji, aby zachować dokładność zgodną ze specyfikacją. Utrata dokładności użytkowanych kalibratorów to nie jedyna bolączka osób odpowiedzialnych za dokładność aparatury pomiarowej na zakładzie. Trudne warunki przemysłu to także ryzyko uszkodzenia mechanicznego kalibratora, presja czasu i możliwości popełnienia błędu czy pominięcia wymaganego okresu kalibracji. Naprzeciw tym wszystkim problemom wychodzi Beamex, którzy oferuje specjalne usługi i oprogramowanie gwarantujące niezakłócony proces wzorcowania aparatury. Przedstawiamy je w „Dobrej praktyce”.

Światło i wykorzystujące je do pomiarów różnych parametrów fotometry były już nie raz tematem naszych artykułów. Tym razem autor „Akademii automatyki” skupia się na wykorzystaniu tych wszechstronnych urządzeń pomiarowych w branży chemicznej. Pomiar barwy, kontrola procesu filtracji czy monitorowanie rozdziału faz w procesie ekstrakcji lub dosalania to tylko niektóre z zastosowań pomiarów fotometrycznych. Wszystkie miejsca i procesy, w których znajdują zastosowanie fotometry przemysłowe opisuje autor „Akademii automatyki”.

Zapraszam do lektury
Wojciech Mutwicki
prezes zarządu



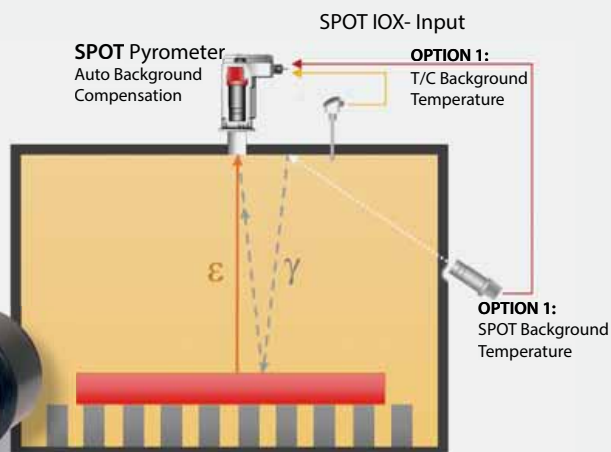


Nowe modele pirometrów stacjonarnych

W ofercie stacjonarnych pirometrów przemysłowych marki Ametek Land pojawiły się dwa nowe modele: pirometr SPOT+ M390 i pirometr wysokotemperaturowy SPOT+ M390 HT.

Będące częścią rodziny inteligentnych pirometrów SPOT+ nowe modele SPOT+ M390 wypełniają lukę i zastępują wycofany System 4 FTS (do pomiarów elementów w piecach). Pirometry działają na długości fali 3,9 μm w zakresie temperatur 150...1800°C lub 300...2500°C (dla wersji HT) i oferują zwiększone możliwości pomiarowe.

Podobnie jak wszystkie pirometry SPOT i SPOT+, modele te są samodzielnymi urządzeniami o zaawansowanych funkcjonalnościach i wydajności, w tym bezpośrednim, szybkim i kompleksowym przetwarzaniu danych w urządzeniu. Wszechstronność pirometrów SPOT+ M390 czyni je szczególnie odpowiednimi do optymalizacji pracy pieca i szerokiego zakresu zastosowań, obejmujących: obróbkę cieplną, nagrzewanie indukcyjne, dodatkową obróbkę metali i nie tylko.



Modułowy system monitorowania jakości wody pitnej

Branża wodno-ściekowa zyskuje nowe, innowacyjne rozwiązanie zapewniające pełną kontrolę online jakości wody pitnej. Pipe::scan to modułowy system do monitorowania jakości wody pitnej w dowolnym punkcie sieci dystrybucyjnej. Mierzy do 10 parametrów w jednym urządzeniu: **OWO, DOC, UV254, mętność, kolor, chlor, pH/redoks, przewodność, temperaturę i ciśnienie**. System, w zależności od wymagań użytkownika, może być złożony z maksymalnie 4 czujników. Pipe::scan zapewnia dokładny pomiar zgodny ze standardami w odniesieniu do pomiarów laboratoryjnych, monitorowanie substancji organicznych i zmełnienia oraz wykrywanie zdarzeń niepożądanych z alarmami **w czasie rzeczywistym**. Montaż systemu monitorowania wody pitnej pipe::scan oraz poszczególnych czujników można przeprowadzić **bez przerywania przepływu/ciśnienia**. Dane z pomiarów w czasie rzeczywistym mogą być przesyłane do dowolnej centralnej bazy danych za pośrednictwem niemal

dowolnego protokołu komunikacyjnego za pomocą terminala co-n::cube. Dzięki modułowej budowie, łatwemu montażowi i możliwości pomiaru wielu parametrów wody metoda oparta o wielopunktowe rozmieszczenie systemów pipe::scan to idealne rozwiązanie do monitorowania wody pitnej w dowolnym punkcie sieci.



Nowe filmy instruktażowe z instalacji browarniczej



Pomiar stężenia
brzezki

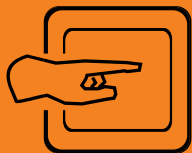


Beziwazyjny pomiar
przepływu brzezki
i wody lodowej

Subskrybuj. Bądź na bieżąco!
www.youtube.com/@Introl1990

introl

automatyka i pomiary



mgr inż. **KRZYSZTOF KARASIAK**

Absolwent Politechniki Śląskiej wydziału Chemicznego na kierunku Technologia Chemiczna. W Intro-lu od czerwca 2014 a obecnie na stanowisku Kierownika Działu Pomiarów Przepływu. Specjalizuje się w pomiarach przepływu za pomocą przepływomierzy bezinwazyjnych ultradźwiękowych oraz masowych Coriolisa.

tel. 785 900 874

Bezinwazyjny ultradźwiękowy pomiar przepływu pary o wysokim reżimie temperaturowym – czy to możliwe?

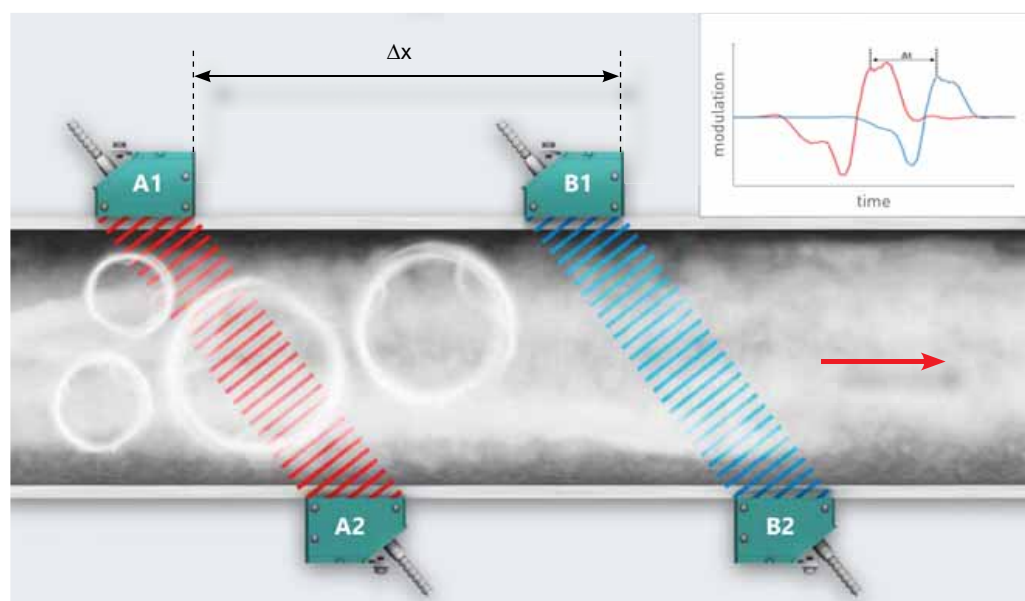
Procesy technologiczne w przemyśle np. w energetyce, ciepłownictwie, przemyśle chemicznym wykorzystują parę wodną jako ważne medium technologiczne. Para wodna, dzięki swym właściwościom fizykalnym, jest często używanym w przemyśle czynnikiem termodynamicznym. W elektrowniach, gdzie pracują kotły parowo-gazowe, służy głównie do napędu turbin parowych, w innych gałęziach przemysłu wykorzystuje się parę wodną jako nośnik ciepła. Para wodna jest skraplana w wymienniku ciepła lub w bezpośrednim systemie grzewczym, co daje entalpię parowania w procesie w postaci ciepła. Para wodna ma więc bardzo szerokie zastosowanie, co definitywnie wskazuje na konieczność jej opomiarowania oraz optymalizacji zużycia poprzez kontrolowanie przepływu, co znacząco przekłada się na względy ekonomiczne zużycia tego medium.



TECHNOLOGIA CFM

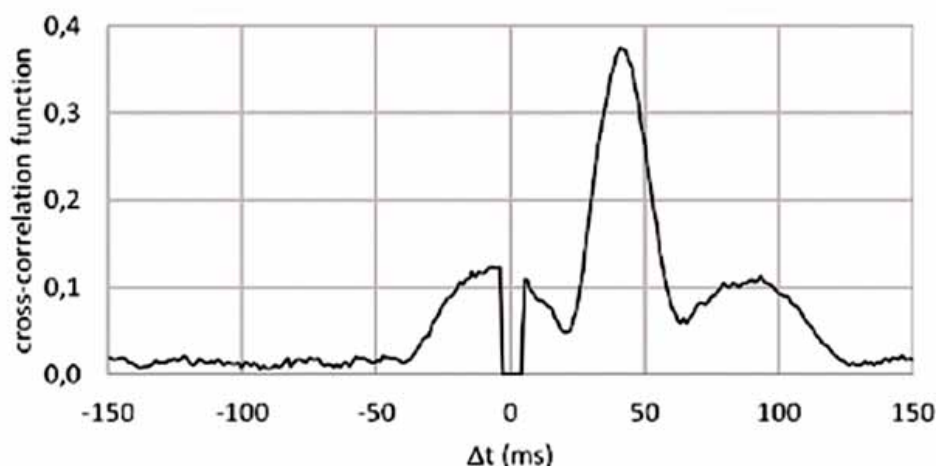
Czym jest technologia CFM? Prędkość przepływu płynu (np. pary wodnej) mierzy się stosując zasadę korelacji. Dwie pary sond pomiarowych ultradźwiękowych tego samego typu montuje się jedna za drugą w odległości Δx na rurze całkowicie wypełnionej płynem, jak to pokazano na rysunku 1. Ścieżki par sond pomiarowych tworzą bariery pomiarowe A i B. Sygnały ultradźwiękowe są naprzemiennie emitowane przez sondy pomiarowe nadawcze A1 i B1 oraz odbierane przez odpowiednie sondy odbiorcze A2 i B2. Amplituda

i faza sygnałów ultradźwiękowych są modulowane przez zawirowania występujące w przepływie turbulentnym. Ponieważ wiry poruszają się wraz z przepływem, przechodzą przez bariery pomiarowe A i B z przesunięciem czasowym Δt , w taki sposób, że wzorce modulacji sygnałów ultradźwiękowych bariery pomiarowej A i B są również przesunięte o Δt , jak to pokazano na rysunku 1. Czas przesunięcia Δt jest mierzony za pomocą korelacji krzyżowej sygnałów modulacyjnych. Typową funkcję korelacji krzyżowej sygnałów modulacyjnych pokazano na rysunku 2.



Rysunek 1

CFM - Konfiguracja pomiaru przepływu z korelacją krzyżową (po lewej) i ilustracja przesunięcia czasowego pomiędzy wzorami modulacji sygnału modulacji A i B (po prawej)



Rysunek 2
Funkcja korelacji krzyżowej sygnałów modulacyjnych A i B

Wskazana bezinwazyjna metoda pomiarowa przeznaczona jest głównie do procesów technologicznych, gdzie temperatura pary jest bardzo wysoka, a para jest przegrzana bez kondensacji (np. para świeża stosowana do napędzania turbin parowych). Typowe zastosowania to: rozliczenia wewnętrzne rozchodu pary, monitoring procesu oraz bilansowanie zużycia. Głównymi odbiorcami będą zatem elektrownie produkujące energię, zakłady przetwarzania odpadów, przemysł chemiczny i rafineryjny oraz pozostałe zakłady wytwórcze.

CFM to innowacyjne wykorzystanie technologii ultradźwiękowej bezinwazyjnej do pomiaru przepływu pary wodnej. Przypomnijmy, że bezinwazyjność oznacza brak ingerencji w proces technologiczny. Dzięki temu wyeliminowane są wszelkiego rodzaju zagrożenia wynikające

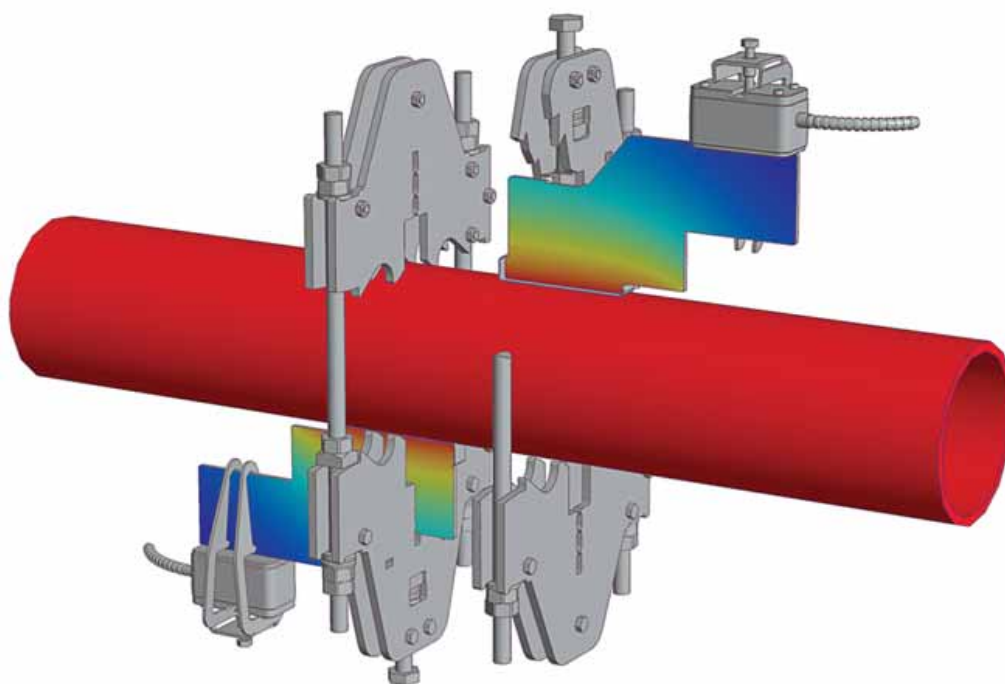
z rozszczelnienia połączeń procesowych oraz możliwość prowadzenia pomiaru przepływu bez konieczności zatrzymywania procesu technologicznego, co przekłada się na oczywiste korzyści ekonomiczne.



CFM W PRAKTYCE

Na rurociągu montujemy sondy pomiarowe, które są przystosowane do pomiaru pary wodnej. W zależności od zakresu temperatury, sondy montowane są bezpośrednio na rurociągu, bądź za pomocą specjalnej nakładki wysokotemperaturowej WaveInjector skonstruowanej do procesów technologicznych o wysokim reżimie temperaturowym (rysunek 3).

Technologia CFM umożliwia nieinwazyjny pomiar na rurociągach o średnicy zewnętrznej w za-



Rysunek 3
Nakładka wysokotemperaturowa WI

Przeptywomierz bezinwazyjny w technologii CFM mierzy przepływ masowy pary wodnej w temperaturze do 630°C.



kresie 10 – 900 mm. Maksymalna temperatura czynnika mierzonego sięga aż 630°C! Warunkiem zaimplementowania tej technologii jest wartość Reynolds powyżej 10000 (warunek konieczny). Nieodzownym elementem układu pomiarowego jest konieczność montażu przylgowego bądź bezinwazyjnego czujnika temperatury. Urządzenie posiada także wejście pod pomiar ciśnienia do pełnej kompensacji. Dzięki nim uzyskujemy pomiar skompensowany, a także możemy odnieść ten pomiar do masy przepływającej pary wodnej. Uchwyty montażowe sond pomiarowych oraz nakładki wysokotemperaturowej również mogą być całkowicie zaizolowane w celu zmniejszenia jakichkolwiek strat ciepła do otoczenia.

Metoda pomiarowa CFM jest pożądana zwłaszcza tam, gdzie proces technologiczny jest prowadzony w sposób ciągły (np. produkcja energii elektrycznej zwłaszcza w fazie dużego zapotrzebowania) i nie ma możliwości jego zatrzymania. Bezinwazyjny pomiar nie powoduje strat ciśnienia, co często jest istotnym czynnikiem w optymalizowaniu procesów technologicznych wykorzystujących parę wodną. Dzięki temu, technologia bezinwazyjna ma relatywną przewagę nad technologiami inwazyjnymi, działającymi na zasadzie pomiaru różnicy ciśnień (kryzy, dysze, stożki spiętrzające) czy bardzo popularnymi przepływomierzami typu Vortex. Bezinwazyjny pomiar przepływu pary oznacza również pomiar bez bezpośredniego kontaktu z medium płynącym w rurze, co redukuje możliwości wycieków do zera.

Przepływomierz bezinwazyjny w technologii CFM mierzy przepływ masowy pary wodnej w temperaturze do 630°C, gdzie minimalna wartość ciśnienia wynosi 1 bar(a), zakładając, że para jest w stanie nasycenia bądź przegrzana.

Bezinwazyjna technologia ultradźwiękowa jest dostępna jako przetwornik stacjonarny dwu-

kanałowy (obsługa dwóch barier pomiarowych) FLUXUS G722 ST-HT. Model ten jest stacjonarnym przepływomierzem do pomiaru przepływu pary obsługujący różne cyfrowe interfejsy komunikacyjne, takie jak Profibus PA, Modbus RTU, TCP czy też HART.



BEZINWAZYJNA METODA POMIARU PRZEPŁYWU PARY WODNEJ CFM – DLA KOGO?

Technologia bezinwazyjna CFM wykorzystana do pomiaru przepływu pary wodnej jest rozwiązaniem bezkonkurencyjnym dla innych technologii pomiarowych z uwagi na jej montaż. W przeciwieństwie do przepływomierzy typu Vortex, nie wymaga ona redukcji rurociągu, w celu uzyskania poprawnych prędkości przepływu w niskich zakresach pomiarowych. Technologia ta dzięki zastosowaniu specjalnych sond pomiarowych oraz nakładki wysokotemperaturowej WI może pracować bez przerwy przez bardzo długi okres czasu, również w strefach zagrożenia wybuchem (I i II Strefa Ex).

Nie jest to jednak metoda uniwersalna i nie nadaje się do wszystkich procesów. Z uwagi na stosunkowo długi czas odpowiedzi na sygnał zwrotny (tzw. time response) wynoszący 10-35 s, metoda ta nie jest odpowiednia do procesów o dużej dynamice i szybkich zmianach wartości przepływu. Technologia dodatkowo nie umożliwia wykonania pomiaru „przepływu zerowego”, a zakresowość metody CFM wynosi zaledwie 1:25.

Dużym atutem rozwiązania bezinwazyjnego jest wyraźne obniżenie kosztów instalacyjnych, które przekładają się na brak wyłączenia pracy ciągłych technologicznych i maszyn oraz chłodzenia rurociągów, w celu zainstalowania na nich układów pomiarowych. Przepływomierze nie mają

”Typowe zastosowania technologii CFM to: rozliczenia wewnętrzne rozchodu pary, monitoring procesu oraz bilansowanie zużycia.



Rysunek 4
Przetwornik stacjonarny Fluxus G722 ST-HT i nakładka WaveInjector



Rysunek 5
Aplikacja z użyciem nakładki wysokotemperaturowej WI

kontaktu z medium procesowym, dzięki czemu ich żywotność jest znacząco większa.

Z punktu widzenia optymalizacji procesu rozwiązanie nieinwazyjne nie powoduje strat ciśnienia. To, w porównaniu z konkurencyjnymi

pomiarami z wykorzystaniem kryz pomiarowych czy przepływomierzy typu Vortex, przekłada się znacząco na wzrost wydajności procesu i mniejsze zużycie pary wodnej jako medium kluczowego.



Akustyczna kamera obrazowa CRYSOUND



Zobacz i usłysz więcej nieszczelności
i wyładowań niezupełnych



Ultrasound
Solutions



dobra praktyka

Kalibracja pod pełną kontrolą

Nowoczesne rozwiązania kalibracyjne Beamex



MICHAŁ DUDEK

W Introlu pracuje od 2007 roku. Zajmuje się wsparciem technicznym i doborem kalibratorów i pieców kalibracyjnych.

Tel: 601 589 949

Kalibrator do pracy w przemyśle musi charakteryzować się nie tylko dobrą dokładnością i rozbudowaną funkcjonalnością ale także, a może przede wszystkim, wyjątkowo trwałą konstrukcją. Urządzenia te pracują bowiem często w trudnych warunkach, narażone są na działania różnych niesprzyjających czynników. W przypadku urządzeń przenośnych do zagrożeń dochodzi także ryzyko upadku czy wstrząsów. Wszystko to sprawia, że kalibratory do pracy na obiekcie konstruowane są w taki sposób, aby zminimalizować ryzyko uszkodzenia mechanicznego, utraty dokładności czy na przykład rozszczelnienia obudowy. Nie zawsze jest to jednak możliwe, gdyż zdarzają się wypadki naprawdę ekstremalne. Na takie właśnie sytuacje Beamex proponuje specjalne usługi, w tym rozszerzoną gwarancję.



KALIBRATOR USZKODZONY MECHANICZNIE – I CO DALEJ?

Jednego z naszych klientów spotkało nietypowe zdarzenie. Podczas wykonywania prac kalibracyjnych na obiekcie, na kalibrator Beamex MC6-Ex spadł pomost **ważący 1200 kilogramów**. Co ciekawe, kalibrator dalej działał, pomimo licznych wgnieceń, a nawet dziury w obudowie. Niestety takie uszkodzenia skutkowały tym, że kalibrator utracił swoje właściwości związane z pracą w strefie zagrożenia wybuchem (ATEX).

Warunki standardowej gwarancji nie obejmują naprawy uszkodzeń fizycznych. Producent, firma Beamex zdając sobie sprawę, że ich kalibratory są wykorzystywane w większości przypadków do pracy na obiekcie, dodała do swojego portfolio specjalną usługę **Care Plan**.



DOKŁADNOŚĆ I NIEZAWODNOŚĆ SPRZĘTU BEAMEX PRZEZ CAŁY OKRES JEGO EKSPLOATACJI

Wszystkie kalibratory mogą stać się zawodne po pewnym czasie, jeśli nie będą okresowo serwisowane. Wymagają również regularnej kalibracji i przeglądu, aby zachować niezawodność i dokładność.

Naprawy wszelkich nieoczekiwanych uszkodzeń zazwyczaj są bardzo kosztowne i wiążą się z wyłączeniem z eksploatacji kalibratora na długi czas. Naprzeciw tym problemom wychodzi właśnie Care Plan, czyli program Beamexa zaprojektowany tak, aby pomóc użytkownikom kalibratorów w zachowaniu dokładności i niezawodności sprzętu pomiarowego przez cały okres jego użytkowania.



Rysunek 1

Kalibrator Beamex MC6-Ex uszkodzony mechanicznie



Care Plan Beamex to proste i łatwe rozwiązanie, dzięki któremu można zabezpieczyć swój sprzęt kalibracyjny. Usługa polega na trzyletniej umowie na przegląd i konserwację kalibratorów Beamex oraz na corocznej darmowej kalibracji w akredytowanym laboratorium producenta. Care Plan to także rozszerzona gwarancja obejmująca **uszkodzenia fizyczne**, jak również elementy zużywające się takie jak bateria.

Tak skonstruowana usługa daje użytkownikowi wyjątkową poduszkę bezpieczeństwa i pewność poprawnego działania kalibratora bez względu na to, co się z nim stanie. Warty zaznaczenia jest fakt, że usługą Care Plan mogą zostać objęte tylko kalibratory nowe, w okresie standardowej 3 letniej gwarancji producenta.



Rysunek 2
Kalibrator ze słuchonym ekranem dotykowym

To jednak nie wszystko, a Care Plan w skrócie obejmuje:

- coroczną ponowną kalibrację w Akredytowanym Laboratorium producenta,
- kalibrację As Found i As Left (w tym adiustację),
- bezpłatne naprawy, nawet w razie przypadkowego uszkodzenia mechanicznego kalibratora,
- wymiany części zużywających się, w tym baterii,
- aktualizację wewnętrznego oprogramowania do najnowszej wersji,
- bezpłatne przesyłki do i z laboratorium Beamex w Pietarsaari w Finlandii,
- pomoc techniczną,

- wzorcowanie w trybie priorytetowym z przyspieszonym czasem realizacji,
- coroczne powiadomienie e-mailem o wymaganej kalibracji.



KALIBRATORY STARSZE NIŻ 3 LATA LUB JUŻ NIE PRODUKOWANE – CO DALEJ?

W przypadku jeśli kalibrator Beamex nie może zostać objęty planem opieki Care Plan, można zastosować inne rozwiązanie pozwalające na zapewnienie dokładności pomiaru przez cały okres użytkowania kalibratora. Tym rozwiązaniem jest **plan corocznej kalibracji**. Plan kalibracji jest to umowa podpisywana na 3 lata, która obejmuje coroczne wzorcowanie w akredytowanym laboratorium producenta. W skład tego rozwiązania wchodzi:

- coroczne wzorcowanie w akredytowanym laboratorium,
- bezpłatne przesyłki do i z Beamexa,
- coroczne przypomnienie e-mail o zbliżającym się terminie kalibracji,
- aktualizacje wewnętrznego oprogramowania w kalibratorze,
- bezpłatna pomoc techniczna,
- wzorcowanie w trybie priorytetowym z przyspieszonym czasem realizacji.

„Care Plan to rozszerzona gwarancja obejmująca także uszkodzenia fizyczne.



DLACZEGO KONIECZNA JEST COROCZNA PONOWNA KALIBRACJA?

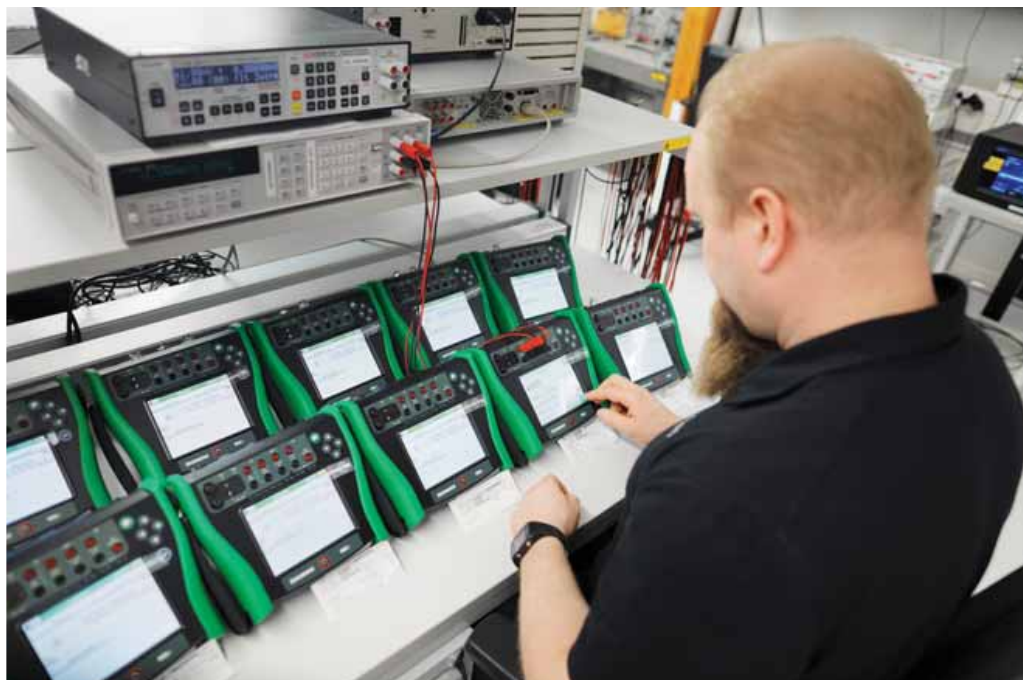
Na początku wyjaśnijmy, iż kalibracja i wzorcowanie to tożsame określenia tego samego procesu. Oba pojęcia oznaczają porównanie wskazań wzorca (o wyższej dokładności niż przyrząd sprawdzany) z urządzeniem wzorcowanym. Wszystkie przyrządy pomiarowe, w tym kalibratory, muszą być regularnie wzorcowane. Wynika to z naturalnego zjawiska jakim jest dryft czasowy – po określonym czasie wyniki pomiarów mogą przekraczać błąd dopuszczalny przez producenta. Przeprowadzając regularne wzorcowania (tzw. kontrolę metrologiczną) mamy więc pełną kontrolę nad dokładnością pomiarów jakie wykonujemy przy pomocy urządzenia pomiarowego.

Usługa	Care Plan Beamex	Plan Kalibracji w Laboratorium Beamex
Coroczne wzorcowanie w Akredytowanym Laboratorium	X	X
Bezpłatne przesyłki do i z fabryki Beamex	X	X
Bezpłatne naprawy, nawet w przypadku przypadkowego uszkodzenia	X	–
Rozszerzona gwarancja	X	–
Wymiana części zużywających się, w tym baterii	X	–
Coroczne przypomnienia e-mail o terminie kalibracji	X	X
Aktualizacje wewnętrznego oprogramowania	X	X
Bezpłatna usługa pomocy technicznej	X	X
Priorytetowa usługa z przyspieszonym czasem realizacji	X	X

Tabela 1
Porównanie Care Plan Beamex z planem corocznej kalibracji Beamex



„Użytkownik otrzymuje w LOGiCAL alerty o urządzeniach, które wkrótce będą wymagać ponownego wzorcowania.



Rysunek 3
Stanowisko kalibracyjne w Laboratorium

Regularne wzorcowanie posiadanych urządzeń świadczy zatem o dobrych praktykach oraz o wysokiej jakości wykonywanych usług.

A gdzie kalibrować kalibratory? Oczywiście tylko w laboratoriach z odpowiednią akredytacją przyznaną przez określone w danym państwie instytucje.



LABORATORIA KALIBRACYJNE BEAMEX

Akredytowane Laboratoria Beamex znajdują się w Pietarsaari w Finlandii oraz w Marietta w stanie Georgia w USA. Fińskie laboratorium Beamex posiada certyfikat ISO 9001 (od 1992) oraz akredytację ISO 17025 (od 1993) wydaną przez FINAS (Fiński odpowiednik Polskiego Centrum Akredytacji). W Stanach Zjednoczonych

laboratorium zapewnia kalibracje National Institute of Standards and Technology (Narodowy Instytut Norm i Technologii) NIST – amerykańska agencja federalna pełniąca funkcję analogiczną do Głównego Urzędu Miar.

Wiedząc już jak możemy zapewnić sobie poprawne działanie posiadanych kalibratorów, warto rozważyć także rozwiązanie pozwalające na całkowitą **digitalizację i automatyzację kalibracji** na obiekcie.



DIGITALIZACJA KALIBRACJI CZYLI OPROGRAMOWANIE LOGICAL

W ciągu ostatnich 30 lat Beamex dostarczał oparte na licencji oprogramowanie lokalne CMX. CMX w różnych wariantach nadal jest dostępne,



Rysunek 4
Cyfrowa kalibracja dzięki LOGiCAL



jednakże Beamex wprowadził do swojej oferty LOGiCAL – najnowsze oprogramowanie do zarządzania kalibracją.

Największą różnicą między oprogramowaniem CMX w stosunku do LOGiCAL jest to, że LOGiCAL jest oprogramowaniem subskrypcyjnym opartym na chmurze, działającym na podobnych zasadach do platform streamingowych. Wszystko co jest potrzebne do obsługi oprogramowania kalibracyjnego LOGiCAL to komputer stacjonarny lub laptop z połączeniem internetowym. Podstawowym celem oprogramowania LOGiCAL jest przechowywanie wyników kalibracji, a przez to pełna cyfryzacja i maksymalne zautomatyzowanie procesu kalibracji.

Rozpoczęcie pracy z LOGiCAL jest bardzo łatwe. Wszystko co należy zrobić, to wejść na stronę logic.beamex.com i zarejestrować się. Dzięki kalibratorom Beamex można od razu rozpocząć zapisywanie wyników w cyfrowej bazie danych. Wszystkie zapisywane wyniki będą przechowywane w chmurze na zabezpieczonych serwerach producenta. Bardzo przydatną funkcją są przypomnienia o zbliżającym się okresie kalibracji (do ustawienia indywidualnie przez użytkownika). W ten łatwy sposób użytkownik otrzymuje w LOGiCAL alerty o urządzeniach, które wkrótce będą wymagać ponownego wzorcowania zgodnie z ustalonym harmonogramem. Warte podkreślenia jest to, że oprogramowanie nie ogranicza się tylko do urządzeń Beamex i można w nim zarządzać aparaturą różnych producentów.

LOGiCAL to optymalne rozwiązanie do przechowywania wyników wzorcowania. Wyniki są przechowywane w bezpiecznym miejscu i są zawsze dostępne z każdego miejsca na świecie.

Cyfrowe wyniki to rozwiązanie pro-ekologiczne – pozwala na rezygnację z setek, czasami tysięcy papierowych wydruków. Oczywiście, użytkownik w każdym momencie może wygenerować świadectwo wzorcowania, aby przechowywać wersję papierową w swojej dokumentacji.

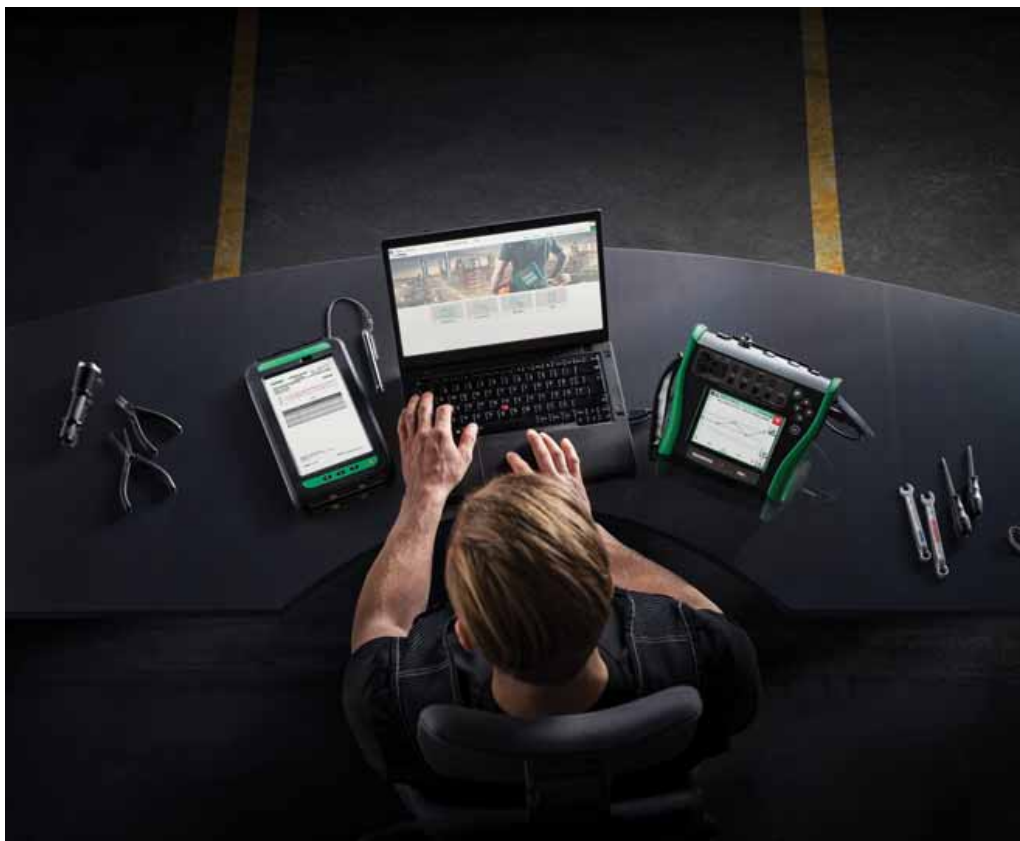
W celu przetestowania nowego oprogramowania producent umożliwia skorzystanie z bezpłatnej wersji próbnej. W tym celu należy zarejestrować się na stronie logic.beamex.com. Po zakończeniu okresu próbnego można uzyskać ofertę na zakup pełnej wersji lub zakupić subskrypcję online (minimalny okres subskrypcji wynosi jeden miesiąc). Zautomatyzowany, zdigitalizowany proces kalibracji to także inne wymierne korzyści. Dzięki niemu oszczędzamy czas potrzebny na wzorcowanie i unikamy błędów czysto ludzkich, związanych na przykład z pominięciem daty niezbędnego wzorcowania. Wszystko po to, aby maksymalnie uprościć proces wzorcowania aparatury na obiekcie.

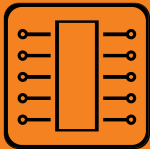


KALIBRACJA XXI WIEKU

Care Plan, plan corocznej kalibracji czy oprogramowanie do cyfrowego zarządzania kalibracją w chmurze to rozwiązania wychodzące naprzeciw wymaganiom nowoczesnego przemysłu. Dają one użytkownikom poczucie bezpieczeństwa pozwalając utrzymać dokładność i niezawodność posiadanych kalibratorów, nawet w przypadku uszkodzeń fizycznych. Umożliwiają również pełną digitalizację procesu kalibracji, rezygnację z papierowych wydruków, oszczędność czasu i redukcję ryzyka pominięcia wymaganego wzorcowania i innych błędów.

Regularne wzorcowanie urządzeń świadczy o dobrych praktykach oraz o wysokiej jakości wykonywanych usług.





Pomiary fotometryczne w przemyśle chemicznym



ŁUKASZ MIODEK

Absolwent Politechniki Śląskiej, Wydziału Górnictwa i Geologii. W Introlu pracuje od 2022 roku w dziale pomiarów fizykochemicznych. Zajmuje się doбором oraz doradztwem w zakresie pomiarów fotometrycznych oraz pomiarów wilgotności materiałów sypkich.

tel. 885 633 383

Fotometry to jedne z tych urządzeń, które opierają się na technice pomiarowej pozwalającej na wyjątkowo szerokie zastosowanie w kontroli różnych parametrów procesowych. Możemy nimi mierzyć barwę, mętność, kontrolować proces filtracji, monitorować wycieki z wymienników ciepła. Odpowiednio dobrany fotometr może także mierzyć stężenie w cieczach i umożliwić detekcję rozdziatu faz. W artykule przypomnimy nieco teorii związanej z fotometrami i przybliżymy rolę procesowych pomiarów fotometrycznych na konkretnych przykładach aplikacji stosowanych w przemyśle chemicznym.



ODROBINA PRZYPOMNIENIA, CZYLI CZYM SĄ POMIARY FOTOMETRYCZNE?

Najprościej ujmując można stwierdzić, że pomiary fotometryczne polegają na pomiarach absorpcji światła. Można ją wyrazić jako ujemny logarytm transmitancji, czyli ujemny logarytm stosunku ilości światła, które dotarło do detektora, do ilości światła wyemitowanego przez źródło światła. Fotometria bazuje na prawie Lamberta-Beera, które mówi, że absorbanca jest wprost proporcjonalna do grubości warstwy pochłaniającej światło oraz stężenia roztworu. Pozwala to zobrazować tę zależność jako krzywą liniową, a nie logarytmiczną:

$$CU = -\log(T) = \varepsilon \cdot c \cdot d$$

gdzie:

CU – oznaczenie jednostki absorpcji stosowana przez firmę optek

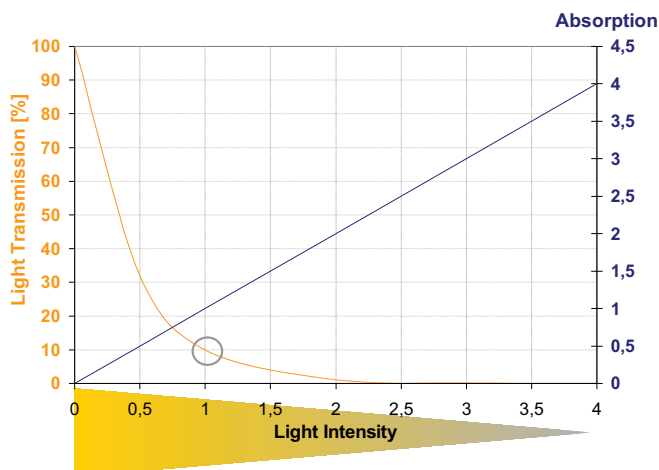
$$T = I_1 / I_0$$

T – transmitancja

ε – molowy współczynnik absorpcji medium, przez które przechodzi światło [l/mol·cm]

c – stężenie absorbenta [mol/l]

d – grubość warstwy pochłaniającej (OPL) [cm]



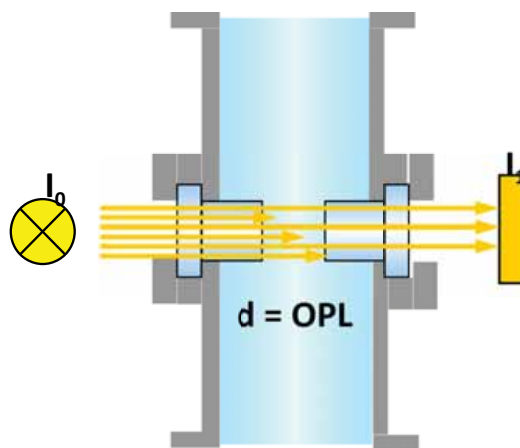
Rysunek 1
Krzywe obrazujące prawo Lamberta-Beer'a



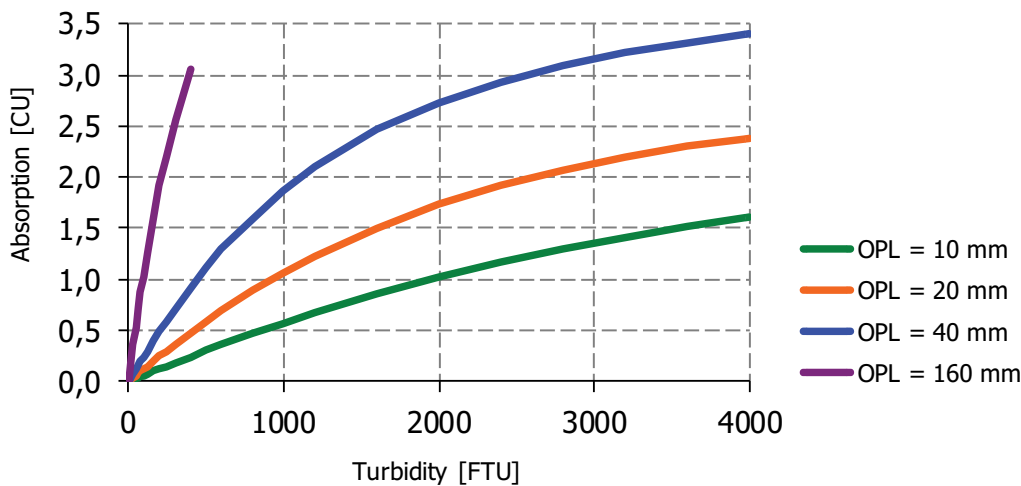
JAK TO WYGLĄDA W PRAKTYCE?

Surową jednostką absorpcji używaną przez firmę optek, jednego z czołowych producentów fotometrów przemysłowych, jest jednostka CU. Jest to oznaczenie jednostki absorpcji, za pomocą której możemy określić barwę, mętność lub stężenie niektórych substancji w roztworze lub zawiesinie. W praktyce, grubością warstwy z prawa Lamberta-Beera jest długość drogi optycznej. Naszą drogą optyczną jest odległość między szkiełkami umieszczonymi w komorze przepływowej (rysunek 2). Droga optyczna musi być dobrana w taki sposób, żeby wiązka światła przechodząca przez medium procesowe nie straciła całkowicie swojego natężenia (w wyniku absorpcji) zanim dotrze do detektora. Patrząc na rysunek nr 1 widzimy, że optymalna absorpcja powinna się mieścić w granicach między 1 a 2 CU.

Właściwy dobór tej odległości umożliwia dostosowanie urządzenia do warunków aplikacyjnych, w zależności od stężenia mierzonego medium. W tym celu ważne jest poznanie zakresu zmętnienia lub barwy danego medium. Jak widzimy na rysunku 3, im większa wartość zmętnienia, tym droga optyczna musi być krótsza. Przy



Rysunek 2
Długość drogi optycznej (OPL)



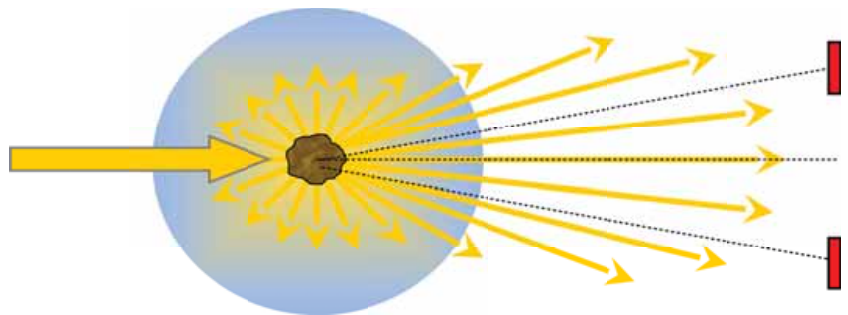
Rysunek 3
Zależność absorpcji od długości drogi optycznej (OPL)

pomiarach niskich wartości droga optyczna musi natomiast zostać wydłużona.

Zostawmy dalsze teoretyczne rozważania naukowcom akademickim. W praktyce przemysłowej, bazujące na pomiarach absorpcji światła pomiary fotometryczne wykorzystywane są do pomiaru mętności, barwy oraz pomiaru stężenia niektórych substancji w roztworach.

W rzeczywistości modułowa budowa systemów pomiarowych pozwala na ogromne możliwości adaptacyjne do danej aplikacji. Na rysunku 4 możemy zobaczyć z czego składa się fotometr.

Wskutek napotkania cząsteczki, wiązka światła najintensywniej rozprasza się w przód, dlatego detektory światła rozproszonego umieszczone są pod kątem 11 stopni



Rysunek 5
Rozproszenie wiązki światła w przód na cząsteczce ciała stałego obecnego w medium procesowym z zaznaczonymi detektorami pod kątem 0° i 11°



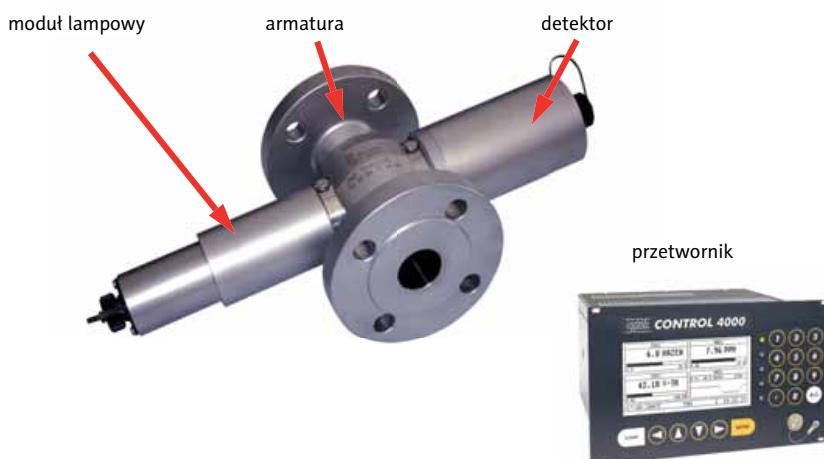
POMIAR MĘTNOŚCI

Do pomiarów mętności wykorzystujemy fale NIR (bliska podczerwień) o długości 730-970 nm, które zapewniają brak wpływu barwy medium na pomiar. Dla dużych wartości natężenie światła mierzone jest przez detektor umieszczony pod kątem 0°. Z kolei dla niskich wartości pomiar odbywa się za pomocą detektorów umieszczonych pod kątem 11° względem źródła światła, które mierzą natężenie światła rozproszonego.



POMIAR BARWY

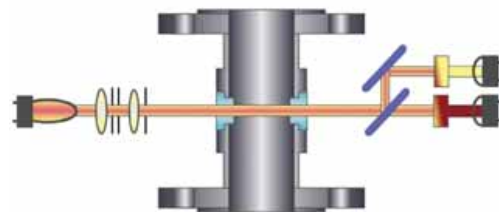
Do pomiarów barwy cieczy stosuje się zjawisko absorpcji fal elektromagnetycznych z zakresu światła widzialnego. W roztworach, w których wy-



Rysunek 4.
Modułowa budowa fotometru

” **Możliwość monitorowania stężenia chloru na wylocie z reaktora zapobiega zanieczyszczeniu atmosfery przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia i emisji chloru.**

stępują cząstki stałe, fotometry optek mają możliwość pomiaru barwy z kompensacją zmętnienia. Na jednym kanale dokonywany jest wtedy pomiar całkowitej absorpcji (barwa+ mętność), a na drugim kanale drugi detektor dokonuje pomiaru mę-



Rysunek 6
Schemat fotometru mierzącego barwę z kompensacją zmętnienia na drugim kanale

ności. Następnie w konwerterze od całkowitego wyniku pomiaru absorpcji odejmowana jest wartość zmętnienia z drugiego detektora.

Wiedząc już jak działają fotometry, jak są zbudowane i do czego służą przyjrzymy się bliżej przykładowym zastosowaniom tych urządzeń w zakładach chemicznych.



KONTROLA STĘŻENIA CHLORU

Chlor odgrywa znaczącą rolę w produkcji chemikaliów, leków, środków dezynfekcyjnych, wybielaczy i środków owadobójczych. Fotometry optek zapewniają niezawodne i powtarzalne pomiary stężenia chloru wykonywane w czasie rzeczywistym, bez konieczności pobierania próbek. Pomiary są możliwe w niskich i wysokich zakresach procentowych dla fazy gazowej oraz na poziomie ppm dla faz ciekłych. W szerokiej gamie mierników fotometrycznych dostępne są opcje obejmujące wykonanie czujników w wersji wysokociśnieniowej, wysokotemperaturowej, wykonanie dla obszarów zagrożonych wybuchem ATEX i FM. Warto przy tej okazji wspomnieć, że pomiary innych halogenów, takich jak fluor, brom i jod, również mogą być realizowane za pomocą fotometrów.

Wykorzystując dwukanałowe czujniki AF26 możemy dokonywać pomiaru na dwóch długościach fali, co pozwala automatycznie kompen-

sować zmętnienie tła lub występowanie innych stałych składników medium. Konwerter optek C4000 przetwarza do dwóch wejść mA, co pozwala na wyświetlenie innych parametrów z podłączonych sond i kompensację wyniku od innego parametru. Dzięki temu konwerter wyświetla skompensowany sygnał i przesyła go przez wyjścia mA lub opcjonalnie za pomocą PROFIBUS® PA lub FOUNDATION Fieldbus™.

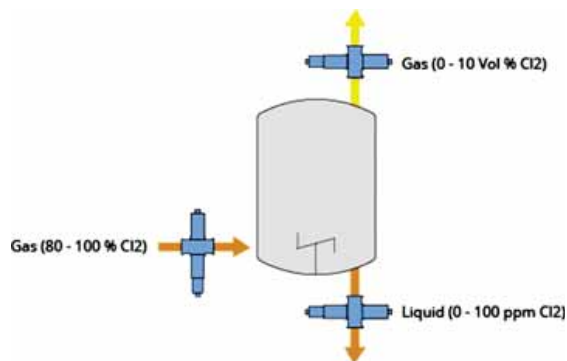
Jak widać na rysunku 7, chlor gazowy jest mierzony na wlocie reaktora w celu określenia rzeczywistego stężenia. Stężenie chloru w fazie gazowej może być również monitorowane na wylocie reaktora ze względów prawnych i środowiskowych oraz w celu określenia rzeczywistego stężenia. Monitorowanie tych punktów zapewnia najwyższą wydajność procesu, minimalizuje straty produktu i zmniejsza emisję. Ze względu na agresywne medium chemiczne, zwilżane części fotometru są wykonane z materiałów odpornych na korozję, takich jak tytan; szafirowe okna i o-ringi z fluoroelastomeru. Udowodniono, że materiały te wytrzymują silnie korozyjne media, takie jak właśnie mokry chlor.

Możliwość monitorowania stężenia chloru na wylocie zapobiega zanieczyszczeniu atmosfery przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia i nadmiernej emisji chloru w reakcjach chlorowania. Sterowanie szybkością podawania do reaktora (chloratora) pozwala zmaksymalizować wydajność produkcji i minimalizuje koszty.

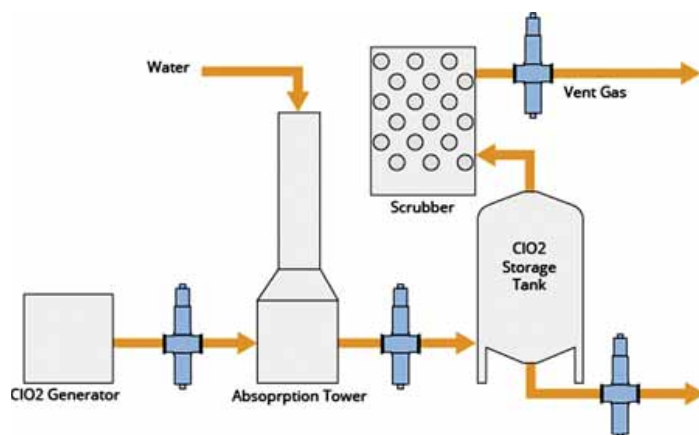


KONTROLA FILTRACJI

W wielu procesach przemysłowych występuje etap filtracji, aby otrzymać klarowny produkt. Filtracja składa się z wielu etapów – od filtracji wstępnej, filtrowania za pomocą separatorów, dekanterów lub zbiorników osadzających, do końcowej filtracji realizowanej za pomocą np. pras filtracyjnych. Do kontroli klarowności produktu, mętnościomierz może być instalowany na początku procesu filtracji i pomiędzy każdym z jej etapów. Jeśli zmętnienie produktu będzie na poziomie niedopuszczalnym, strumień może być automatycznie zawrócony lub przetłaczany na inny filtr.



Rysunek 7
Opomiarowanie reaktora w celu określenia stężenia chloru w czasie rzeczywistym



Rysunek 8
Przykład opomiarowania ClO_2 na linii produkcyjnej

Fotometry mogą monitorować i kontrolować dozowanie środków wspomagających filtrację takich jak np. ziemia okrzemkowa. Dzięki temu można zmniejszyć ich zużycie i wydłużyć efektywną pracę filtra, gdyż dozowana jest tylko taka ilość środków filtracyjnych, jaka jest niezbędna do skutecznej filtracji. Warto pamiętać bowiem, że ich nadmierna ilość skraca czas efektywnej filtracji, a wydłuża czas filtracji nieefektywnej oraz zwiększa straty produktu i przestoje w procesie.

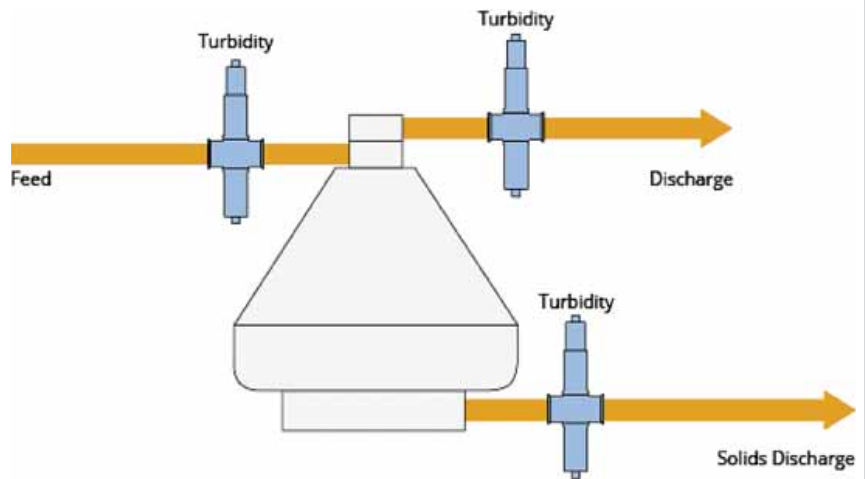
Czujniki mętności można użyć do kontroli filtratu, który w miarę osadzania się warstwy wstępnej, stopniowo się klaruje. W momencie, gdy czujnik wykryje, że filtrat osiągnął akceptowalną klarowność, konwerter daje odpowiedni sygnał do sterownika.

Do monitoringu wstępnej filtracji bardzo często używany jest czujnik mętności AF16-N. Jest on zaprojektowany do pomiaru wysokich wartości zmętnienia w celu uniknięcia zatkania się filtra i jego awarii. Po wykryciu zdefiniowanego przez użytkownika wysokiego poziomu zmętnienia, filtr można przełączyć w tryb recyrkulacji, a przychodzący produkt jest kierowany do osadnika, separatora lub poddany ponownej filtracji.

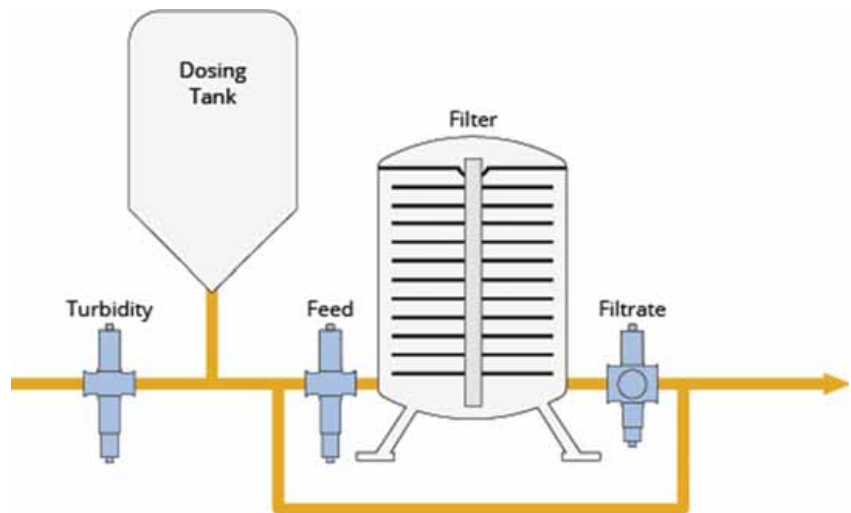
Aby zapewnić pożądaną jakość i klarowność produktu, konieczny jest pomiar zmętnienia na wylocie filtra. Mętnościomierz TF16-N z detektorem światła rozproszonego precyzyjnie monitoruje bardzo niskie stężenia ciał stałych w zawiesinie – od 0 ... 0,5 do 0 ... 500 PPM lub 0 ... 0,2 do 0 ... 200 FTU.

Zastosowanie czujników fotometrycznych w procesie filtracji zmniejsza ryzyko błędów operatora, awarii sprzętu oraz związanych z nią przestojów, a także pozwala zachować odpowiednią klarowność produktu.

Warto dodać, że czujnik inline może być również wykorzystany do optymalizacji procesu płukania filtra, poprzez pomiar zmętnienia wody, oszczędzając czas, energię i zużycie wody.



Rysunek 9
Opomiarowanie separatora



Rysunek 10
Kontrola mętności za i przed filtrem

światłowej i określonej długości drogi optycznej (OPL) i odnosi się do stężenia składników kolorowych rozpuszczonych w roztworze, które oddziałując absorbują światło.

Konwerter C4000 koreluje zmiany w absorpcji ze skalami kolorów, takimi jak: ALPHA/Hazen, ASTM, Saybolt lub inne, i generuje sygnał wyjściowy do sterowników PLC lub DCS, używając wyjść analogowych, Profibus PA® lub Foundation Fieldbus. Konwerter posiada oczywiście lokalny wyświetlacz umożliwiający w czasie rzeczywistym natychmiastowy dostęp do bieżących parametrów procesu.

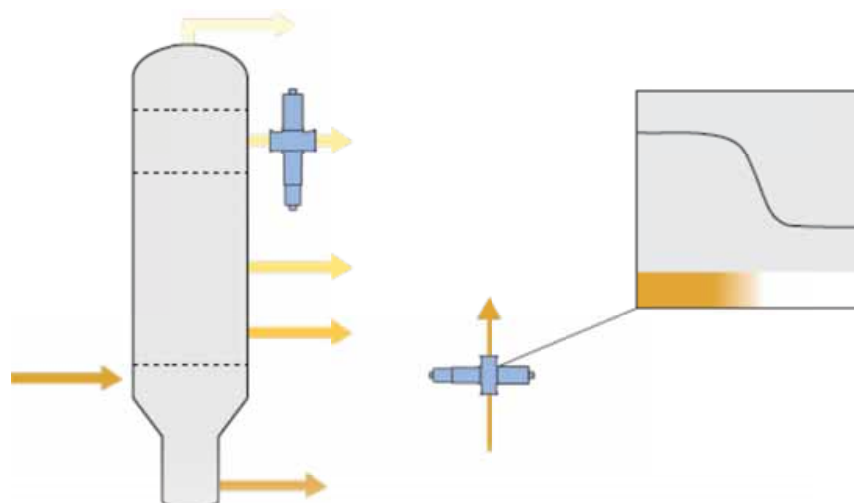
Zastosowanie fotometrów inline do pomiaru barwy i absorpcji pozwala na wykrywanie domieszek bezpośrednio w procesie i monitorowanie jakości produktu w czasie rzeczywistym. Przy okazji stosując pomiary fotometryczne zmniejszamy straty produktu, redukujemy koszty laboratorium i produkcji, eliminujemy ludzkie błędy i zapobiegamy nadmiernemu zanieczyszczeniu środowiska.



BARWA I STĘŻENIE W ROZTWORZE

Pomiary barwy płynów są bardzo ważne dla utrzymania precyzyjnej kontroli procesu i spełnienia określonych wymagań dotyczących jakości produktu. Zmiany barwy mogą wskazywać na różne zmienne procesowe, takie jak przegrzewanie, zmiana proporcji rozcieńczania, obecność rozpuszczonych zanieczyszczeń i, w konsekwencji, obniżoną jakość produktu końcowego. Zazwyczaj pomiary barwy w procesie są dokonywane poprzez pobieranie próbek i analizę ich w laboratorium, zarówno wizualnie, jak i za pomocą analizatora laboratoryjnego. Kolorymetry procesowe optyk umożliwiają precyzyjne wykrywanie zmian barwy **bezpośrednio w procesie**.

Pomiar barwy jest przedstawiony w jednostkach absorpcji (CU) przy określonej długości fali



Rysunek 11.

Kontrola barwy w procesie rafinacji pozwala na ciągły pomiar i natychmiastowe wykrycie zakłóceń w procesie



MONITOROWANIE WYCIEKÓW, WYMIENNIKÓW CIEPŁA I KONDENSATÓW KOTŁOWYCH

Monitorowanie wymienników ciepła to bardzo powszechne zastosowanie. W wymiennikach ciepła woda znajdująca się po stronie zimnej jest medium odbierającym ciepło. Po stronie gorącej zaś jest medium oddające ciepło. To właśnie monitorowanie wycieków medium gorącego do zimnego (np. węglowodory) jest tutaj głównym celem. W przypadku gdy wyciekające medium jest nierozpuszczalne, stronę zimną można monitorować za pomocą czujnika mętności TF16-N, który może wykrywać oleje, aminy, cząstki, węglowodory, a nawet pęcherzyki gazu na poziomie pojedynczych ppm.

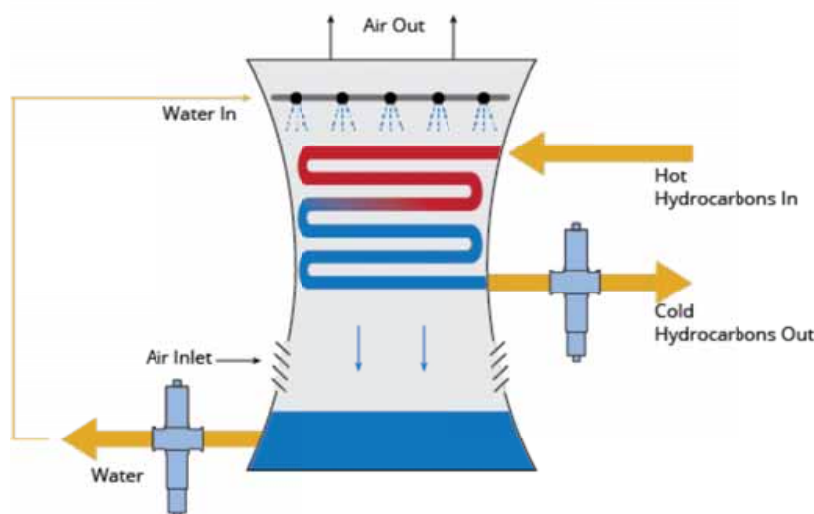
W przypadku gdy wyciekające medium jest rozpuszczalne w wodzie i powoduje pewien rodzaj zanieczyszczenia, którego wynikiem jest zmiana barwy, wtedy można monitorować wodę

za pomocą dwukanałowego czujnika absorpcji AF26, również w zakresie pojedynczych ppm. AF26 może wykrywać praktycznie wszelkie zanieczyszczenia powodujące zmianę barwy i może wykrywać wiele chemikaliów nawet w zakresie pojedynczych ppm.

W przypadku korzystania z naturalnego źródła wody w jednoprzepływowym wymienniku ciepła, gdzie może ona zawierać pewien poziom mętności lub barwy, fotometr C4000 może monitorować wskazania czujników na wejściu i wyjściu wymiennika oraz raportować pomiar różnicowy. Ze względu na wysokie ciśnienia i temperatury, w zastosowaniach tych często używa się czujników w wykonaniu wysokotemperaturowym, gdzie temperatura procesu może wynosić nawet do 240°C, a ciśnienie do 100 bar. Czujniki można instalować w rozmiarach rurociągów do 6 cali i są dostępne w wielu rodzajach przyłączy procesowych i materiałów.

Podobnie jak w wymienniku ciepła, także zanieczyszczenia w kondensacie kotłowym i woda

» Zastosowanie fotometrów inline do pomiaru barwy i stężenia pozwala na wykrywanie domieszek bezpośrednio w procesie i monitorowanie jakości produktu w czasie rzeczywistym.



Rysunek 12

Wykrywanie nieszczelności wymiennika ciepła

chłodząca muszą być monitorowane. Pozwala to zapobiec uszkodzeniu systemu kotłowego i kosztownej naprawy. Ciągły monitoring umożliwia ponowne wykorzystanie kondensatu lub ponowne odparowanie w celu oszczędności energii, wody i substancji chemicznych.

Różne zanieczyszczenia wymagają użycia różnych czujników do monitorowania kondensatu. Monitorowanie kondensatu kotłowego to powszechne zastosowanie, w którym wymagane są wersje czujników firmy optek w wykonaniu wysokotemperaturowym, ponieważ temperatury jakie tam mogą występować, mogą osiągnąć temperaturę znacznie ponad 100°C.



DETEKCJA GRANICY FAZ

Ekstrakcja wysokokosztowych produktów z warstwy wodnej do warstwy organicznej (lub odwrotnie), lub procesy dosalania/odsalania są bardzo powszechne i ważne w przemyśle chemicznym. Po osadzeniu mieszanki w reaktorze wsadowym, faza wodna jest oddzielana od fazy organicznej. W zależności od warunków procesu, można to monitorować za pomocą czujnika barwy optek AF26 lub AF16 wykorzystującego zjawisko absorpcji światła na wylocie reaktora, aby zapewnić precyzyjny rozdział.

Każda faza ciekła różni się stopniem pochłaniania światła. Ta technika pomiarowa pozwala na optymalizację procesów separacji, minimalizując jednocześnie straty produktu i osiągając redukcję kosztów.

Zastosowanie czujników optek do pomiaru barwy lub mętności bezpośrednio w linii procesu, podobnie jak w poprzednich zastosowaniach, redukuje koszty, eliminuje błąd ludzki związany

z monitorowaniem przez personel za pomocą wznęków i eliminuje straty związane z czasem reakcji i ręcznym przełączaniem zaworów.

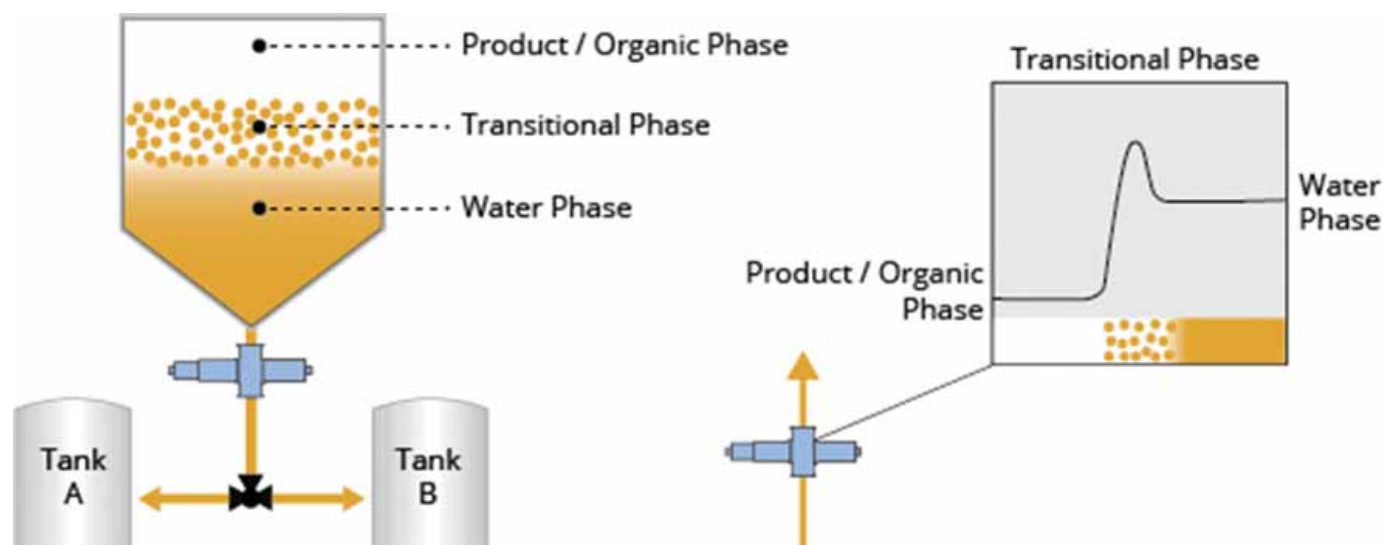
Czujniki optek zarządzają separacją faz w szerokim zakresie długości fal, począwszy od promieniowania ultrafioletowego (UV), poprzez widzialne (VIS), aż po bliską podczerwień (NIR). Pozwala to dostosować rozwiązanie do wymagań automatyzacji mediów procesowych oraz warunków na miejscu. Obszary zagrożone mogą wymagać użycia czujników w wersji Ex.



ŚWIATŁO W SŁUŻBIE PROCESU

Fotometry procesowe znajdują bardzo szerokie zastosowanie w przemyśle chemicznym i nie tylko. Czy to pomiar barwy, czy pomiar stężenia chloru, kontrola filtracji, wykrywanie nieszczelności na wymiennikach ciepła, czy wreszcie monitorowanie rozdziału faz w procesie ekstrakcji. Wszędzie tam zastosowanie fotometrów przynosi szereg korzyści dla całego procesu. Od ograniczenia ilości próbek pobieranych do prób laboratoryjnych, przez eliminację błędów ludzkich, po zmniejszenie ryzyka awarii i długotrwałych przestojów. Od redukcji strat wody i samego produktu, przez minimalizację negatywnego oddziaływania na środowisko, po ścisłą kontrolę jakości produktu końcowego. Jak widzimy, w zależności od aplikacji i zastosowania, fotometry procesowe pomagają w redukcji kosztów produkcji, optymalizacji całego procesu i pozwalają na uzyskanie produktu odpowiedniej jakości w krótszym czasie. A wszystko to za sprawą światła i wykorzystujących go fotometrów.

Fotometry służą do pomiaru barwy, stężenia chloru, kontroli filtracji, wykrywania nieszczelności na wymiennikach ciepła, monitorowania rozdziału faz w procesie ekstrakcji.



Rysunek 13

Wykrywanie granicy faz, Ekstrakcja z warstwy wodnej do warstwy organicznej

Kalibracja pod pełną kontrolą

Program Care Plan



- rozszerzona gwarancja na kalibratory
- bezpłatne naprawy także uszkodzeń mechanicznych
- wymiana części eksploatacyjnych
- bezpłatne przesyłki do i z akredytowanego laboratorium
- plan rocznej kalibracji

Introl Sp. z o.o.

www.introl.pl

introl

automatyka i pomiary