

PodKontrolą

automatyka i pomiary

wydawca:
Introl Sp. z o.o.

02/2021 (55)

PRAKTYCZNY PUNKT WIDZENIA



w numerze:

temat
wydania



akademia
automatyki



dobra
praktyka



Pomiar stężenia dwutlenku węgla
– dobra praktyka czy konieczność?

Dokładność w przetwornikach ciśnienia,
czyli diabeł tkwi w szczegółach

Pomiar poziomu w reaktorach
– przegląd możliwości

spis treści

	nowości		4
	temat wydania	Pomiar stężenia dwutlenku węgla – dobra praktyka czy konieczność?	6
	dobra praktyka	Pomiar poziomu w reaktorach – przegląd możliwości	11
	akademia automatyki	Dokładność w przetwornikach ciśnienia, czyli diabeł tkwi w szczegółach	16

wydawca

introl

automatyka i pomiary

Introl Sp. z o.o.
ul. Kościuszki 112, 40-519 Katowice
tel. 32 789 00 00, fax 32 789 00 10

redakcja

Paweł Głuszek
Bogusław Trybus
Magdalena Pajor
Rafał Skrzypiciel
Adam Reimann

dodatkowe informacje i subskrypcja

www.podkontrola.pl

Drodzy Czytelnicy!

Przed nami najlepszy okres roku, zarówno ze względu na pogodę za oknem i zbliżający się okres wakacyjny, jak i wyraźnie słabnącą pandemię. Wracamy powoli do normalności, co niewątpliwie cieszy każdego. Wracamy także z nowymi artykułami o pomiarach przemysłowych, zachęcając Państwa do lektury drugiego w tym roku numeru „Pod kontrolą”.

Pandemia koronawirusa przypomniła nam jak ważne jest powietrze, którym oddychamy. Dotyczy to zarówno wszelkich pyłów i zanieczyszczeń, jak i wirusów i bakterii. O ile jakością powietrza na zewnątrz zajmują się politycy i odpowiednie instytucje, o tyle jakością powietrza w naszych biurach, halach czy magazynach musimy zająć się sami. Dotyczy to zarówno obecności wszelkich drobnoustrojów, w tym wirusów, jak i stężenia dwutlenku węgla i tlenu. Wszelkie badania wskazują bowiem, że jakość powietrza w miejscach pracy wyraźnie wpływa na sprawność naszych działań, możliwości poznawcze i trafność podejmowanych decyzji. Jak zatem mierzyć jakość powietrza w pomieszczeniach, w których spędzamy znaczną część życia? Optymalną metodą jest pomiar stężenia dwutlenku węgla, który daje nam możliwość oceny sprawności układów wentylacji. O tym wszystkim przeczytacie Państwo w „**Temacie wydania**”.

Reaktory to elementy wielu procesów technologicznych, w różnych branżach. Są one kluczowe dla całej produkcji, muszą być zatem odpowiednio kontrolowane. Nie jest to jednak prosta sprawa, a reaktory są tymi aplikacjami, które najtrudniej opomiarować. Autor „**Dobrej praktyki**” skupił się na pomiarach poziomu w reaktorach, wskazując na czynniki wpływające na stopień trudności prowadzenia pomiarów. Z artykułu dowiecie się także Państwo jakie 4 różne rozwiązania sprawdzają się w przypadku pomiarów poziomu w reaktorach.

Dokładność dokładności nierówna. To powiedzenie sprawdza się wyjątkowo dobitnie w przypadku aparatury kontrolno-pomiarowej. Nierzadko w materiałach marketingowych dostawcy/producenti podają świetną dokładność danego urządzenia, co nie jest do końca prawdą lub tylko jej częścią. Jak wczytamy się (lub nie) głębiej w specyfikację, okazuje się bowiem, że mamy tam sporo gwiazdek, wykluczeń, przypisów. Dotyczą one różnych ograniczeń i warunków, które powodują, że z podanej wielkimi literami super-dokładności nierzadko niewiele zostaje. Właśnie dlatego autor „**Akademii automatyki**”, na przykładzie przetworników ciśnienia, opisuje różne składowe dokładności. Należy je brać pod uwagę oceniając całkowitą i adekwatną do konkretnych warunków dokładność kupowanego urządzenia.

Zapraszam do lektury
Wojciech Mutwicki
prezes zarządu





Inteligentny tester do diagnostyki odwadniaczy SAGE UMT®

SAGE UMT® to najnowocześniejszy na rynku tester do badania stanu odwadniaczy każdego rodzaju. Do tego jest wyjątkowo prosty w obsłudze, dokładny i skuteczny. Diagnostyka odwadniacza odbywa się wyłącznie przy pomocy jednego przycisku, a użytkownikowi wystarczy tylko tester i telefon. Tester współpracuje z platformą SAGE® Smart System Management – urządzenie bezprzewodowo i automatycznie łączy się z aplikacją SAGE® Mobile na telefonie (Android i iOS). Baza SAGE dostarcza odpowiednie dane o odwadniaczu oraz aktualizuje jego stan pracy. Dzięki platformie Smart System Management wszystkie dane przesyłane są do chmury w celu bezpiecznego przechowywania i automatycznego tworzenia kopii zapasowych.

SAGE UMT® to przede wszystkim:

- wbudowany piezoelektryczny czujnik akustyczny, opracowany i dostrojony specjalnie do specyficznych warunków występujących w odwadniaczach,
- bezdotkowy czujnik temperatury na podczerwień,
- technologia RFID do lokalizacji i identyfikacji odwadniaczy,
- wygodna kabura w zestawie zapewniająca bezpieczne trzymanie testera,
- łatwy w trzymaniu, ergonomiczny, uchwyt pokryty karbowaną gumą,
- indywidualna konfiguracja dla lewo/praworęcznych.



Bezinwazyjny przepływomierz ultradźwiękowy do pary wodnej

Fluxus ST-HT to pierwszy na świecie przepływomierz ultradźwiękowy przeznaczony do pomiaru przepływu pary wodnej wysokotemperaturowej. Seria Fluxus ST-HT, podobnie jak inne urządzenia firmy Flexim, to pewność niezawodności, dokładnego bezinwazyjnego pomiaru. Fluxus ST-HT nie generuje przy tym spadku ciśnienia i pracuje stabilnie przy minimalnej potrzebie konserwacji.

Przepływomierze serii FLUXUS ST mogą mierzyć przepływ objętościowy oraz masowy pary wodnej do temperatury 400°C. Model G721 ST-HT jest stacjonarnym przetwornikiem, który posiada szereg różnych wyjść cyfrowych, takich jak Profibus czy Modbus RTU, TCP. Model ten może pracować również w strefach zagrożonych wybuchem oraz posiada menu w języku polskim.



Wielofunkcyjny kalibrator temperatury i komunikator MC6-T

Beamex MC6-T łączy w sobie piecyk kalibracyjny z technologią wielofunkcyjnego kalibratora procesowego Beamex MC6, dzięki czemu zapewnia wszechstronność, jakiej nie dorówna żaden inny kalibrator. Urządzenie oferuje unikalne połączenie funkcjonalności – wzorcowanie temperatury oraz wzorcowanie ciśnienia i sygnałów elektrycznych.

Kalibrator charakteryzuje się nie tylko niezwykle dokładnością, ale przede wszystkim jest prosty w obsłudze. Wyposażony jest w duży, kolorowy, dotykowy ekran o przekątnej 5.7", z interfejsem użytkownika w wielu językach, w tym również w języku polskim. Komunikacja kalibratora z komputerem (z oprogramowaniem wspomagającym procesy wzorcowania Beamex serii CMX oraz Logical) odbywa się poprzez wbudowane złącze USB. Na uwagę zasługuje również fakt, że kalibrator MC6-T posiada **trzy kanały do pomiaru temperatury** – do jednego można podłączyć czujnik referencyjny, a do pozostałych czujniki badane.

Ponadto każdy kalibrator posiada świadectwo wzorcowania Akredytowanego Laboratorium zgodnie z ISO 17025.



Przetwornik różnicy ciśnień dla aplikacji HVAC – EE600

EE600 to przetwornik do niezawodnego pomiaru różnicy ciśnień w zastosowaniach HVAC, automatyzacji budynków oraz monitorowaniu filtrów. Przetworniki tej serii mogą być przeznaczone do powietrza oraz niepalnych i nieagresywnych gazów. Element pomiarowy stanowi oporowy piezoelektryczny, bezprzepływowy czujnik ciśnienia, który zapewnia wyjątkową długoterminową stabilność i dokładność $\pm 0,5\%$. Przetwornik posiada zakres pomiarowy 1000 Pa lub 10000 Pa.

Urządzenie EE600 występuje w wersji cyfrowej z interfejsem RS485 i protokołem Modbus RTU lub BACnet MS / TP, a w wersji z wyjściami analogowymi można wybrać spośród kilku zakresów pomiarowych za pomocą przełączników DIP, zwiększając jednocześnie rozdzielczość mierzonego sygnału. W wariantcie cyfrowym RS488 można natomiast

dodatkowo zmienić jednostki pomiarowe, zmienić konfigurację wyświetlacza, przełączyć urządzenie w tryb do pomiaru przepływu / prędkości powietrza, przełączyć urządzenie w tryb monitorowania zanieczyszczenia filtra lub wskazywania poziomu wody.





Transportowa kamera termowizyjna do pieców LAND PFTIS

Przenośny system termowizyjny Portable Furnace Thermal Imaging System przeznaczony jest do badań termowizyjnych pieca, zarówno szybkich kontroli, jak i zaawansowanych badań i inspekcji. Przedłuża żywotność pieca, optymalizuje wydajność, redukuje zużycie energii i kontroluje temperaturę wsadu. Zestaw zawiera: kamerę boroskopową, zestaw akumulatorów, tablet, wszystkie kable oraz rurki do sprężonego powietrza. Układ jest kompatybilny z kamerami termowizyjnymi LAND NIR-B-640 i LAND MWIR-B-640. Każdy pakiet zasilania umożliwia ponad 10 godzin ciągłej pracy. Kamera ma możliwość nagrywania danych, dzięki najnowszemu oprogramowaniu IMAGEViewer, które dołączone jest to tabletu.



Miernik wilgotności materiałów sypkich i masowych MCT460

Mierniki serii MCT460 przeznaczone są do ciągłego i bezkontaktowego pomiaru wilgotności wszelkiego rodzaju produktów sypkich w zakresie 0-95%. Zapewniają wysoką dokładność, powtarzalność i stabilność pomiarów, nieosiągalną dla innych, podobnych mierników (nawet $\pm 0,1\%$). MCT460 są wykorzystywane przede wszystkim do pomiaru wilgotności składników podawanych do procesu produkcji, do kontroli jakości gotowego produktu oraz do sterowania procesami suszenia. Mierzą wilgotność między innymi biomasy, tytoniu, węgla, koksu, rudy cynku, rudy żelaza, rudy miedzi, papieru, tektury, kartonu, produktów spożywczych (chrupki, chipsy, płatki zbożowe, kawa, mleko w proszku) oraz granulatów tworzyw sztucznych. Mierniki dopasowane do aplikacji, dostępne są w wielu wersjach: dla przemysłu farmaceutycznego i spożywczego w wykonaniu higienicznym, dla ciężkich warunków górnictwa i hutnictwa – wykonanie heavy duty oraz dla stref zagrożonych wybuchem ATEX 22. Ponadto wilgotnościomierz może być łatwo zintegrowany z posiadanym systemem sterowania – Profibus, Profinet, Ethernet lub Modbus.



Przetwornik temperatury APAQ C130/R130

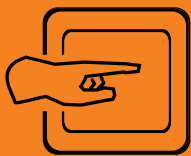
APAQ C130 to przetworniki temperatury na szynę DIN35 mm, przeznaczone do czujników RTD Pt100 i Pt1000, z wyjściem 4...20 mA. Charakteryzują się wysoką niezawodnością, a dzięki solidnej konstrukcji, również wysoką odpornością na czynniki zewnętrzne, takie jak: temperatura otoczenia, wibracje, wilgotność i zakłócenia EMC. Przetworniki nie wymagają stosowania drogich narzędzi konfiguracyjnych ani stałych stacji roboczych. Dzięki darmowej aplikacji INOR Connect za pomocą smartfona lub tabletu, można łatwo skonfigurować przetworniki przez komunikację NFC.



Licznik ciepła Calec ST III

Calec ST III to wielofunkcyjny licznik energii cieplnej i chłodniczej. Licznik ciepła jest częścią zestawu ciepłomierza dla wody, posiada również zatwierdzenie europejskie do rozliczeń zgodnie z dyrektywą 2004/22 WE (MID). Calec ST III zapewnia komunikację na odległość i jest przeznaczony do zastosowań pomiarowych takich jak: systemy grzewcze, systemy chłodzenia, kombinowane układy ogrzewania czy systemy zasilane energią słoneczną. Licznik posiada dwa wejścia dla pomiaru przepływu i może współpracować z miernikami przepływu objętościowego o impulsowym sygnale wyjściowym aktywnym lub pasywnym. Dostępne są dwie wersje licznika (Standard i Smart) oraz możliwość funkcji specjalnych: wskazania przepływu masowego, do aplikacji z przepływem dwukierunkowym i funkcje taryfowe. Ponadto, Calec ST III posiada możliwość przywracania danych w przypadku awarii zasilania, pamięć dla 12 dat billingowych i 500 wartości odczytów pomiarowych.





temat wydania

Pomiar stężenia dwutlenku węgla – dobra praktyka czy konieczność?

Temat wentylacji i dobrej jakości powietrza wraca ze zdwojoną siłą z powodu pandemii COVID-19. Rzeczywistość, w której znaleźliśmy się wszyscy po 2020 roku wymusza bardziej przemyślane działania w temacie dzielenia wspólnej przestrzeni i troski o odpowiednią wentylację. Jak zatem definiuje się dobre powietrze w pomieszczeniach? Zgodnie z europejską normą "jakość powietrza w pomieszczeniach można podzielić na kategorie według stężenia CO₂". To pojęcie stwarza podstawy do sterowania wentylacją w oparciu o pomiar dwutlenku węgla. Przyjrzyjmy się zatem bliżej temu zagadnieniu.



POZIOM CO₂ JAKO WSKAŹNIK JAKOŚCI POWIETRZA W POMIESZCZENIACH

Norma EN 13779: 2007 określa nominalne oczekiwane stężenie CO₂ w pomieszczeniach na poziomie 400–600 ppm, czyli nieco powyżej normalnego poziomu w powietrzu zewnętrznym (400 ppm). Nowoczesne systemy wentylacyjne powinny być budowane w oparciu o to właśnie założenie, aby zapewnić dostatecznie dobrą jakość powietrza w pomieszczeniach, zachowując jednocześnie energooszczędność.

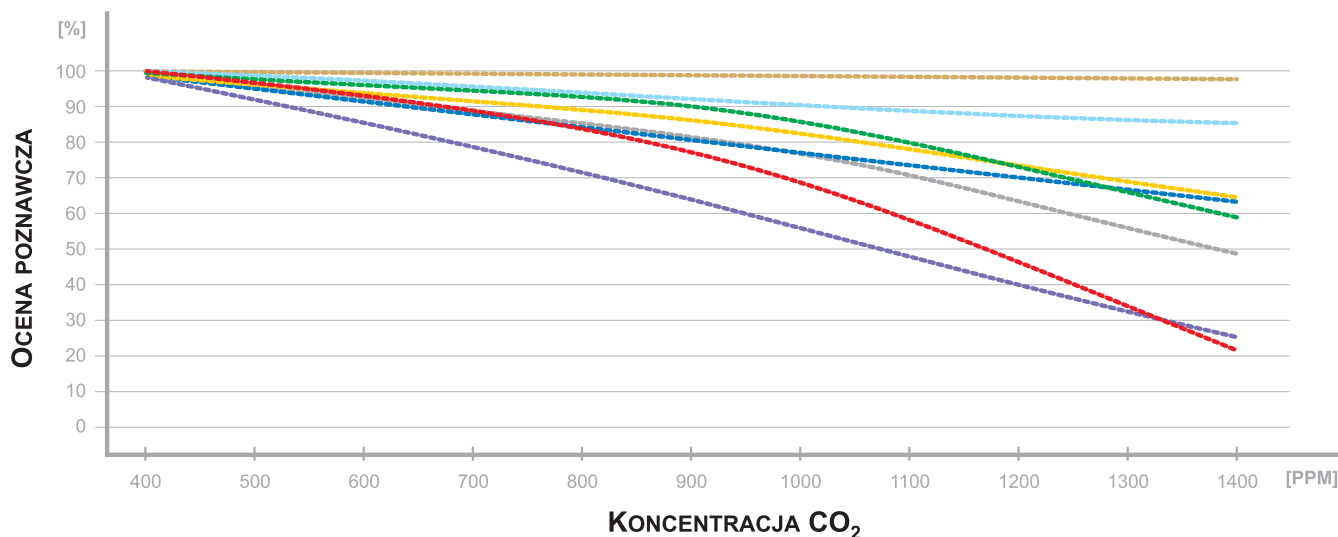
W rzeczywistości założenie to spełnione jest głównie dla biur z nowoczesnymi systemami wentylacji. Badania terenowe pokazują bowiem, że

w większości przypadków starych instalacji stężenie CO₂ wynosi 1500 ppm i więcej. Może wydawać się to bardzo wysokim poziomem, ale limit regulacyjny uważany za bezpieczny dla ludzi jest jeszcze wyższy – 5000 ppm dwutlenku węgla w okresie 8 godzin. Należy jednak zwrócić uwagę, że bezpieczny nie znaczy komfortowy, gdyż już przy stężeniu 2000 ppm organizm człowieka odbiera to niekorzystnie i objawia jako ośpienie, senność i brak koncentracji. Potwierdzają to zresztą liczne badania. Przykładowo, badania przeprowadzone w 2015 roku (NIEHS)* pokazują, jak obniżają się zdolności poznawcze przy wzroście dwutlenku węgla w pomieszczeniu. Najmniejszy wpływ obserwujemy dla czynności bardziej mechanicznych, wyszukiwania informacji czy przy orientacji na

GRZEGORZ CIAŁOŃ

Ukończył studia na Politechnice Śląskiej w Gliwicach, na Wydziale Elektrycznym. W Introilu pracuje od 2006 roku, obecnie jest kierownikiem działu komponentów automatyki. Zajmuje się głównie doborem urządzeń pomiarowych w systemach HVAC oraz do regulacji i rejestracji procesów.

tel: 32 789 00 18



- | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| ● Średnia | ● Poszukiwanie informacji | ● Orientacja na zadania |
| ● Podstawowy poziom aktywności | ● Zastosowany poziom aktywności | ● Działania strategiczne |
| ● Reagowanie kryzysowe | ● Wykorzystanie informacji | |

Rysunek 1

Wpływ zmian poziomu CO₂ na zdolności poznawcze pracowników.

* Źródło: <https://ehp.niehs.nih.gov>



zadania. Badania dowodzą jednak, że najbardziej dotknięte są umiejętności poznawcze, które wymagają bardziej zaawansowanego zastosowania informacji, takie jak reagowanie na sytuacje kryzysowe, wykorzystanie informacji i umiejętności strategiczne. **Umiejętności te zmniejszone są o 80% już przy stężeniu CO₂ wynoszącym 1400 ppm.** Jeżeli teraz odniesiemy wyniki tych badań do najczęściej spotykanych w biurach 1500 ppm przy niewydajnym systemie wentylacji, łatwo zrozumieć, dlaczego jakość powietrza w pomieszczeniach jest nowym tematem, na który coraz bardziej zwraca się uwagę. Dokładny pomiar jakości powietrza w pomieszczeniach i lepsza wentylacja są bowiem niezbędne dla zdolności poznawczych osób tam pracujących.

W 2020 roku wybuchła globalna pandemia. Istnienie groźnego wirusa powoli zmienia podejście do tematu jakości powietrza w pomieszczeniach. Jak wiemy, zalecenia odnośnie zasłaniania twarzy wskazują na kropelkową transmisję wirusa. Można więc założyć, że czym więcej w przestrzeni powietrza wydychanego przez użytkowników, tym większe prawdopodobieństwo transmisji wirusa. Dlatego tak istotnym jest zadbanie o należyte wentylowanie pomieszczeń i utrzymywanie stężenia dwutlenku węgla na niskim poziomie.

Według U.S. Energy Information Administration systemy ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji (HVAC) stanowią co najmniej 33% całkowitych kosztów energii w przeciętnym budynku.¹ To bardzo duży koszt, ale jeśli weźmiemy pod uwagę koszt pracowników, okazuje się, że wydatki na energię to zaledwie 1% kosztów operacyjnych budynku biurowego, a aż 90% to koszt pracowników. Czy więc zasadna jest analiza kosztów wentylacji kosztem dobrego samopoczucia pracownika czy efektywności jego pracy, a nawet zdrowia? Szacuje się, że zapewniając komfortowe warunki pra-

cy, efektywność pracowników wzrasta o 2...18%, w większości przypadków jest to 10% wzrost. Skala różnicy między kosztami energii, a kosztami pracowniczymi jest ogromna. Oczywiście efektywność energetyczna jest tak samo ważna jak wcześniej, ale optymalizując systemy HVAC, należy jeszcze dokładniej rozważyć warunki pracy użytkowników.

Aby jednocześnie osiągnąć efektywność energetyczną i dobre powietrze w pomieszczeniach, kluczem są dokładne pomiary. Z uwagi na to, że zdolności poznawcze ludzi zmieniają się nawet wtedy, gdy stężenie CO₂ zmienia się tylko o 100 ppm, czujniki pomiaru CO₂ muszą być przede wszystkim dokładne.

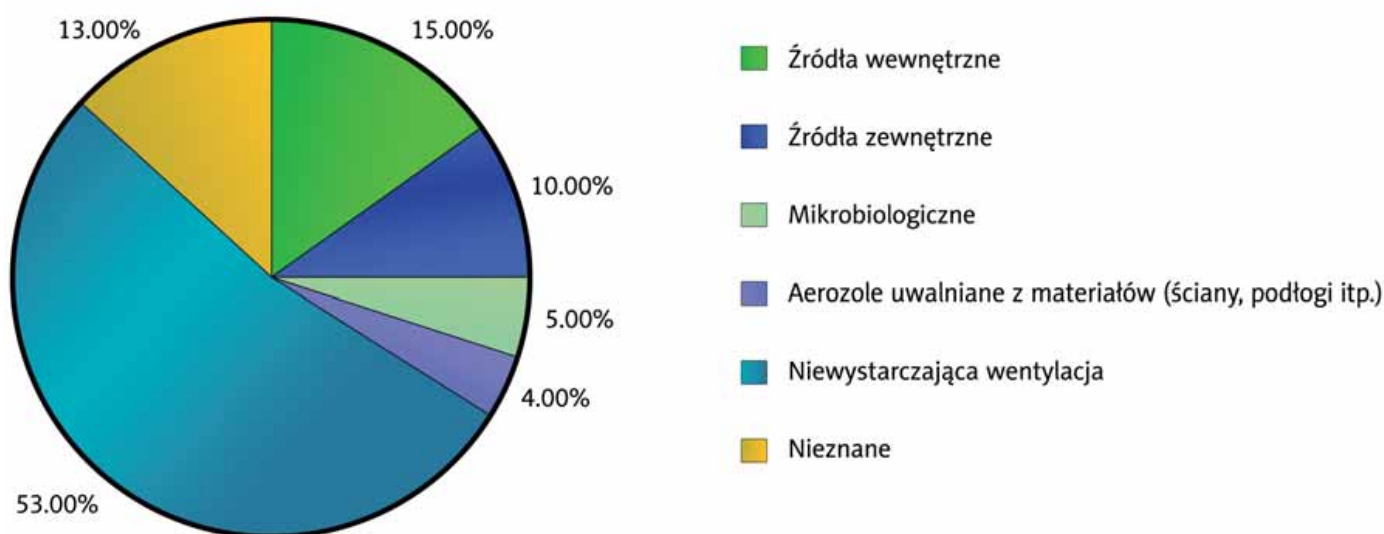
Nasuwa się przy okazji pytanie – czy dwutlenek węgla jest jedynym parametrem decydującym o jakości powietrza wewnątrz budynku? Zdecydowanie nie. Wiele publikacji wskazuje także na obecność zanieczyszczeń powstałych bezpośrednio z wewnętrznych źródeł, zanieczyszczeń z zewnątrz, ulatnianie się aerozoli, tworzenie zanieczyszczeń mikrobiologicznych itp. W internecie można doszukać się wielu publikacji na ten temat. Różnice poszczególnych udziałów zanieczyszczeń mogą być różne w zależności od badania czy sytuacji. Wszystkie one mają jednak wspólny mianownik – niewystarczająca wentylacja to prawie zawsze ponad 50% składnik wpływający na złą jakość powietrza. A jakość wentylacji najprościej kontrolować mierząc stężenie CO₂.



CZYM JEST DWUTLENEK WĘGLA?

W temperaturze pokojowej jest to bezbarwny i niepalny gaz o kwaskowatym smaku (smak wyczuwalny jest dopiero przy dużych stężeniach (np. w napojach, które zmieniają smak po ulotnieniu CO₂), rozpuszczalny w wodzie i cięższy od

„Dokładny pomiar jakości powietrza w pomieszczeniach i lepsza wentylacja są niezbędne dla zdolności poznawczych osób tam pracujących.



Rysunek 2
Prawdopodobne źródła zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniu.

Źródło: The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) – Indoor Air Investigation



Indoor Air Quality	400 ppm	standardowe czyste powietrze zewnętrzne
	400 - 1.000 ppm	powietrze wewnątrz pomieszczeń
	> 1.000 ppm	początek zmęczenia i zmniejszenia koncentracji
	> 2.000 ppm	jest postrzegane jako dyskomfort
	5.000 ppm	limit w miejscu pracy
	40.000 ppm (4%)	wydychane powietrze
	100.000 ppm (10%)	gaśnięcie świecy, nudność, utrata przytomności
	200.000 ppm (20%)	śmierć z powodu uduszenia



IAQ – Jakość powietrza w pomieszczeniu

Rysunek 3

Poziomy stężenie CO_2 oraz ich udział i wpływ na organizm człowieka.

”Z uwagi na to, że zdolności poznawcze ludzi zmieniają się nawet wtedy, gdy stężenie CO_2 zmienia się tylko o 100 ppm, czujniki pomiaru CO_2 muszą być przede wszystkim dokładne.

powietrza (ok. 1,5 raza). Występuje naturalnie w atmosferze ziemskiej w stężeniu 0,04% (400 ppm). W obszarach zamieszkałych stężenie może wynieść od 400...700 ppm.

CO_2 występuje w organizmie człowieka i jest w nim wytwarzany, odgrywa ważną rolę w utrzymaniu równowagi kwasowo-zasadowej organizmu. Jego zbyt małe, jak i zbyt duże stężenie jest szkodliwe dla organizmu. Stężenie dwutlenku węgla w wydychanym powietrzu sięga 40 000 ppm. Przeciętny człowiek w ciągu godziny wydycha 20 litrów gazu, co przekłada się na „produkcję” 1 kilograma dwutlenku węgla w ciągu jednego dnia, przez 1 osobę.

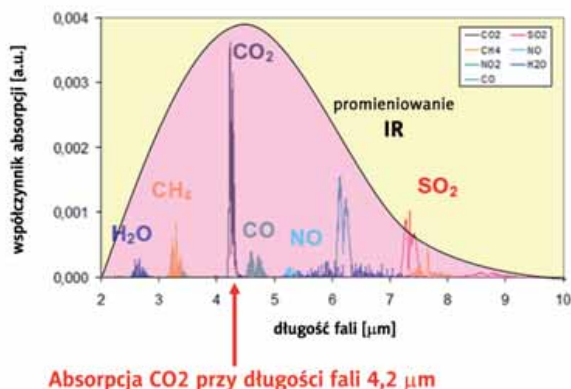


JAK ZMIERZYĆ ILOŚĆ CO_2 ?

Wiemy już czym jest dwutlenek węgla i jak istotny ma on wpływ w otaczającym nas świecie. Jak wiele procesów warunkuje i jak bardzo istotnym jest zmierzenie go w sposób dokładny. Do tej pory opracowano kilka koncepcji pomiarowych (wspominaliśmy o tym w jednym z artykułów „Pod Kontrolą” kilka lat temu) takich jak: sensory foto-akustyczne, elektrochemiczne (wykorzystywane zwłaszcza przy dużej koncentracji) oraz czujniki oparte na podczerwieni (NDIR). Zwłaszcza te ostatnie zyskały w ostatnim czasie na popularności, ze względu na prostotę działania, dobrą stabilność pomiaru i rozwój technologii w tym kierunku. Spisują się one też najlepiej dla niewielkich stężeń, a takie stężenia (poniżej 10000 ppm) pozostają w centrum naszego zainteresowania.

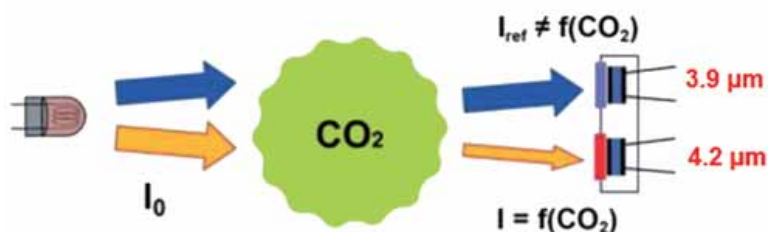
Rzeczywistość w tym zakresie jest wręcz namacalna. Jeszcze kilka lat temu sami stosowaliśmy rozwiązania oparte na dwóch źródłach IR i jednej długości fali. Obecnie zdecydowanie lepszą, bardziej dokładną i stabilną w czasie okazała się metoda bazująca na dwóch długościach fal i jednym źródle.

Jeden detektor ustawiony jest na falę o długości 4,2 mikrometra. Właśnie ta długość fali podczerwonej jest najbardziej absorbowana przez obecność dwutlenku węgla. Drugi detektor obserwuje falę długości 3,9 mikrometra, która nie jest absorbowana przez żaden z gazów. Z obserwacji obydwu kalkulowane jest stężenie CO_2 . W poprzedniej metodzie dioda pomiarowa dokonywała pomiaru co 15 sekund. Powodowało to jej szybkie zużywanie, dlatego niezbędne było źródło odniesienia załączane raz na 24 godziny. Zużywa się ono 6000 razy wolniej. Niestety kompensacja błędów zużycia się źródła nie eliminowała wpływu zanieczyszczeń znajdujących się w celi pomiarowej. Układ nie był odporny na kurz, brud i zanieczyszczenia chemiczne. Obecna metoda dokonuje autokalibracji przy każdym pomiarze, niezależnie od stężenia CO_2 i warunków środowiskowych. To bardzo duży krok na przód. Co prawda wymagane jest stosowanie dwóch różnych filtrów podczerwieni i podwójnego detektora, jednak korzyści są oczywiste. Wadą obecnego rozwiązania to czułość na odkształcenia celi pomiarowej. Należy zwrócić na to uwagę zwłaszcza przy instalowaniu sensorów we własnych obudowach. Dla gotowych produktów nie musimy się tym przejmować.



Rysunek 4

Rozkład absorpcji w zależności od długości fali



Rysunek 5

Schemat detektora o konstrukcji jedno źródło IR – dwa detektory



WPŁYW TEMPERATURY ORAZ CIŚNIENIA NA POMIAR DWUTLENKU WĘGLA.

Temperatura i ciśnienie znacząco wpływają na dokładność pomiaru CO₂ metodą NDIR. Producenci byli tego świadomi od samego początku i już kilka lat temu sensorom CO₂ towarzyszył niezależny pomiar temperatury. Odpowiednia korekta zmieniającej się temperatury uwzględniana jest w przetwarzaniu mikroprocesorowym wyniku końcowego. Firma E+E Elektronik w swoich urządzeniach dokonuje korekt pomiaru CO₂ względem zmian temperatury w 4 punktach. Sama zaś kalibracja CO₂ odbywa się 3-punktowo w temperaturze 23°C, czyli najczęstszych warunkach pracy.

A co z ciśnieniem? Zmiana ciśnienia prowadzi do zmiany gęstości gazu, a przez to liczby cząstek CO₂, które znajdują się w celi pomiarowej. To bardzo silna zależność wynosząca nawet 1,4 ppm na 1 mbar zmiany ciśnienia. Z tego powodu oczekuje się, aby wysokiej klasy urządzenia dokonywały odpowiedniej kompensacji względem zmian ciśnienia. Dla najbardziej wymagających aplikacji, sensor ciśnienia atmosferycznego montowany jest obok sensora temperatury i zmiany ciśnienia atmosferycznego wprowadzane są do kalkulacji wyniku końcowego. Dzięki temu błąd wynikający ze zmian ciśnienia redukowany jest 10-krotnie.

Przykładem dokładnego i stabilnego w czasie przetwornika dwutlenku węgla dla aplikacji biurowych jest **wskaźnik CO₂ Guard 10**. Urządzenie to stawia na prostotę i czytelność komunikatu. Użytkownik nie musi znać się na przepisach czy normach, nie musi analizować cyfr, wręcz nie może zmieniać konfiguracji urządzenia. System lamp: zielone-żółte-czerwone daje jasną infor-

mację, kiedy powinniśmy przewietrzyć pomieszczenie.

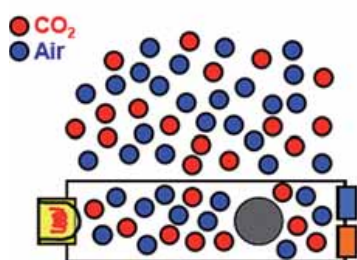


NAJBARDZIEJ WYMAGAJĄCE APLIKACJE

Korzystamy już z dobrej metody pomiarowej. Producent zadbał o kompensację zmian temperatury i ciśnienia. Czy może nas coś jeszcze zaskoczyć? Oczywiście, że tak. Stężenie dwutlenku węgla mierzymy nie tylko w biurach. Często jest to powietrze bardziej przemysłowe lub np. z upraw roślin, plantacji grzybów, magazynów przechowywania owoców, hodowli zwierząt itp. Powietrze to jest dużo bardziej narażone na zanieczyszczenia, mogą występować opary związków chemicznych. Niejednokrotnie powietrze takie jest po prostu bardzo wilgotne, a woda w układzie pomiarowym nie jest nigdy korzystna. Może się ona bowiem skondensować na źródle podczerwieni, znacząco zaburzając pomiar. Może też pokryć wnętrze celi pomiarowej utrudniając propagację fali. Wspomniałem już, że należy zwrócić uwagę, aby cela nie była odkształcona. Dodam, że jej wnętrze jest pozłacane, a jej montaż wykonywany jest w czystych pomieszczeniach, aby propagacja fali odbywała się z najmniejszą stratą. Kondensacja wody i korozja celi pomiarowej byłaby wręcz katastrofą. A przecież musimy zapewnić dopływ medium do jej wnętrza. Kontrola wilgotności mierzonego powietrza i podgrzewanie celi pomiarowej w celu uniknięcia kondensacji pary wodnej z powietrza, to kolejne kroki w kierunku zapewnienia najwyższej jakości układu pomiarowego. Do tego dokładamy filtr teflonowy, który dzięki dużej porowatości, ma zdolność wyłapywania zanieczyszczeń chemicznych zanim dojdą do celi pomiarowej. W ten sposób mamy pewność, że zrobiliśmy (producent zrobił)



Rysunek 7
Wskaźnik CO₂ Guard 10



Zmiana ciśnienia prowadzi do:

- zmiany gęstości gazu,
- ilości molekuł CO₂ w celi pomiarowej

Rozwiązanie E+E Elektronik:
- wprowadzenie pomiaru ciśnienia dla wybranych modeli



Pozostała zależność ciśnieniowa: (% mierzonej wartości na każdy mbar)		1.013 mbar	980 mbar	950 mbar
z kompensacją ciśnienia 0,014 %	0,14 ppm / mbar	1.000 ppm	995	990
bez kompensacji ciśnienia 0,14 %	1,4 ppm / mbar	1.000 ppm	955	915

Rysunek 6
Porównanie pomiaru z kompensacją zmian ciśnienia i bez.



Rysunek 8

EE872 – Przetwornik CO₂ dla wymagających aplikacji

wszystko co jest obecnie możliwe, aby pomiar był jak najbardziej dokładny i stabilny w czasie.



CZY MOŻNA IŚĆ NA SKRÓTY?

Można, pytanie czy warto? Oczywiście, że rynek obfituje w wiele tańszych i prostszych rozwiązań. Dostępne są np. sensory, które poprzez autokalibrację rozumieją przyjęcie poziomu 400 ppm dla najniższego punktu w 24 godzinny cykl. Zakłada to przewietrzenie układu czystym powietrzem o takim właśnie stężeniu. W przypadku jednak aglomeracji, nawet dokładne wietrzenie może nie obniżyć warunków do takiego poziomu. A jeśli takie wietrzenie nie nastąpi wcale i przetwornik za poziom 400 ppm przyjmie 800 ppm? Kolejny 24-godzinny cykl pomiarowy zostanie obciążony olbrzymim błędem.

Pamiętajmy, że technologia, która nas otacza zmienia się i rozwiązania sprzed kilku lat przestają być wystarczające. W ślad za rozwojem ewoluować powinny nasze przyzwyczajenia i nawyki. Co niemniej ważne, fakt, że lokalne prawo nie wymusza stosowania pomiaru stężenia dwutlenku węgla np. w salach lekcyjnych (jak to ma miejsce w wielu państwach UE) nie oznacza, że taki pomiar nie byłby korzystny dla nas – w szkole naszych dzieci czy w biurze, w którym sami pracujemy. Warto przy okazji pamiętać, że pokusa szybkiego zysku i tanich zakupów nie powinna przystaniać celów jakie przyświecają nam przy pomiarze CO₂. A cele są wielopoziomowe – to nie tylko oszczędność w procesie sterowania HVAC, nie tylko dobre samopoczucie pracowników, ale także efektywność ich pracy, a w ostatecznym rozrachunku covidowej rzeczywistości nawet nasze zdrowie i życie.

Wiskozymetr procesowy XL7 do pracy w samym centrum procesu

- doskonała precyzja i szybkość pomiaru inline
- wyjatkowa odporność na zanieczyszczenia
- do wszystkich rodzajów płynów
- zakres 0 ... 1 cP do 0 ... 1000 000 000 cP
- łatwy montaż na dowolnym zbiorniku lub rurze (w dowolnej pozycji)
- bez dedykowanych przewodów i dodatkowych osłon
- brak konieczności specjalnej kalibracji
- temperatura do 450°C
- ATEX (opcjonalnie)

fizchem@introl.pl

Introl Sp. z o.o.

www.introl.pl

introl
 automatyka i pomiary




dobra praktyka

Pomiar poziomu w reaktorach – przegląd możliwości

Reaktory są specyficznymi zbiornikami w całym procesie produkcji. Zachodzą w nich kluczowe reakcje chemiczne mające wpływ na wydajność, powtarzalność oraz jakość produktu końcowego. Z punktu widzenia pomiarowca jest to jedno z najtrudniejszych miejsc do przeprowadzenia jakichkolwiek pomiarów. W artykule przyjrę się rozwiązaniom, które zostały zastosowane zarówno w Polsce, jak i przez naszych dostawców za granicą. Zgodnie z naszą filozofią działania, proponowane rozwiązania pochodzą od kilku specjalistycznych dostawców. Każdy z nich oferuje ciekawe i optymalne rozwiązanie dla pewnej, określonej grupy aplikacji. W związku z tym artykuł ten proszę traktować jako moją opinię jako członka kadry inżynierskiej firmy INTROL, a nie materiał reklamowy którejkolwiek z oferowanych firm. Proponowane rozwiązania ułożone są według orientacyjnej ceny urządzeń, ich zalet oraz ograniczeń.



POMIAR POZIOMU W REAKTORACH – NIEŁATWE ZADANIE

Dla pomiarowca kontrola poziomu (i nie tylko) w reaktorze to naprawdę ambitne zadania. Wpływ na to ma kilka decydujących o skuteczności pomiaru czynników:

- zmienne właściwości fizyko-chemiczne produktu wewnątrz reaktora, czasami trudne do określenia,
- trudne lub czasem ekstremalne warunki pomiarowe np.: wysokie ciśnienia i temperatury,
- występowanie bardzo agresywnych substancji,
- konstrukcje przeszkadzające w pomiarze np.: mieszałka, nagrzewnice,
- ograniczona (czasem brak) możliwości przygotowania odpowiednich króćców pomiarowych, konieczność wykorzystania istniejących przyłączy.



ROZWIĄZANIE NR 1 – SONDY RADAROWE POZIOMU VEGAPULS 64

Rozwój w zakresie tej technologii na przestrzeni ostatnich dwóch dekad pozwolił na dość szerokie wykorzystanie techniki radarowej w po-

Ostatni punkt dotyczący króćców jest często decydujący o wyborze urządzenia. Propozycja ingerencji w konstrukcję reaktora jest bowiem często „nieprzychylnie” przyjmowana z uwagi na koszty, dopuszczenia UDT, konieczność zmiany dokumentacji itp. Istotnym ograniczeniem jest również certyfikacja urządzeń, czyli konieczność posiadania odpowiednich atestów (w zależności od przemysłu): ATEX, SIL, higienicznych itp. Warto także zauważyć, że pewne rozwiązania są stosowane tylko w przypadkach krytycznych, inne są powszechne, nawet jeśli nie są optymalne.



ROBERT SOWA

Ukończył studia na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej oraz studia podyplomowe w Polsko-Amerykańskiej Szkole Biznesu. Po ukończeniu studiów rozpoczął pracę w Introlu. Był kierownikiem działu pomiarów poziomu oraz ciśnienia, specjalistą od termowizji.

Obecnie jest dyrektorem ds. rozwoju oraz członkiem zarządu czeskiej firmy INTROL Automation w Ostrawie.

tel. 32 789 00 06



Rysunek 1
Sonda Vegapuls 64 w reaktorze z pianą



Rysunek 2
Schemat montażu Vegapuls 64



”Występowanie mieszadeł nie stanowi poważnego problemu, jeśli sonda jest zainstalowana w odpowiednim miejscu oraz zostanie „nauczona” fałszywych ech od ramion mieszadła.

miarze poziom. W przypadku reaktorów, bardzo wygodna jest możliwość bezkontaktowego mierzenia poziomu z króćca umieszczonego w dachu zbiornika. Istotną rewolucją jest technologia 80 GHz reprezentowana przez sondę VEGAPULS 64. Zmianą w stosunku do technologii 26 GHz jest bardzo wąska wiązka pomiarowa i miniaturyzacja urządzenia. Sonda pozwala na pomiar przez króćce od G $\frac{3}{4}$ (małe reaktory), choć optymalny jest króciec od DN 50. Co istotne, sondy mogą zostać zainstalowane w dość wysokich kominach np.: o wysokości nawet 500 mm, co często ma miejsce z uwagi na bogate „obłożenie” dachu zbiornika lub obawą przez zachlapaniem anteny podczas mieszania. Dodatkowo, pojawiła się możliwość montażu sondy na zaworze kulowym – idealne rozwiązanie umożliwiające wymianę czujnika poziomu lub kontrolę membrany anteny, praktycznie w dowolnym momencie procesu. Sonda radarowa VEGAPULS 64 dostępna jest z płaską anteną wykonaną w całości z PTFE oraz bardzo czułym nadajnikiem, który pozwala na pomiar przy ciągłej kondensacji pary wodnej na antenie. Od razu chciałbym zastrzec, że jest to cecha sondy VEGAPULS 64, a nie całej serii urządzeń. Sonda ma całkowicie inną konstrukcję niż ekonomiczne odpowiedniki do gospodarki wod-kan czy zbiorników magazynowych. W praktyce oznacza to, że radarowy czujnik poziomu VEGAPULS 64 cechuje się znacznie lepszym stosunkiem sygnału do szumu, specjalnym „naddatkiem” na straty związane z oblepieniem anteny, kondensacją oraz

występowaniem piany na powierzchni. Ostatni argument, czyli piana, musi być często sprawdzony w praktyce za pomocą pomiarów testowych. Pojęcie piany jest bowiem zbyt szerokie, aby jednoznacznie stwierdzić jakie jest tłumienie i rozproszenie wiązki radarowej, która propaguje wewnątrz piany. Obecne doświadczenia potwierdzają, że do około 20-30 cm piany sonda działa niezawodnie.

Występowanie mieszadeł nie stanowi poważnego problemu, jeśli sonda jest zainstalowana w odpowiednim miejscu oraz zostanie „nauczona” fałszywych ech od ramion mieszadła. Miejsce montażu sondy jest czynnikiem krytycznym przy zastosowaniu radaru – montaż bezpośrednio nad np.: nagrzewnicami uniemożliwia detekcję prawidłowego poziomu. Ciekawym rozwiązaniem jest zastosowanie sondy o częstotliwości 26 GHz w połączeniu z rurą pomiarową, której geometryczne wymiary można dość dowolnie kształtować. Tego typu pomiar służy głównie do utrzymania poziomu podczas procesu w interesującym technologa zakresie i pozwala na obejście problemu braku odpowiedniego króćca. Należy zauważyć, że nie stosujemy rur pomiarowych w przypadku sond 80 GHz.

Ograniczenia dotyczące sond radarowych dotyczą następujących przypadków:

- brak odpowiednich króćców na dachu lub nieodpowiednie ich umieszczenia np.: dokładnie nad elementami zakłócającymi pomiar,
- występowanie wysokiego poziomu piany,
- silna krystalizacja produktu na ścianach zbiornika, w tym na antenie radaru (brak możliwości przedmuchu),
- ciśnienie powyżej 40 bar lub/i temperatura powyżej 200°C. Co prawda istnieją sondy o do-



Rysunek 3
Sonda Vegapuls 64 zamontowana na dachu reaktora



Rysunek 4
Schemat montażu sondy radarowej z rurą pomiarową



puszczalnej temperaturze +450°C i ciśnieniu do 160 bar o częstotliwości 26 GHz z uszczelnieniem ceramicznym, lecz ich zastosowanie w reaktorach jest ograniczone z uwagi na trochę mniejszą moc wiązki oraz przyłącza od DN 150.

Chciałbym również zasygnalizować, że w przypadku kalibracji sond na reaktorach, należy wziąć pod uwagę wizytę naszego serwisanta, który ma minimum kilkuletnie doświadczenie na tego typu urządzeniach. Funkcjonalność „plug and play” działa rewelacyjnie na standardowych rozwiązaniach, takich jak zbiorniki magazynowe czy proste aplikacje. Trzeba jednak pamiętać, że nadal funkcjonują parametry specjalne dla wyjątkowo ciężkich aplikacji, a reaktory bez wątpienia należą do tej kategorii. W wyjątkowo trudnych przypadkach najlepszą metodą rozwiązania problemów jest zarejestrowanie echa przez kilka dni i jego analiza. W większości przypadków, po zmianie kilku para-

metrów specjalnych, możemy cieszyć się prawidłową pracą sondy przez kolejne dekady.



ROZWIĄZANIE NR 2 – POMIAR RÓŻNICY CIŚNIEŃ FUJI LUB CIŚNIENIA VEGABAR

Jest to jedna z najstarszych metod pomiaru poziomu, polegająca na pomiarze różnicy ciśnień wewnątrz reaktora. Jedna sonda instalowana jest blisko dna, druga powyżej górnego poziomu cieczy. W chwili obecnej mamy do wyboru 2 rozwiązania: pierwsze – klasyczne, z przetwornikiem różnicy ciśnień FUJI wyposażonym w kapilary oraz separatory membranowe z bogatą ofertą materiałów o bardzo wysokiej odporności chemicznej. Rozwiązanie jest bardzo pewne z wyjątkiem problemów z wpływem zmian temperatury otoczenia na ciecz wypełniającą kapilary. Typowym błędem ze strony użytkownika jest pomijanie wpływu zastosowania separatorów, przy obliczeniach całkowitej niepewności pomiaru.

Drugim rozwiązaniem jest zastosowanie dwóch przetworników ciśnienia VEGABAR (jeden posiada specjalną elektronikę), które w sposób elektroniczny odejmują od pomiaru całkowitego wartość ciśnienia statycznego nad cieczą. W tym przypadku bardzo upraszczamy montaż urządzenia, nie potrzebujemy kapilar, a tylko zwykłe przewody sygnałowe. Należy jednak pamiętać, że rozwiązanie to jest teoretycznie znacznie mniej dokładne niż zastosowanie przetwornika różnicy ciśnień. Co niemniej ważne, może być ono stosowane wyłącznie, jeśli ciśnienie statyczne nie jest większe niż 8-krotność ciśnienia hydrostatycznego wywołanego maksymalnym poziomem cieczy (np.: dla reaktora o wysokości 10 m max ciśnienie statyczne może wynosić 8 bar).

Pomiary różnicy ciśnień są bardzo łatwe w kalibracji oraz rozwiązują problem braku przy-

”Pomiary różnicy ciśnień są bardzo łatwe w kalibracji oraz rozwiązują problem braku przyłączy w dachu zbiornika.



Rysunek 5
Przetwornik różnicy ciśnień Fuji FKC



Rysunek 6
Schemat pomiaru różnicy ciśnień



Rysunek 7
Przetworniki: Primary i Secondary



łączy w dachu zbiornika. Kolejnymi zaletami jest brak wpływu instalacji wewnętrznych oraz występowania piany. FUJI produkuje przetworniki dla zakresu ciśnienia statycznego nawet powyżej 1000 bar, maksymalnej temperaturze procesu 400°C, a nawet wersje specjalne z dopuszczeniem do pomiaru mediów radioaktywnych. Niedogodnością natomiast jest wpływ zmian gęstości medium, która wpływa 1:1 dla dokładności pomiaru. Potrzebne są również 2 króćce pomiarowe, co czasami jest problemem na działających aplikacjach.

Istotną informacją jest możliwość zamówienia sond VEGA z przyłączami gwintowanymi i membranami czołowymi wraz ze specjalnym zaworem kulowym, który umożliwia demontaż sondy w czasie procesu. Armatura ma bardzo ciekawą konstrukcję, która zapewnia zlicowanie membrany sondy ze ścianą zbiornika. Nie jest to jednak tak tanie rozwiązanie, jak w przypadku sondy radarowej ze zwykłym zaworem kulowym.



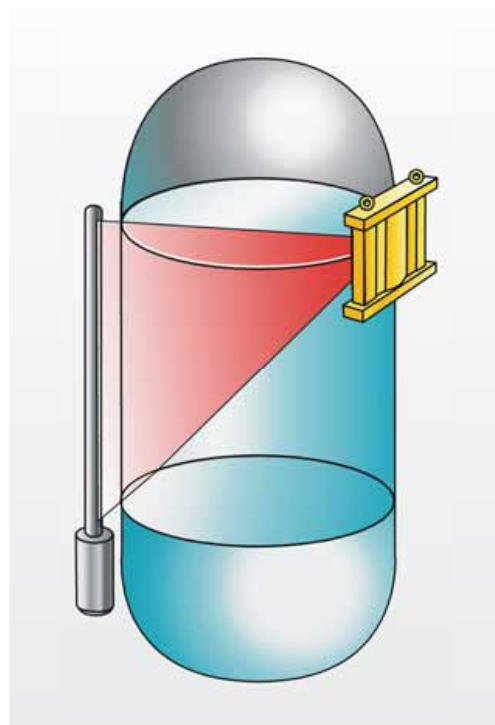
ROZWIĄZANIE NR 3 – POMIARY IZOTOPOWE BERTHOLD TECHNOLOGIES

Zdając sobie sprawę, że na słowo „izotopowy” nie raz kończyła się rozmowa z klientem na temat pomiaru poziomu w ekstremalnych aplikacjach. Konieczność posiadania zezwolenia prezesa Państwowej Agencji Atomistyki, posiadanie inspektora ochrony radiologicznej, kontrola szczelności źródeł, plus obowiązkowa biurokracja spędzają sen z oczu niejednemu kierownikowi działu AK-PiA. Z drugiej strony, każdego miesiąca instalujemy lub serwisujemy tego typu systemy w Polsce. Praktycznie od początku naszej działalności po-

siadamy wszelkie uprawnienia, magazyn izotopów, umowę na odbiór i utylizację starych źródeł, doświadczenie w imporcie źródeł, czy inspektora ochrony radiologicznej. Pomiar izotopowy nie jest więc dla nas czymś nowym, a w pewnych sytuacjach jest jedyną skuteczną metodą.

Pomiar izotopowy składa się z 2 elementów: źródła promieniowania (kobalt lub cez) oraz detektora. Oba elementy układu znajdują się na zewnątrz reaktora, w związku z tym nie interesuje nas dostępność króćców, temperatury i ciśnienia wewnątrz reaktora, agresywność medium itd. W jednej z naszych najtrudniejszych aplikacji pomiar działa na reaktorze o grubości ściany prawie 200 mm. Samo źródło umieszczone jest w specjalnej, grubościennnej pochwie wewnątrz zbiornika. Przy odpowiednim dobraniu źródła, urządzenie jest bezobsługowe nawet przez dekadę. Detektory liniowe firmy Berthold z kryształami wykorzystujące scyntylacje (rozbłyski światła, które wykrywane są przez fotopowielacze) są w chwili obecnej nawet 10 razy czulsze od tradycyjnych komór jonizacyjnych. W związku z tym również aktywność źródeł jest znacznie niższa niż w przeszłości. Odpowiednie rozmieszczenie układów źródło – odbiornik pozwala na pomiar całego parku reaktorów w niedużej odległości od siebie. Praktycznie każdy zakład chemiczny czy rafineria w Polsce posiada rozwiązania od firmy Berthold. Koszt takiego rozwiązania może wydawać się dość spory. Biorąc jednak pod uwagę koszty utrzymania pomiaru przez 2 dekady, spodziewane problemy z pomiarami kontaktowymi, bezobsługowość czyli redukcję obowiązków działu utrzymania ruchu, wielu klientów określa pomiar izotopowy jako optymalne, ekonomiczne i bezobsługowe rozwiązanie.

„Obecnie
aktywność źródeł
izotopowych jest
znacznie niższa niż
w przeszłości.



Rysunek 8
Schemat działania układu izotopowego LB440



Rysunek 9
Kamera wizyjna Canty w reaktorze



ROZWIĄZANIE NR 4 – SYSTEMY WIZYJNE FIRMY CANTY

Jest to ciekawy i nowatorski system polegający na zastosowaniu kamery wizyjnej ze zintegrowanym oświetleniem wnętrza zbiornika. System ma w standardzie 4 funkcjonalności:

- podgląd wizyjny procesu dla operatora,
- pomiar poziomu w zbiorniku,
- pomiar ilości piany na powierzchni cieczy,
- wykrywanie całkowitego opróżnienia zbiornika.

Pomiar poziomu opiera się na wykrywaniu punktu na ścianie reaktora, w którym następuje zmiana kontrastu pomiędzy medium w zbiorniku, a wolną ścianą reaktora. W odróżnieniu od sond radarowych, nie musimy się przejmować instalacjami wewnętrznymi. Musimy jedynie umieścić kamerę tak, aby optyka widziała ścianę na całym wymaganym zakresie zmian pomiaru poziomu. Co istotne, jest to pomiar poziomu tylko górnej warstwy medium, bez względu czy jest to jeszcze ciecz czy piana. Dodatkowe wyjście pozwala na określenie ile procent powierzchni jest pokryte pianą, co jest idealne do kontroli procesu np.: fermentacji czy dodawania środków antypieniących. Można również wykryć, czy nastąpiło całkowite opróżnienie reaktora, zarówno po opróżnieniu zbiornika z podstawowego produktu, jak i **środką czyszczącego między kolejnymi procesami**. Nasza czeska firma INTROL Automation s.r.o. jest w trakcie realizacji pierwsze-

go projektu w 40 letnim reaktorze o grubości ściany 80 mm. Należy dodać, że w dostawie jest kamera ze zintegrowanym układem przemywania optyki wodą (okno wziernikowe jest częścią optyki), wewnętrznym oświetleniem zbiornika, układem chłodzenia elektroniki kamery sprężonym powietrzem oraz zewnętrznym modułem do pomiaru poziomu i piany. Wszystkie te elementy posiadają atesty do pracy w strefie zagrożenia wybuchem.



POMIAR POZIOMU W REAKTORZE – WIELE ROZWIĄZAŃ OD INTROLU

Poziom w reaktorach można mierzyć na kilka różnych sposobów. Należy jednak brać pod uwagę wiele czynników związanych między innymi z właściwościami mierzonego medium, konstrukcją reaktora, możliwościami ingerencji w ściany reaktora oraz oczywiście budżetem. Nasza współpraca z różnymi dostawcami daje nam szerokie portfolio rozwiązań dla trudnych i często nieszablonowych pomiarów poziomu. Dla każdego z oferowanych układów posiadamy kadrę inżynierską przeszkoloną bezpośrednio przez naszych dostawców. Nasi inżynierowie mają kompetencje i wieloletnie doświadczenie w uruchomieniach takich systemów i ich serwisowaniu. Dodatkowo we współpracy z innymi firmami z Grupy Introl możemy zaoferować pełne wykonanie projektu, od prostego montażu sond radarowych, po dostawę, montaż i serwisowanie urządzeń izotopowych.

Zobacz to, czego nie słyszysz

Kamera akustyczna to:

- 112 dynamicznych mikrofonów,
- częstotliwość próbowania 96000/s,
- wbudowany dalmierz,
- wizualizacja w czasie rzeczywistym - 5" kolorowy i dotykowy ekran LCD.



- Do zarządzania wyciekami sprężonego powietrza.



- Do kontrolowania instalacji elektrycznych (wykrywanie wyładowań niezupełnych).



- Do diagnozowania sprawności odwadniaczy w instalacjach parowych.



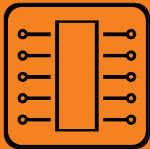
- Do monitorowania szczelności w instalacjach sprężonych gazów i próżni.



przenosne@introl.pl

introl

automatyka i pomiary



Dokładność w przetwornikach ciśnienia, czyli diabeł tkwi w szczegółach



MICHAŁ DUDEK

W Introlu pracuje od 2007 roku. Zajmuje się wsparciem technicznym i doborem czujników ciśnienia i kalibratorów.

Tel: 601 589 949

Przetworniki ciśnienia są szeroko stosowane w wielu gałęziach przemysłu. Producenci w materiałach reklamowych i specyfikacjach podają często coraz to lepsze wartości dokładności. Nierzadko jednak specyfikacja zawiera tylko część prawdy. Obejmuje bowiem tylko niektóre jej składniki wpływające na całkowitą dokładność danego przetwornika w danej aplikacji. Przeanalizujemy więc specyfikacje dokładności niektórych popularnych przetworników ciśnienia i różne składowe dokładności, takie jak: zmiana zakresu, temperatura otoczenia, pozycja montażu, ciśnienie statyczne, dryft długoterminowy, wibracje, zasilanie i inne.



DOKŁADNOŚĆ DOKŁADNOŚCI NIERÓWNA

W branży pomiarowej widzimy nierzadko pewnego rodzaju „gry” rozgrywane ze specyfikacjami niektórych przetworników. Przedstawiają one jedną wartość dokładności, będącą tylko jednym z wielu składników dokładności, które należy wziąć pod uwagę. W niektórych przypadkach reklamy te mogą być mylące i stwarzać błędne wrażenie całkowitej, praktycznej dokładności jaką uzyskać można w aplikacji. Być może rywalizacja w wyścigu o najlepsze dokładności doprowadziły do takiej sytuacji. Faktem jest jednak, że niektórzy producenci określają „ograniczoną” dokładność i umieszczają ją na okładce

broszury i reklamują ją na swojej stronie internetowej, podczas gdy pełną specyfikację można znaleźć w instrukcji obsługi. Zazwyczaj specyfikacja przetwornika ciśnienia obejmuje kilka elementów dokładności, które należy wziąć pod uwagę przy rozważaniu całkowitej dokładności.



„DOKŁADNOŚĆ ODNIESIENIA”

Praktyka uczy, że gdzieś w zakamarkach strony internetowej lub dalszych stronach broszury czy instrukcji obsługi często wspomina się, w osobnym oświadczeniu, o „ograniczonej” dokładności. Można to nazwać także „dokładnością odniesienia” lub czymś podobnym, co obejmuje tylko niektóre składowe dokładności, a nie wszystkie części. Obejmuje np. tylko liniowość, histerezę i powtarzalność. Ta „ograniczona dokładność” nie obejmuje wszystkich praktycznych elementów dokładności, które należy wziąć pod uwagę, takich jak: pozycja montażu, temperatura otoczenia itp. Nie można więc do końca uznać, że ta specyfikacja jest tym, czego można oczekiwać w praktyce, po zainstalowaniu przetwornika w swoim procesie.



RÓŻNE ZAKRESY CIŚNIEŃ

Čzęsto najlepsza (referencyjna) dokładność obowiązuje tylko dla określonych zakresów ci-



Rysunek 1
Inteligentny przetwornik ciśnienia FCX AII V5



Rysunek 2
Przetwornik ciśnienia Introbar 20

śnięć, a nie dla wszystkich dostępnych. Podczas gdy najlepsze zakresy mogą mieć nawet 0,04% dokładności zakresu, to już inne zakresy tego samego modelu przetwornika mogą mieć na przykład dokładność 0,1%. Specyfikacje dokładności można podwoić lub potroić dla różnych dostępnych zakresów ciśnień. Dlatego zawsze należy upewnić się jaka jest dokładność dla zakresów, w których będziemy używać przetwornika.



ZMIANA ZAKRESU

W przetwornikach z komunikacją HART (tzw. inteligentne przetworniki) możemy sami ustawić zakres ciśnienia w jakim będą pracowały. Jeśli przetwornik HART (z wyjściem mA) zostanie ustawiony na mniejszy niż jego pełny zakres, zwykle pogarsza to dokładność. Tak więc, jeśli zmienimy zakres przetwornika na mniejszy niż jego zakres maksymalny, musimy mieć świadomość, że będzie on miał gorszą dokładność, ponieważ dokładność często podawana jest do pełnego zakresu.



WPŁYW TEMPERATURY OTOCZENIA

Większość przetworników ciśnienia jest wykorzystywana w procesach o zmiennych warunkach środowiskowych. Również temperatura mediów mierzonych może się znacznie zmieniać podczas użytkowania. Podobnie jak w przypadku większości urządzeń pomiarowych, przetworniki ciśnienia zwykle mają pewien rodzaj współczynnika temperaturowego. Innymi słowy, istnieje

składowa dokładności, która zależy od temperatury otoczenia. Patrząc na różne przetworniki, wpływ temperatury otoczenia może powodować zmiany dokładności od 0,01% zakresu do nawet 0,5%. W najmniej dokładnych przetwornikach temperatura wpływa na zmianę zakresu nawet o 1%. Co ważne, zależność od temperatury jest często określana w dość trudnym do zrozumienia formacie i w bardzo różny sposób w zależności od producenta. W przypadku wątpliwości w odczycie takich parametrów, warto po prostu zapytać swojego dostawcę.



EFEKT CIŚNIENIA STATYCZNEGO

Bardzo często przetworniki różnicy ciśnień mogą pracować przy ciśnieniu statycznym. Oznacza to, że oba wejścia mają określone ciśnienie, a przetwornik mierzy różnicę między dwoma wejściami. Przetworniki dp działają więc inaczej niż zwykły przetwornik, który mierzy ciśnienie w odniesieniu do ciśnienia atmosferycznego i inaczej niż przetwornik ciśnienia absolutnego, który mierzy ciśnienie w odniesieniu do próżni (do zera absolutnego).

Idealny przetwornik różnicowy mierzyłby więc tylko różnicę między wejściami, ale w praktyce jest inaczej. Jeśli oba wejścia są otwarte na ciśnienie atmosferyczne, różnica ciśnień jest naturalnie zerowa. Ponadto jeśli mamy to samo ciśnienie (powiedzmy 50 bar) przyłożone do obu wejść, różnica ciśnień nadal wynosi zero. W praktyce jednak to ciśnienie statyczne ma pewien wpływ na wyjście przetwornika i gdy zmienia się ciśnienie statyczne, zmienia się wyjście przetwornika. Zwykle wpływ ciśnienia statycznego w układzie może sięgać od 0,025% zakresu do 0,4% w zależności od modelu przetwornika.

Zwykle ciśnienie w układzie zmienia się głównie w zerze przetwornika, ale nie powoduje znaczącej zmiany zakresu. Tak więc podczas kalibracji można przetestować ten efekt, przykładając to samo ciśnienie (niskie i wysokie) do obu wejść i zobaczyć, jak bardzo zmienia się zero.

Specyfikacja przetwornika ciśnienia obejmuje kilka elementów dokładności, które należy wziąć pod uwagę przy rozważaniu całkowitej dokładności.

DOKŁADNOŚĆ

0 do 20% zakresu	$\pm(0,02\% \text{ pełnego zakresu})$
20% do 110% zakresu	$\pm(0,1\% \text{ odczytu})$
próżnia	$\pm(0,25\% \text{ pełnego zakresu}^*)$

* pełny zakres = -1,0 bar

Tabela 1

Dokładność przetwornika w zależności od zakresu ciśnienia

PARAMETRY METROLOGICZNE

	Szerokość zakresu pomiarowego		
	10 kPa	40 kPa	100 kPa ... 100 MPa
Dopuszczalne przeciążenie (powtarzalne – bez histerezy)*	100 kPa	250 kPa	4 × zakres, maks. 120 MPa
Przeciążenie uszkadzające	200 kPa	500 kPa	8 × zakres, maks. 200 MPa
Błąd podstawowy	0,3%	0,2% (0,16% – wykonanie specjalne)	
Stabilność długoczasowa	0,2%/rok	0,1%/rok	
Błąd temperaturowy	typowo 0,3% / 10°C maks. 0,4% / 10°C		typowo 0,2% / 10°C maks. 0,3% / 10°C
Histeresa i powtarzalność	0,05%		
Zakres temperatur kompensacji	-10 ... 80°C		

Tabela 2

Wpływ temperatury na dokładność przetwornika ciśnienia



” Wszystkie urządzenia pomiarowe z biegiem czasu będą powoli tracić swoją dokładność. Niektóre więcej i szybciej, inne mniej i wolniej.



STABILNOŚĆ DŁUGOTERMINOWA

Wszystkie urządzenia pomiarowe z biegiem czasu będą powoli tracić swoją dokładność. Niektóre więcej i szybciej, inne mniej i wolniej. Dotyczy to również przetworników ciśnienia. Niektóre przetworniki ciśnienia mają określoną roczną stabilność, inne mają nawet 5- lub 10-letnią, a nawet dłuższą. Na przykład przetwornik o dokładności odniesienia 0,04% zakresu może mieć roczną stabilność 0,2% zakresu. Niektóre inne modele mają podobny poziom dokładności 0,2% zakresu ważnego przez 5 lub nawet 10 lat.



EFEKT POZYCJI MONTAŻU

Pozycja montażu ma zwykle pewien wpływ na dokładność przetwornika ciśnienia. Większość przetworników ciśnienia ma specyfikację dotyczącą pozycji montażu.

Zwykle zmiana pozycji montażu zmienia zero i nie wpływa na dokładność zakresu. Pozytywnie pracy przetwornika należy jednak wziąć pod uwagę, jeśli najpierw wzorcowany jest przetwornik w warsztacie, a następnie instalowany w procesie w innej pozycji niż była przeprowadzone wzorcowanie.



EFEKT WIBRACJI

Wiele przetworników ciśnienia ma specyfikację dotyczącą wpływu wibracji. Oczywiście należy to wziąć pod uwagę tylko wtedy, gdy przetwornik jest zainstalowany w miejscu z wibracjami. Wpływ wibracji na dokładność jest często stosunkowo niewielki i można go na przykład określić jako „mniejszy niż 0,1% zakresu”.



EFEKT ZASILANIA

Przetwornik 2-przewodowy wymaga do działania zewnętrznego źródła zasilania. Zwykle jest to zasilanie 24 VDC. Przetworniki mogą pracować w szerokim zakresie napięcia zasilania, nawet do 10 VDC. W każdym razie, jeśli napięcie zasilania zmienia się podczas pracy, może to mieć wpływ na dokładność przetwornika. Wpływ napięcia zasilającego jest zwykle niewielki i można go określić na przykład jako „mniejszy niż 0,01% zakresu na zmianę o 1 V”. W praktyce, jeśli mamy dobry zasilacz, nie stanowi to zatem problemu.



CAŁKOWITA SPECYFIKACJA DOKŁADNOŚCI

Niektóre przetworniki mają swego rodzaju specyfikację „całkowitej dokładności”, która obejmuje kilka typowych elementów dokładno-

ści. Może to obejmować wspomniany wcześniej wpływ temperatury otoczenia i wpływ ciśnienia statycznego. Ten rodzaj całkowitej dokładności ma wartość bardziej przyjazną dla użytkownika, ponieważ zbliża się do rzeczywistej dokładności jakiej można oczekiwać od przetwornika.

Na przykład, specyfikacja „całkowitej dokładności” może wynosić 0,14% zakresu, podczas gdy wartość odniesienia wynosi 0,04%. Inny przykładowy model oferuje 0,075% dokładności odniesienia zakresu, a gdy uwzględnimy wpływ temperatury, wzrasta do 0,2%. Gdy uwzględnione są również efekty ciśnienia statycznego, wzrasta do 0,3% zakresu.

Jeśli przetwornik ma tego rodzaju specyfikację „całkowitej” dokładności, pomaga to uzyskać bardziej realistyczny obraz jakiej dokładności można się spodziewać w praktyce.



ZANIECZYSZCZENIE PODCZAS UŻYTKOWANIA

W każdym przetworniku ciśnienia używanym w procesie istnieje duże ryzyko, że membrana przetwornika zostanie zanieczyszczona przez medium lub jakiś zabrudzenie. Tego rodzaju zanieczyszczenia mogą mieć ogromny wpływ na dokładność przetwornika. Jeśli przetwornik będzie bardzo zabrudzony, zapewne zobaczycie Państwo to w swoim układzie analizując wyniki pomiaru ciśnienia. Jeśli jednak zabrudzenie będzie minimalne, trudniej będzie wyłapać ten błąd. Rodzaj i wielkość tego błędu nie jest czymś, co możemy określić w jakikolwiek sposób, ale musimy go brać pod uwagę i dla bezpieczeństwa robić przegląd przetworników co pewien okres czasu.



PRZYKŁADY NAJLEPSZYCH I NAJGORSZYCH PRZYPADKÓW

Po zsumowaniu wszystkich wymienionych powyżej, różnych specyfikacji dokładności, uzyskuje



Rysunek 3
Przetwornik ciśnienia Vegabar 64

się rzeczywistą, całkowitą dokładność, której można oczekiwać w praktyce. Generalnie ujmując, gdy chcemy połączyć (obliczyć) niezależne składniki niepewności, powszechną zasadą jest użycie metody „pierwiastek z sumy kwadratów” składowych (RSS). Samo dodanie wszystkich składników do jednej sumy byłoby najgorszym scenariuszem. W praktyce nie jest bowiem prawdopodobne, aby wszystkie składowe szły w tym samym czasie i kierunku. Dlatego stosowana jest statystyczna metoda RSS.

Aby uzyskać podsumowanie najbardziej optymistycznego przypadku, powinniśmy wziąć wszystkie najmniejsze składowe dokładności i pominąć te, które mogą nie być istotne. W pesymistycznym przypadku powinniśmy przyjąć wszystkie składowe dokładności jako ich maksimum i założyć, że wszystkie są obecne.

Aby uzyskać najlepszą dokładność, przyjęto następujące założenia:

- Wybierz najlepszą dokładność odniesienia.
- Wybierz najdokładniejszy model i zakres.
- Nie zmieniaj zakresu -> brak wpływu na dokładność.
- Używaj przetwornika w ograniczonym zakresie temperatur, zbliżonym do temperatury otoczenia.
- Załóż, że nie ma wpływu ciśnienia statycznego (używane do pomiaru manometru) -> brak wpływu.
- Załóż, że nie ma efektu wibracji -> brak efektu.
- Załóż, że zasilanie jest dobre -> brak efektu.
- Uwzględnij roczny dryf.

Po przejrzaniu specyfikacji kilku różnych przetworników wydaje się, że najmniejsza łączna dokładność jaką mogą znaleźć to około **0,15%** zakresu, a największa około dwa razy więcej, czyli około **0,3%** zakresu.

Aby znaleźć najgorszy przypadek dokładności, przyjęto następujące założenia:

- Wybierz model / zakres ciśnień o największej specyfikacji dokładności.
- Załóż, że zmieniasz zakres ciśnienia przy pomocy komunikacji Hart.

- Użyj zakresu z większym efektem temperaturowym.
- Przyjmij, że używane jest ciśnienie statyczne / liniowe.
- Przyjmij niewielki efekt wibracji.
- Załóż, że efekt zasilania jest niewielki.
- Uwzględnij roczny dryf.

Ponownie patrząc na różne specyfikacje przetworników, po dodaniu wszystkich najgorszych specyfikacji dokładności, otrzymujemy około **1% do 1,5%** dokładności zakresu, z najdokładniejszymi przetwornikami. W przypadku niektórych modeli dokładność ta może być jeszcze gorsza.



DOKŁADNOŚĆ A KALIBRATOR

Z uwagi na to, że dokładność przetwornika wpływa na dokładność wyposażenia kalibracyjnego, pojawiają się pytania jak dobrać odpowiedni kalibrator do sprawdzanych przetworników. Przede wszystkim kalibrator powinien być dokładniejszy niż przetwornik wzorcowany. Stosunek dokładności między kalibratorem a przetwornikiem powinien być dwa razy większy (w Laboratoriach Akredytowanych minimum 3 razy większy). W każdym razie należy mieć świadomość całkowitej niepewności i udokumentować ją podczas wzorcowania.



PODSUMOWANIE

Jak wspomniałem wcześniej, nowoczesne przetworniki ciśnienia są bardzo dokładnymi przyrządami. Warto jednakże uważnie czytać specyfikacje dokładności, w tym wszystkie różne komponenty na nią wpływające. Łatwo je przeoczyć i po prostu przyjąć dokładność z tabliczki znamionowej. Oczywiście taka sama sytuacja dotyczy wszystkich urządzeń pomiarowych, nie tylko przetworników ciśnienia. Zawsze dobrze jest przeczytać wszystkie specyfikacje, w tym wszystkie przypisy napisane drobnym drukiem.



Rysunek 4
Inteligentny przetwornik ciśnienia FKP FCX



Rysunek 5
Przetwornik ciśnienia Introclim DMU

Odwadnianie instalacji parowych na światowym poziomie



Odwadniacze dzwonowe Armstrong

- odporność na zanieczyszczenia (układ zaworowy jest pod pokrywą odwadniacza)
- do montażu na zewnątrz (odporność na zamarzanie)
- konstrukcja odporna na uderzenia wodne
- doskonała praca przy niewielkich ilościach kondensatu i przeciwcisnieniu
- otwarta pozycja w przypadku uszkodzenia
- odprowadzanie powietrza i nieskondensowanych gazów z instalacji
- jakość gwarantowana przez światowego lidera

Introl Sp. z o.o.

www.introl.pl

introl

automatyka i pomiary