Przemysł wodorowy

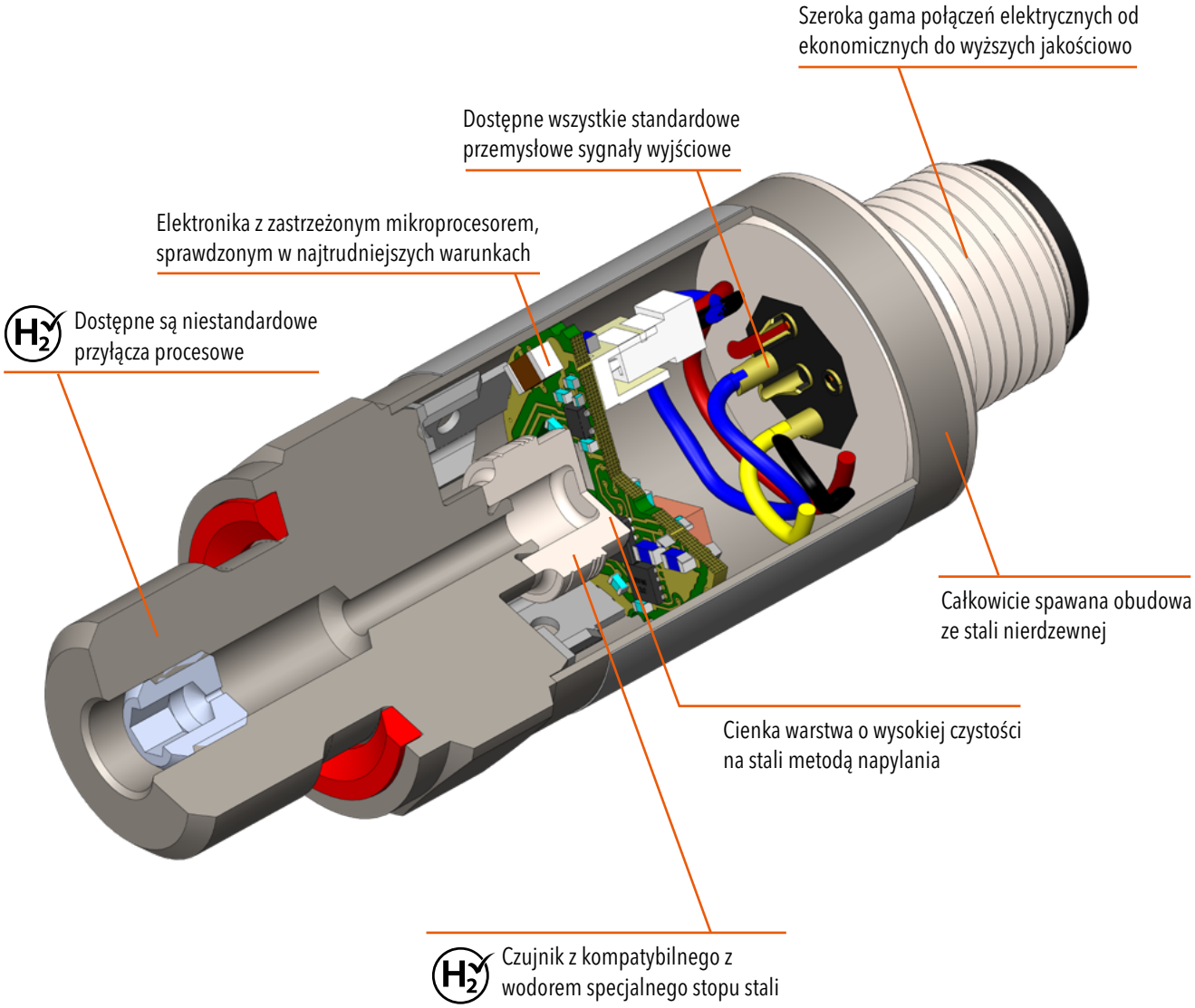
Pomiar ciśnienia

trafag
sensors controls

Technologia czujników

Kluczowym elementem przetworników ciśnienia firmy Trafag są czujniki ciśnienia oparte na technologii thin-film-on-steel (konstrukcja całkowicie spawana bez O-ringu). Technologia czujników pochodzi z własnej produkcji firmy Trafag i została opracowana we własnym zakresie wraz z dostosowanym do niej układem ASIC (application-specific microchip) do przetwarzania sygnałów z czujników. W rezultacie czujnik ciśnienia i elektronika współpracują ze sobą idealnie i osiągają wyjątkowy poziom długoterminowej stabilności i niezawodności, nawet w najbardziej niekorzystnych warunkach otoczenia.

Aby spełnić specyficzne dla wodoru wymagania dotyczące pomiaru ciśnienia, takie jak wytrzymałość i przenikanie, firma Trafag zaprojektowała specjalny stop stali do czujników ciśnienia mających kontakt z wodorem. Ten specyficzny stop stali, wzmocniona azotem stal austenityczna, jest zarówno kompatybilna z wodorem, jak i posiada wszystkie właściwości materiałowe, które są niezbędne do zbudowania solidnych, dokładnych i długotrwale stabilnych czujników ciśnienia.

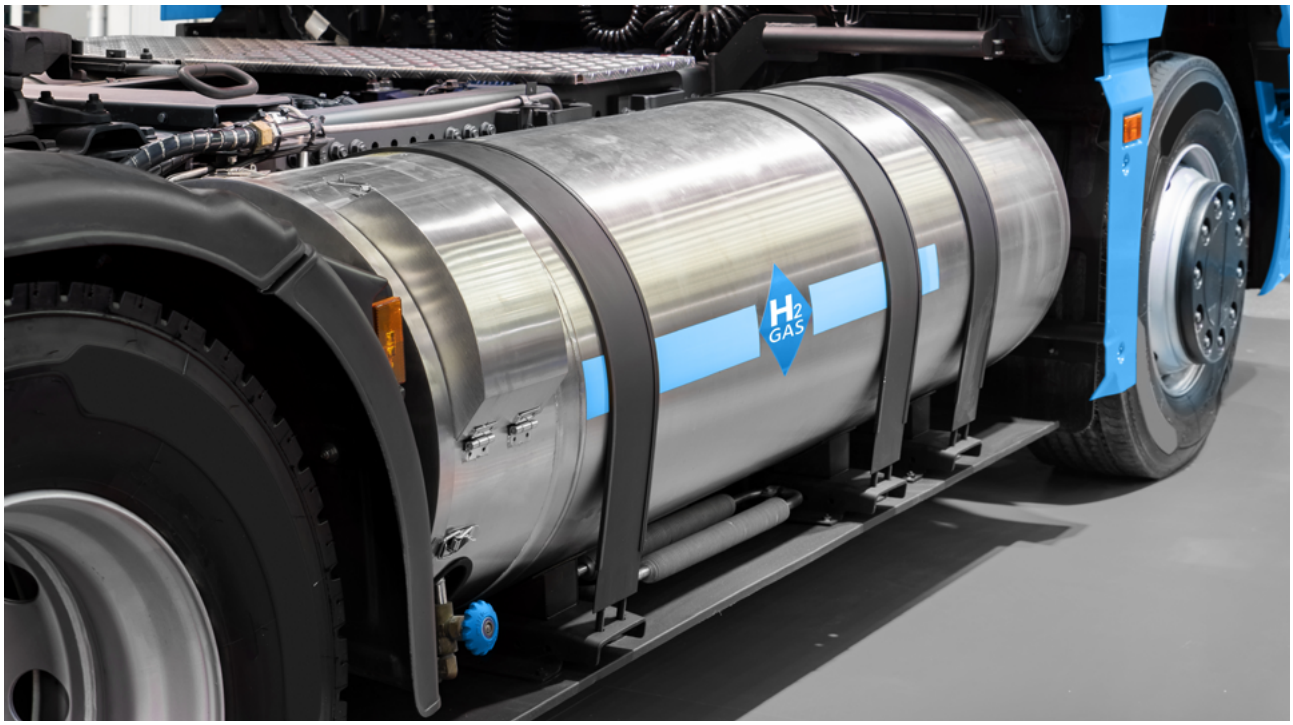


Ilustracja przedstawia kluczowe cechy przetwornika ciśnienia Trafag, które sprawiają, że nadaje się on do mobilnych i stacjonarnych zastosowań wodoru, takich jak ogniwa paliwowe, elektrolizery, sprężarki i zbiorniki magazynowe. Oprócz tych cech produktu, do stosowania w krytycznych zastosowaniach wymagane są również określone certyfikaty. Wszystkie przetworniki ciśnienia wodoru Trafag posiadają certyfikat EC79, a dla niektórych modeli dostępne są również certyfikaty ATEX/IECEx i dopuszczenia morskie.

- Certyfikat EC79 dla pojazdów napędzanych wodorem
- ATEX/IECEx dla stref Ex 0, 1 i 2
- Zatwierdzone do zastosowań morskich

Który czujnik ciśnienia nadaje się do pracy z wodorem?

Wraz z rosnącym rozprzestrzenianiem się wodoru jako nośnika energii rośnie również zapotrzebowanie na odpowiednie czujniki ciśnienia. Chociaż wodór jest od lat używany pod niskim ciśnieniem w przemyśle chemicznym i przetwórczym, nowe wyzwania pojawiają się w zastosowaniach związanych z mobilnością H2: zakresy pomiarowe przekraczające 1000 barów, ograniczona przestrzeń i wysokie koszty w przypadku dużych serii wymagają nowych, innowacyjnych koncepcji czujników.



Cząsteczka wodoru – jako najmniejsza ze wszystkich – ma tę właściwość, że dzięki dyfuzji może przenikać w strukturę wielu dostępnych na rynku stali i innych materiałów. Może być przechowywana na stałe w strukturze lub może wnikać w strukturę (za pomocą przenikania), może być także połączeniem tych dwóch efektów. Kruchość wodorowa jest dobrze znana i spowodowana jest tym, że wnikający wodór zmienia strukturę stali. Przenikanie, czyli proces sorpcji (absorpcji) wodoru na powierzchni membrany, dyfuzji przez materiał membrany i desorpcji z tyłu, nie stanowi problemu w większości zastosowań, takich jak zbiorniki ciśnieniowe, ponieważ posiadają one wystarczająco duże grubości ścian. Jednak w przypadku czujników ciśnienia, które posiadają ścianki cienkiej grubości, przenikanie wodoru przez membranę pomiarową może prowadzić do powstawania reakcji z elementami czujnika.

W zależności od budowy i fizycznej zasady działania czujnika, w grę mogą wchodzić różne czynniki. W kolejnych sekcjach wyjaśniono najważniejsze opcje dla tych czujników, które są zwykle stosowane, gdy wodór jest używany jako nośnik energii. Pokazano również, jakie rozwiązania techniczne stosuje się do przeciwdziałania (szkodliwym skutkom) przenikania wodoru oraz jakie są tego zalety i wady. Na koniec przedstawiono najważniejsze kryteria wyboru odpowiedniego czujnika ciśnienia, a także wskazano na co zwrócić uwagę podczas oceny i kwalifikacji.

W przemysłowych zastosowaniach wodoru stosuje się niemalże wyłącznie czujniki piezorezystancyjne lub czujniki cienkowarstwowe (patrz ramka z zasadami działania). Inne rodzaje czujników są albo nieodpowiednie technicznie (np. czujniki ceramiczne ze względu na dużą porowatość spiekanego materiału), albo są zbyt drogie oraz czysto niszowe.

Czujniki piezorezystancyjne

W przypadku czujników piezorezystancyjnych niezwykle mała grubość ścianki membrany oddzielającej, wynosząca tylko około 70 mikrometrów to duże wyzwanie. Sama membrana rozdzielająca jest standardowo wykonana z kompatybilnego z wodorem materiału AISI316L, dzięki czemu nie odznacza się ona kruchością. Jednak przy wyższych ciśnieniach wodór może dyfundować przez cienką membranę oddzielającą do wypełnienia olejowego. Rozpuszczony w oleju wodór może tworzyć bąbelki, co wyraża się nagłym i silnym przesunięciem sygnału, które w zależności od krzywej ciśnienia może samoistnie zniknąć, gdy tylko bąbelek ponownie się rozpuści. Jako środek zaradczy membrana rozdzielająca jest po stronie wodorowej pokryta złotą powłoką, która działa jak bariera sorpcyjna. Testy Trafaga pokazują, że ta warstwa złota musi mieć określoną minimalną grubość, aby mogła pełnić funkcję ochronną. Efekt ochronny jest zmniejszony, jeśli warstwa jest zbyt cienka, jeśli jest uszkodzona przez mikrozarysowania lub jeśli posiada niewystarczającą przyczepność oraz najmniejsze pęcherzyki spowodowane zanieczyszczeniami w procesie galwanizacji.

Czujniki posiadające cienką warstwę na stali

Z drugiej strony czujniki z cienką warstwą na stali mają znacznie grubszą membranę. Jednak zwykle jest ona wykonana z materiału nieodpowiedniego dla wodoru (17-4PH lub 1.4542), czyli z wysokowydajnej stali martenzytycznej o raczej niskiej zawartości niklu. Stale austenityczne o zawartości niklu powyżej ok. 13 procent uważa się za odpowiednie do pracy z wodorem. Dlatego należy stosować alternatywne stopy stali. Zgodnie z tą zasadą wymagana jest wysoka granica plastyczności, aby membrana, a tym samym napylone mostki oporowe, mogły rozciągać się tak bardzo, że generowany będzie użyteczny sygnał. Niestety, wiele stali kompatybilnych z H_2, takich jak AISI316L, nie spełnia tego wymagania. Jeśli stosuje się czujniki stalowe z membranami wykonanymi z materiału AISI31L, zwykle nie są one wyposażone w długoterminowo stabilny napylony mostek oporowy, ale posiadają powłokę, która wykazuje większą zmianę rezystancji przy tym samym naprężeniu, lecz jest ona często bardziej podatna na dryf sygnału.

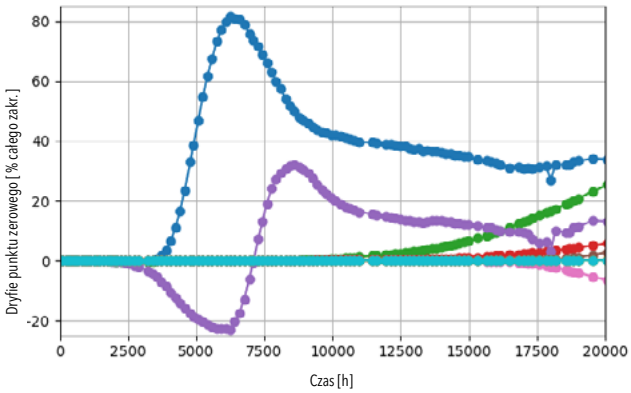
Dużym wyzwaniem jest znalezienie odpowiednich stopów stali, które są kompatybilne z H_2 i jednocześnie nadają się do budowy czujników cienkowarstwowych. W przypadku ogniw cienkowarstwowych z rezystorami napylanymi istnieją pewne stopy stali austenitycznej o wysokiej zawartości niklu, które również mają wystarczającą granicę plastyczności i dlatego są zasadniczo odpowiednie. Jednak dla producenta czujników trudność w przypadku tych stali polega na uzyskaniu takiej jakości materiału, która pozwala na wykonanie długoterminowo stabilnych czujników o niskim dryfie. Krytycznymi parametrami są zwykle jednorodność struktury, stopu i obróbka cieplna. Testy firmy Trafag z własnymi czujnikami wykonanymi z różnych stopów oraz czujnikami konkurencji wykazały, że wiele z oferowanych obecnie rozwiązań ma znacznie dłuższy dryft długoterminowy niż konwencjonalne czujniki do powietrza lub oleju. Dzięki bogatemu doświadczeniu, wieloletnim intensywnym badaniom i niezliczonym testom, Trafag zdołał opracować czujnik cienkowarstwowy wykonany ze stali kompatybilnej z wodorem, którego długoterminowa stabilność jest znacznie lepsza niż większości swoich konkurentów.

Kryterium wydajności, długoterminowa stabilność

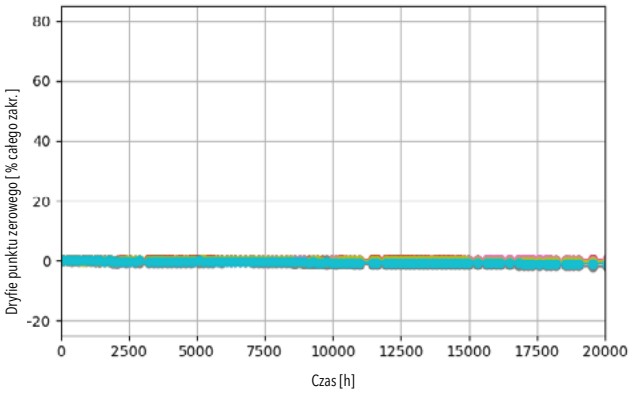
Długoterminowa stabilność czujników ciśnienia wodoru jest obecnie głównym kryterium oceny przetworników ciśnienia. Projekt i rozmiar, elektronika i konstrukcja mechaniczna są w większości zaczerpnięte ze sprawdzonych przemysłowych czujników ciśnienia i dlatego prawie zawsze spełniają wymagania aplikacji wodorowych. Długoterminowa stabilność czujnika oznaczająca, że dokładność pomiaru nie zmienia się lub zmienia się tylko nieznacznie w okresie użytkowania, ma krytyczne znaczenie zwłaszcza w zastosowaniach wodorowych. Słaba stabilność długoterminowa znajduje odzwierciedlenie przede wszystkim w dryfie punktu zerowego, co oznacza, że sygnał nie pokazuje już zera, gdy nie ma ciśnienia.

Kruchość, która jest bardzo często wymieniana w literaturze jako największy problem, nie wystąpiła w przypadku czujników Trafag podczas przeprowadzonych testów. Testy na powstawanie pęknięć standardowych czujników, tj. wykonanych z materiału niekompatybilnego z wodorem, nie wykazały żadnego mierzalnego spadku ciśnienia rozrywającego nawet po dłuższym użytkowaniu w środowisku wodorowym, chociaż sygnały już wykazywały ogromny dryf. Podczas eksploatacji, szczególnie trzy parametry mają duży wpływ na długoterminową stabilność czujników ciśnienia wodoru:

- Ciśnienie: Im wyższe ciśnienie, tym silniejszy i szybszy efekt dyfuzji. Naprzemienne cykle obciążenia mogą również przyspieszyć ten efekt, ponieważ ruch konstrukcji ułatwia mobilność przenikniętego wodoru.
- Temperatura: Im wyższa temperatura, tym szybciej objawia się szkodliwy wpływ wodoru. Kruchość spada ponownie od około 60°C, ale dyfuzja nadal wzrasta.
- Czas: czas trwania narażenia na wodór jest krytyczny. Odchylenia sygnału stają się widoczne dopiero po pewnym czasie i nie są liniowe.



Zerowy dryft standardowych czujników cienkowarstwowych przy 100 barach wodoru



Zero dryftu czujników cienkowarstwowych wykonanych ze stali kompatybilnej z H_2 przy 100 barach wodoru

Podczas gdy wpływ ciśnienia i temperatury jest oczywisty i uwzględnia się je w ocenie w kryteriach badania, czas często nie jest uwzględniany w wystarczającym stopniu. Testy Trafaga wykazały, że czujniki wykonane z nieodpowiedniej standardowej stali membranowej czasami wykazują charakterystyczne efekty dryfu punktu zerowego po 10 000 godzin kontaktu z wodorem oraz że powstaje duży rozrzut, kiedy faktycznie rozpoczyna się dryf punktu zerowego.

Wiele z efektów dryftu jest odwracalnych w przypadku czujników stalowych: Gdy czujnik nie jest już wystawiony na działanie wodoru, stężenie wodoru powoli spada - w wyższych temperaturach (powyżej około 80°C) spada ono stosunkowo szybko.

Konsekwencje oceny czujników ciśnienia wodoru

Kwalifikacja odpowiednich urządzeń jest dużym wyzwaniem dla użytkownika czujników ciśnienia wodoru. Ponadto nieprawidłowy pomiar ciśnienia może prowadzić do poważnych konsekwencji – w tym zagrożenia życia ludzkiego. Dlatego testy muszą być przeprowadzane przez kilka tysięcy godzin, najlepiej w konfiguracji testowej zorientowanej na aplikację. Zorientowanie na zastosowanie oznacza, że przede wszystkim poziom ciśnienia, cykle ciśnienia i warunki temperaturowe najlepiej reprezentują najgorsze warunki w docelowych zastosowaniach. Aby nie ograniczać różnorodności urządzeń, które muszą być testowane w tak złożony sposób, warto brać pod uwagę tylko dostawców z dużym doświadczeniem i wiedzą, którzy również przeprowadzają intensywne wewnętrzne testy kwalifikacyjne, już na etapie wstępnej selekcji.

Zasada działania różnych czujników ciśnienia

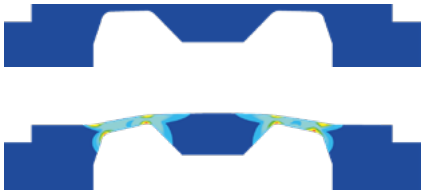
Czujnik piezorezystancyjny

Ciśnienie medium oddziałuje na membranę rozdzielającą, która przenosi ciśnienie na wypełnienie olejowe. Aktywna warstwa elementu półprzewodnikowego w oleju ulega deformacji pod wpływem ciśnienia. Ze względu na zmianę kształtu zmienia się mierzona rezystancja. Membrana oddzielająca musi być bardzo cienka, aby mogła przenosić ciśnienie na olej bez zniekształceń.

Ilustracja przedstawia piezorezystancyjny czujnik ciśnienia z membraną rozdzielającą, wypełnieniem olejowym i warstwą aktywną.

Czujnik posiadający cienką warstwę na stali

Ciśnienie medium działa na stalową membranę. Ma ściśle określoną sztywność i tylko lokalnie odkształca się ze względu na swój specjalny kształt. Rezystory są nakładane na stronę odwróconą od medium w miejscach o maksymalnym odkształceniu. W zależności od położenia opory są ściskane lub rozciągane, co prowadzi do wzrostu lub spadku. Suma bezwzględnych zmian rezystancji jest mierzona za pomocą mostka Wheatstone'a.



Ilustracja czujnika stalowego jako modelu elementu skończonego: powyżej w stanie bezciśnieniowym, a poniżej przy maksymalnym ciśnieniu.

NHT 8250

Przetwornik ciśnienia wodoru

- EC79/2009 certyfikowany przez KBA Kraftfahrt-Bundesamt
- Materiały zwilżane wykonane są ze stali odpowiedniej do pracy z wodorem
- Całkowicie zespawany system czujników bez dodatkowych uszczelek
- Wyjątkowa stabilność długoterminowa
- Opcja: Wyjścia przełączające 1 lub 2 PNP

Dane techniczne

Zasada pomiaru	Cienka warstwa na stali
Zakres pomiaru	0 ... 1 do 0 ... 600 bar 0 ... 15 do 0 ... 7500 psi
Sygnał wyjściowy	4 ... 20 mA, 0.5 ... 4.5 VDC, 0 ... 5 VDC, 1 ... 5 VDC, 1 ... 6 VDC, 0 ... 10 VDC, 0.1 ... 10.1 VDC, 0.5 ... 4.5 VDC ratiometryczny, Wyjście przełączające: 1 lub 2 PNP
Dokładność przy 25°C typ.	± 0.5 % całego zakr. typ. ± 0.3 % całego zakr. typ.
Temperatura medium	–40°C ... +85°C
Temperatura otoczenia	–40°C ... +85°C

Karta katalogowa www.trafag.com/H72338

EXNT 8292

Przetworniki ciśnienia Ex

- Zakresy ciśnienia od 1 do 1000 bar
- ATEX i IECEx
- EC79/2009 certyfikowany przez KBA Kraftfahrt-Bundesamt

Dane techniczne

Zasada pomiaru	Cienka warstwa na stali
Zakres pomiaru	0 ... 0.4 do 1... 1000 bar 0 ... 5 do 15 ... 15000 psi
Sygnał wyjściowy	4 ... 20 mA
Dokładność przy 25°C typ.	± 0.5 % całego zakr. typ. ± 0.3 % całego zakr. typ.
Temperatura medium	Maks. –40°C ... +85°C
Temperatura otoczenia	Maks. –40°C ... +85°C

Karta katalogowa www.trafag.com/H72329

EHI 8280

Przetwornik ciśnienia wodoru

- EC79/2009 certyfikowany przez KBA Kraftfahrt-Bundesamt
- Materiały zwilżane wykonane są ze stali odpowiedniej do pracy z wodorem
- Całkowicie zespawany system czujników bez dodatkowych uszczelek
- Wyjątkowa stabilność długoterminowa

Dane techniczne

Zasada pomiaru	Cienka warstwa na stali
Zakres pomiaru	0 ... 1 do 0 ... 600 bar 0 ... 15 do 0 ... 7500 psi
Sygnał wyjściowy	4 ... 20 mA, 0 ... 5 VDC, 0.5 ... 5 VDC, 1 ... 6 VDC, 0 ... 10 VDC, 0.5 … 4.5 VDC ratiometryczny
Dokładność przy 25°C typ.	± 0.5 % całego zakr. typ. ± 0.3 % całego zakr. typ.
Temperatura medium	-40°C ... +85°C
Temperatura otoczenia	-40°C ... +85°C

Karta katalogowa www.trafag.com/H72349

trafag sensors controls

Jakość i niezawodność

Używane i cenione na całym świecie produkty ze Szwajcarii

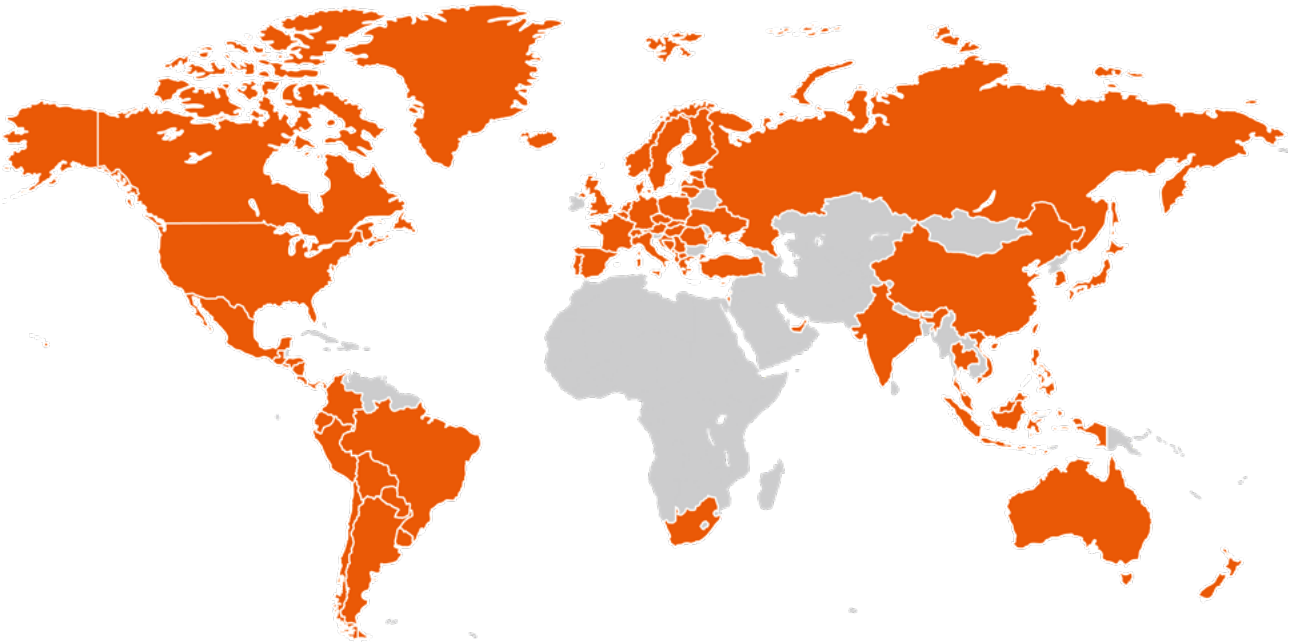
Spółki zależne

Austria
Francja
Hiszpania
Indie
Japonia
Niemcy
Polska (Joint Venture)
Republika Czeska
Rosja (Joint Venture)
Szwajcaria (Główna siedziba)
USA
Wielka Brytania
Włochy

Pprzedstawiciele

Albania
Argentine Republic
Australia
Belgia
Boliwia
Bośnia
Brazylia
Chile
Chiny
Chorwacja
Cypr
Czarnogóra
Dania
Ecuado
Estonia
Filipiny
Finlandia
Grecja
Gwatemala
Honduras
Indonezja
Islandia
Izrael
Kanada
Kolumbia
Korea
Kostaryka
Litwa
Łotwa
Macedonia
Malezja
Meksyk
Niderlandy
Nikaragua
Norwegia
Nowa Zelandia
Panama
Paragwaj
Peru
Portugalia
Południowej Afryki
Rumunia
Salwador
Serbia
Singapur
Słowacja
Szwecja
Tajlandia
Tajwan
Turcja
Ukraina
Urugwaj
Węgry
Wietnam
Zjednoczone Emiraty Arabskie

Może ulec zmianie 01/2023 H70559a



Współrzędne pprzedstawiciele można znaleźć na stronie www.trafag.com/trafag-worldwide

Trafag sensors & controls
Switzerland

Industriestrasse 11
8608 Bubikon

+41 44 922 32 32
www.trafag.com

trafag
sensors controls