

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.

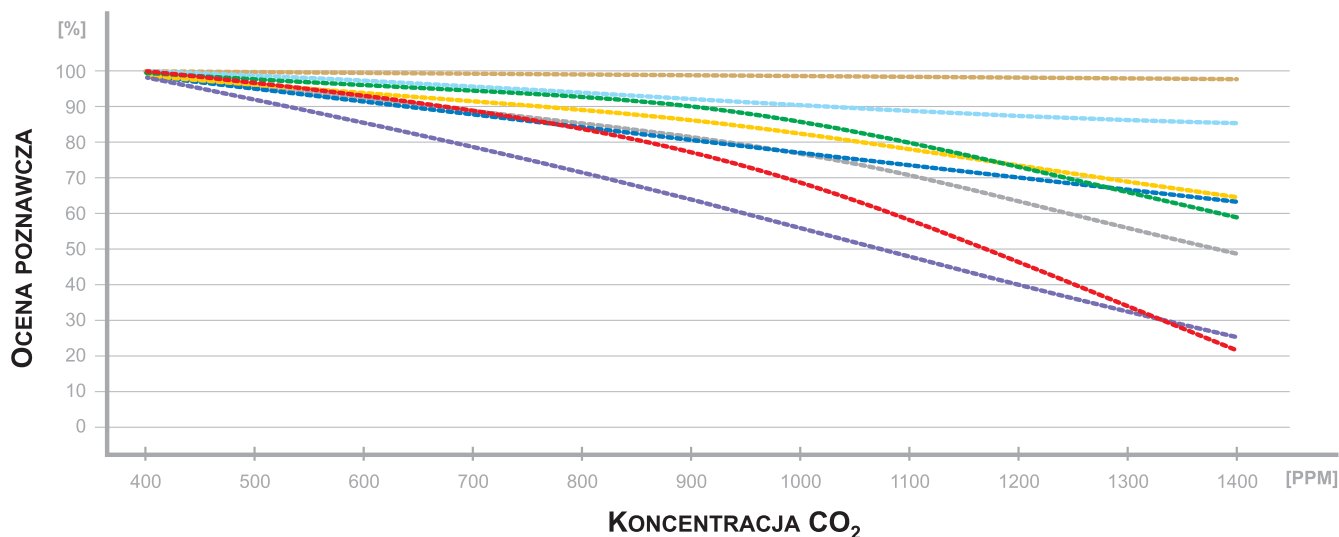
W rzeczywistości założenie to spełnione jest głównie dla biur z nowoczesnymi systemami wentylacji. Badania terenowe pokazują bowiem, że

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 otępienie, 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 Introlu 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 zastaniania 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.

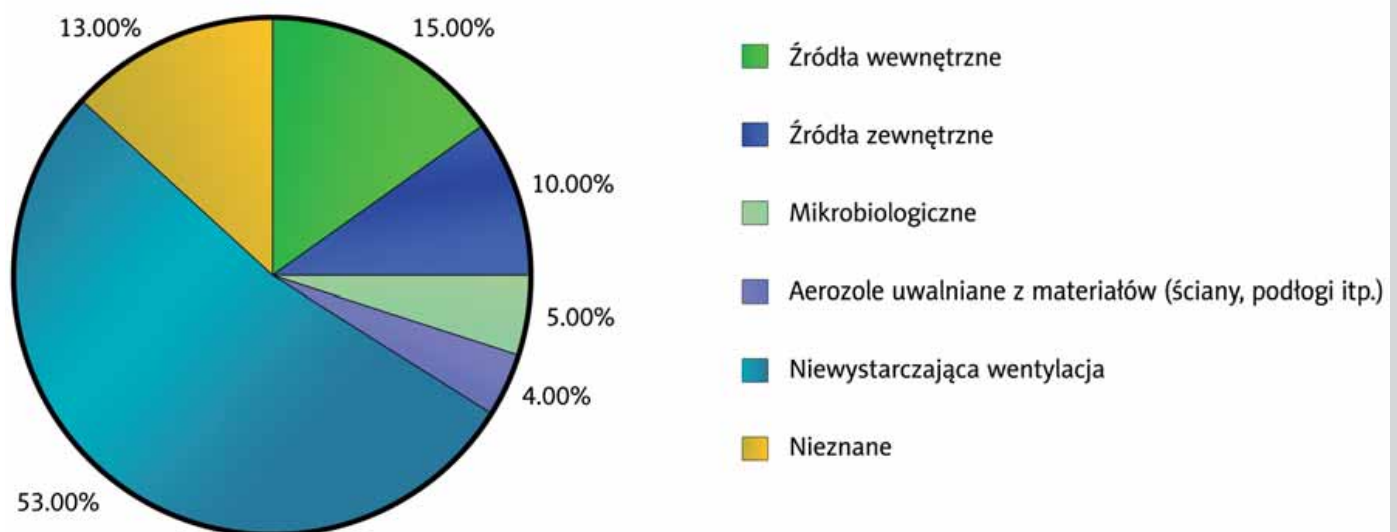
Nasuwa się przy okazji pytanie – czy dwutlenek węgla jest jedynym parametrem decydującym o jakości powietrza wewnątrz budynku? Zdecydowanie nie. Wiele publikacji wskazuje także na obecność zanieczyszczeń powstałych bezpośrednio z wewnętrznych źródeł, zanieczyszczeń z zewnątrz, ulatnianie się aerozoli, 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%)	wydechane 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 CO₂ oraz ich udział i wpływ na organizm człowieka.

„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.

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.

CO₂ 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 wydechonym 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.

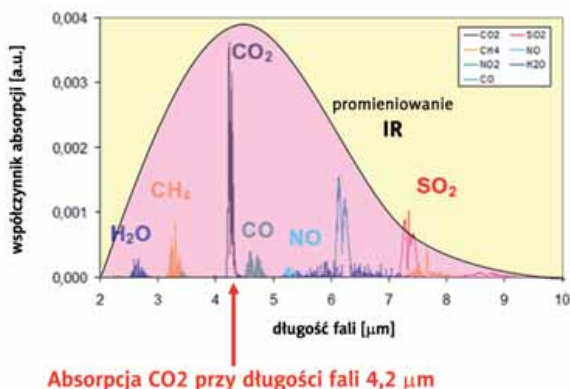


JAK ZMIERZYĆ ILOŚĆ CO₂?

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.

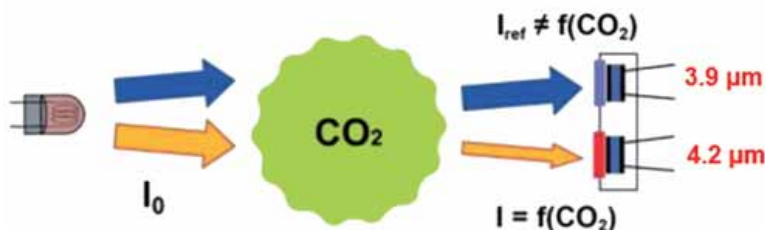
Rozwój technologii w tym zakresie jest wręcz namacalny. Jeszcze kilka lat temu sami stosowaliśmy rozwiązania oparte na dwóch źródłach IR i jednej długości fali. Obecnie zdecydowanie lepszą, bardziej dokładną i stabilną w czasie okazała się metoda bazująca na dwóch długościach fal i jednym źródle.

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 CO₂. 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 zużywania 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 CO₂ 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



WPLYW 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.

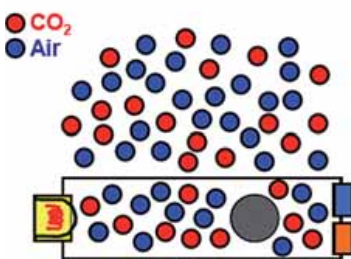


NAJBARDZIEJ WYMAGAJĄCE APLIKACJE

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. Wspomnieliśmy już, że należy zwrócić uwagę, aby cewa 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 doły 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 najmniej 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 przystąpić 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
- wyjątkowa 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

