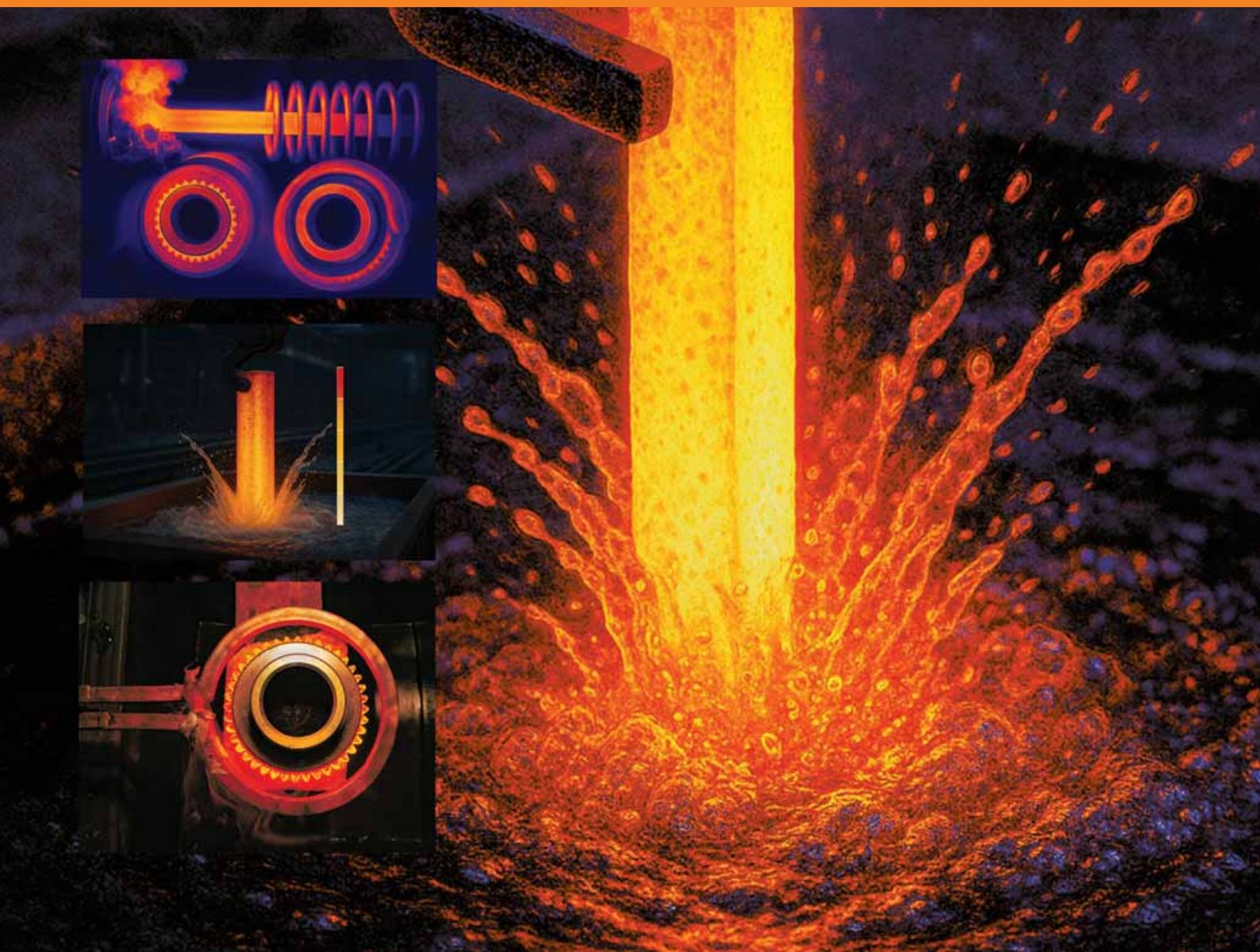


PodKontrola

automatyka i pomiary

wydawca:
Introl Sp. z o.o.

01/2026 (67)



w numerze:

temat
wydania



Zaawansowany pomiar temperatury
w procesach obróbki cieplnej

dobra
praktyka



Technologia TCD w analizatorach wodoru

akademia
automatyki



Nie daj się zaskoczyć parze.
Najczęściej występujące problemy
w systemach pary i kondensatu cz. 1

spis treści

	temat wydania	Zaawansowany pomiar temperatury w procesach obróbki cieplnej	4
	dobra praktyka	Technologia TCD w analizatorach wodoru	9
	akademia automatyki	Nie daj się zaskoczyć parze. Najczęściej występujące problemy w systemach pary i kondensatu cz. 1	13

wydawca



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

redakcja

Paweł Głuszek
Bogusław Trybus
Magdalena Pajor
Adam Reimann

dodatkowe informacje i subskrypcja

www.podkontrola.pl

Drodzy Czytelnicy!

Przed Państwem pierwszy w tym roku numer naszego magazynu o pomiarach i kontroli parametrów procesowych. Zachęcam do lektury artykułów naszych inżynierów, którzy tym razem poruszają tematykę pomiaru temperatury oraz kontroli pary i analizy wodoru.

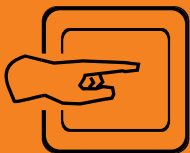
Procesy obróbki cieplnej, takie jak hartowanie czy wyżarzanie, odgrywają istotną rolę w kształtowaniu właściwości materiałów i ich powierzchni. W obróbce cieplnej kluczowa jest precyzyjna kontrola temperatury – niezbędna zarówno do osiągnięcia wymaganych właściwości materiałowych, jak i do zapewnienia powtarzalności i wysokiej jakości produktu końcowego. Z uwagi na ograniczenia metod kontaktowych, tradycyjne metody wypierane są przez zaawansowane systemy termowizyjne. To właśnie o termowizji w procesach obróbki cieplnej traktuje „Temat wydania”.

Wodór - fundament europejskiej transformacji energetycznej, doczekał się już wielu opracowań. My analizujemy go z perspektywy metrologii procesowej. W najnowszej „Dobrej praktyce” autor przybliży specyfikę pomiaru wodoru metodą TCD, wykorzystującą jego unikalną przewodność cieplną. Tekst zestawia przy okazji nowoczesne rozwiązania typu in-situ z tradycyjnymi systemami ekstrakcyjnymi, wskazując na kluczowe różnice w ich eksploatacji i precyzji.

Para wodna to temat często poruszany przez naszych specjalistów. Nasza częstotliwość omawiania zagadnień związanych z instalacjami pary wodnej wynika głównie z tego, że wciąż temat ten jest niewystarczająco dobrze znany. Efekty tego widzimy na co dzień w wielu zakładach, które borykają się z różnymi problemami i awariami. Właśnie dlatego najnowsza „Akademia automatyki” kolejny raz porusza zagadnienie pary wodnej, tym razem skupiając się na najczęściej występujących problemach w tego typu instalacjach. Oczywiście, wraz z omówieniem problemów, autor prezentuje także sposoby ich rozwiązywania. Jest to pierwszy z całego cyklu artykułów, warto więc być z nami na bieżąco, aby poznać wszystkie bolączki instalacji parowych i lekarstwa na nie.

Zapraszam do lektury
Wojciech Mutwicki
prezes zarządu





temat wydania

Zaawansowany pomiar temperatury w procesach obróbki cieplnej



MAREK OSTRYCHARZ

Absolwent Wydziału Inżynierii, Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach, o specjalności Siłownie Ciepłowne oraz Maszyny i Urządzenia Energetyczne. W Introlu pracuje od 2008 roku, jako zastępca kierownika działu bezkontaktowych pomiarów temperatury. Zajmuje się m.in. dobo-rem, realizacją oraz wdrożeniami układów pirometrycznych i termowizyjnych w aplikacjach przemysłowych.

tel. 32 789 00 27

Obróbka cieplna odgrywa fundamentalną rolę w kształtowaniu właściwości materiałów i ich powierzchni. Procesy takie jak hartowanie czy wyżarzanie pozwalają na uzyskanie pożądanych parametrów technicznych elementów stosowanych w różnych gałęziach przemysłu. Kluczowym aspektem wszystkich tych operacji jest precyzyjna kontrola temperatury – niezbędna zarówno do osiągnięcia wymaganych właściwości materiałowych, jak i do zapewnienia powtarzalności i wysokiej jakości produktu końcowego. Pomiar temperatury może być czasami realizowany metodami tradycyjnymi, kontaktowymi. Są one jednak często niewystarczająco trwałe i niezawodne. Z uwagi na to pomiary kontaktowe zastępuje się coraz częściej termowizją. W artykule przyjrzymy się nowoczesnym rozwiązaniom w zakresie bezkontaktowego pomiaru temperatury, które umożliwiają skuteczne monitorowanie i kontrolę procesów obróbki cieplnej.



DOKŁADNY MONITORING TEMPERATURY

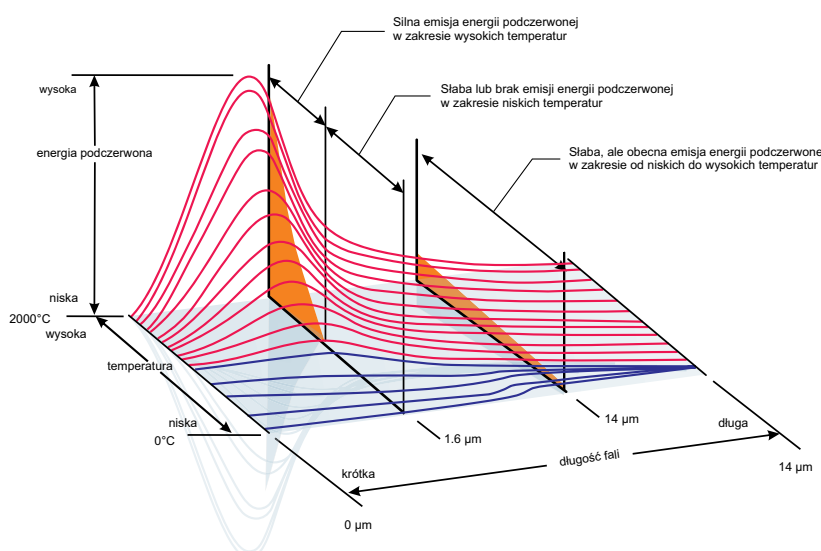
W branżach o najwyższych wymaganiach, takich jak przemysł motoryzacyjny czy lotniczy, kontrola temperatury musi być dodatkowo udokumentowana i przeprowadzana zgodnie z rygorystycznymi standardami. Do najczęściej stosowanych procesów obróbki cieplnej, które wymagają dokładnych pomiarów temperatury w celu monitorowania, sterowania i rejestracji przebiegu, należą m.in.: nagrzewanie indukcyjne, hartowanie powierzchniowe (zanurzeniowe, płomieniowe, plazmowe, laserowe, w prasie), wyżarzanie oraz procesy ciągłego wyżarzania (CAL).



TERMOPARY A URZĄDZENIA DO BEZKONTAKTOWEGO POMIARU TEMPERATURY

W wielu zastosowaniach przenośne termopary nadal są używane do pomiaru temperatury po schłodzeniu. Jednak w przypadku większych elementów o zróżnicowanych rozmiarach i wykonanych z różnych materiałów, temperatura na ich powierzchniach może się różnić ze względu na wewnętrzne przewodzenie ciepła. Może to prowadzić do pominięcia obszarów o wyższych lub niższych temperaturach, ponieważ punkty te zazwyczaj nie są widoczne dla operatora. Ponadto, powtarzalność pomiarów przenośnych termopar jest ograniczona.

Ilość energii podczerwonej dla zakresu temperatur od 0 do 2000°C przy długościach fal od 0 do 14 µm



Pomiar w zakresie wysokich i średnich temperatur
Wybierz krótką długość fali (0,8 do 5 µm)

Pomiar w zakresie niskich temperatur
Wybierz długą długość fali (8 do 14 µm)



zeskanuj
i zobacz
więcej



Rysunek 1
Wykres emisji energii podczerwonej w zależności od temperatury i długości fali



W zależności od pożądanego procesu obróbki cieplnej, bezkontaktowy pomiar temperatury jest niezbędny do dokładnej kontroli procesu, monitorowania i archiwizowania danych. W celu zapewnienia niezawodnej i powtarzalnej kontroli temperatury stosuje się urządzenia bezkontaktowe, takie jak pirometry punktowe (ręczne lub stacjonarne), skanery umożliwiające uzyskanie ciągłego profilu termicznego, a także kamery termowizyjne oferujące pełny, trójwymiarowy obraz rozkładu temperatury.



Rysunek 2
Pirometr LAND SPOT+ podczas kontroli procesu nagrzewania indukcyjnego



Rysunek 3
Pirometr LAND SPOT+ kontrolujący proces kucia matrycowego

Zastosowanie pirometrów punktowych jest dość powszechne w procesach obróbki cieplnej metali. Warto zaznaczyć jednak, że w obróbce cieplnej metali nie zaleca się stosowania pirometrów o tzw. długiej fali pomiarowej, przeważnie pracujących na 8 ... 14 μm . Są one relatywnie tanie i o szerokim zakresie pomiarowym, jednakże większość metali promieniuje na falach krótkich i średnich. Z tego powodu takie pirometry mogą powodować niestabilność/niepowtarzalność pomiaru oraz przyczyniać się do powstawania dodatkowego błędu pomiarowego (oprócz niedokładności urządzenia), czasem rzędu kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu stopni.

Pirometry stacjonarne nowej generacji serii AMETEK LAND SPOT+ mają wyselekcjonowane detektory 1 μm , 1,6 μm , 2,3 μm , 3,9 μm , 3–5 μm pozwalające odbierać promieniowanie obiektu w jego szczycie i jednocześnie mierzyć na żądanym zakresie temperaturowym. Seria AMETEK LAND SPOT+ zawiera w swojej gamie **19 różnych modeli**, dzięki czemu można zastosować odpowiedni pirometr do wymaganej aplikacji (rodzaj materiału, dokładność, odporność na wysokie temperatury, szybkość reakcji, pomiar małych obiektów, komunikacja z systemami sterowania itp.).

Dodatkowo istnieją modele przeznaczone tylko do konkretnego zastosowania, np. SPOT+ GS do blachy ocynkowanej z/bez wyżarzania, SPOT+ AL do aluminium w tym ciekłego, SPOT+ MM do ciekłego żeliwa lub staliwa, SPOT+ TMT do rur w kotłach, reformerach parowych, warnikach. Dostępne są także inne pirometry „szyte na miarę”.

Seria SPOT+ jest samodzielną konstrukcją z zaawansowaną, zintegrowaną obróbką pomiaru. Pirometry są dokładne, powtarzalne i łatwe w użyciu, w wykonaniu kompaktowym lub z rozdzielną optyką (tzw. światłowodowe), o zakresie pomiaru od 0 do 3500°C (w zależności od modelu).

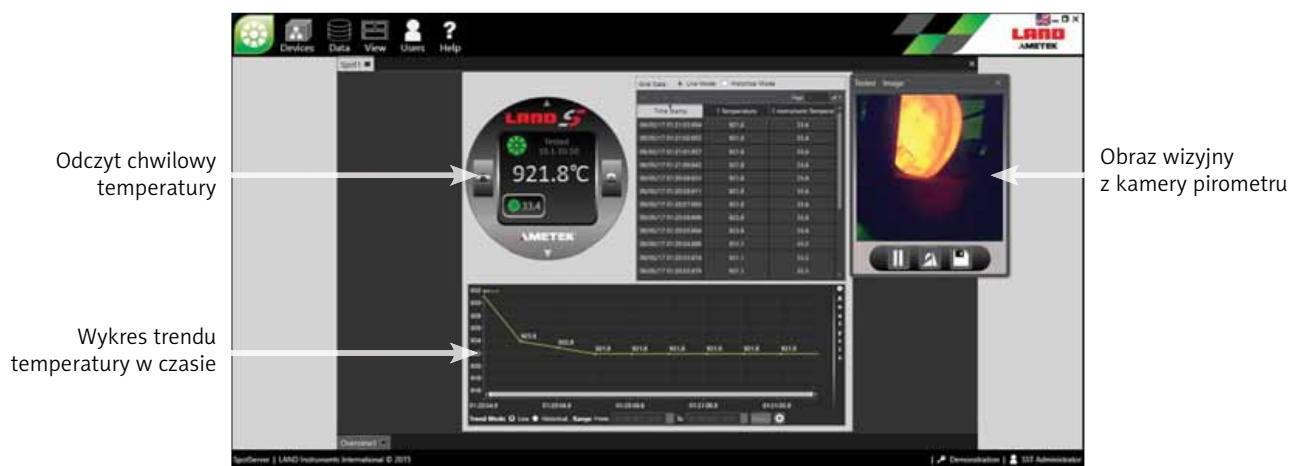
Elektronika łączy w sobie funkcjonalność pirometru jedno- i dwubarwowego. Dla tych drugich, w zależności od aplikacji i wymagań użytkownika, z poziomu menu dostępny jest wybór spośród pięciu trybów działania (Ratio, Mono 1, Mono 2, Multi, Duo).

Kombinacja Ethernet/Modbus TCP/Ethernet/IP/Rest API, wyjść analogowych i przekaźnikowych oraz kamery wizyjnej odznacza serię SPOT+ wysoką funkcjonalnością i uniwersalnością – pozwala na dużą elastyczność do wykorzystania w sterowaniu procesami produkcyjnymi.

”W celu zapewnienia niezawodnej i powtarzalnej kontroli temperatury stosuje się pirometry punktowe, skanery umożliwiające uzyskanie ciągłego profilu termicznego, a także kamery termowizyjne.

PIROMETRY PRZENOŚNE

Do okresowych sprawdzeń np. przez technologów może być używany precyzyjny pirometr



Rysunek 4
Przebieg zarejestrowanych temperatur z podglądem online (w tym wideo) z pirometru LAND SPOT+ podczas kucia swobodnego



ręczny Cyclops 160L z pamięcią wewnętrzną pomiarów temperatury w zakresie od +200 do 1400°C. Wyposażony jest w optykę 180:1 o zmiennej ogniskowej, co pozwala mierzyć nawet małe obiekty z większej odległości. Zakres spektralny pirometru przeznaczony jest dla sektora obróbki metali i wynosi 1,6 μm , co zapewnia zminimalizowanie błędów pomiarowych wynikających ze zmian współczynnika emisyjności obiektu oraz absorpcji. Pirometr wyposażony jest dodatkowo w celownik optyczny ułatwiający dokładne określenie miejsca pomiaru. Wartość mie-

rzonej temperatury można odczytać wewnątrz wizjera oraz na dużym, zewnętrznym wyświetlaczu LCD, na którym dodatkowo znajdują się informacje o stanie baterii, wartości współczynnika emisyjności i trybie pomiaru. Standardowe wyposażenie zawiera także futerał żaroodporny oraz oprogramowanie archiwizująco-wizualizacyjne na urządzenia mobilne z Androidem i na komputer PC.



SKANERY LINIOWE TEMPERATURY – ROZWIĄZANIE POMIĘDZY PIROMETREM, A KAMERĄ TERMOWIZYJNĄ

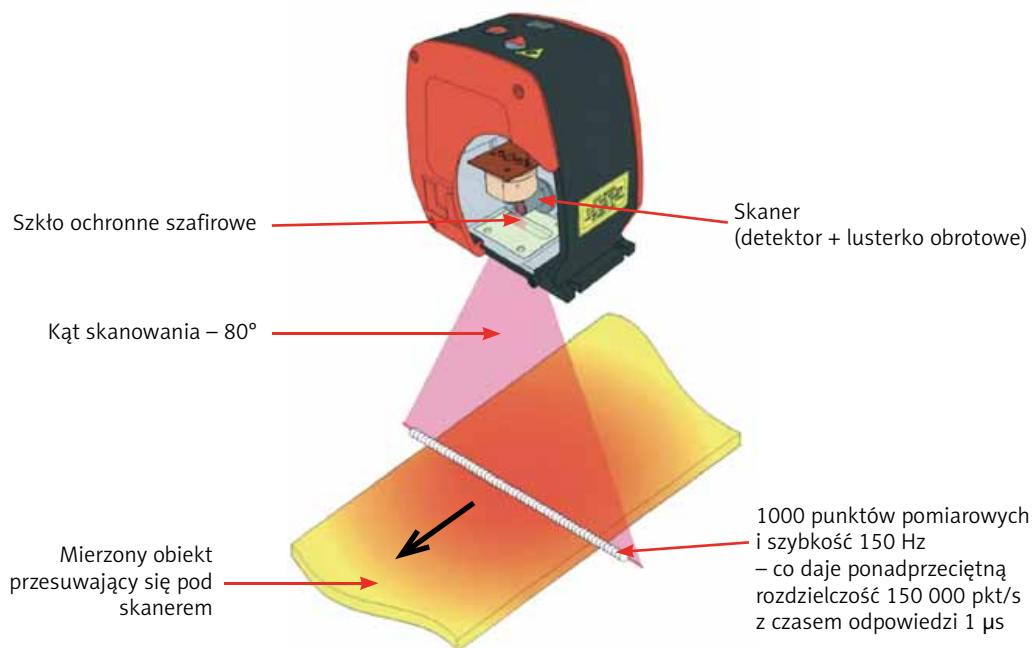
Rozwinięciem punktowego pomiaru pirometrycznego jest zastosowanie liniowych skanerów temperatury (zwanymi czasem pirometrami skanującymi). Cyfrowe liniowe skanery temperatury AMETEK LANDSCAN LSP-HD (wysoka rozdzielczość) wchodzą w skład specjalizowanych urządzeń do pomiaru bezkontaktowego temperatury, przeznaczonych dla różnych gałęzi przemysłu i zastosowań. Skanery służą do dokładnego i szybkiego pomiaru **rozkładu temperatury powierzchni materiałów** przesuwających się tj. na samotokach, taśmociągach, pasmach materiału, liniach produkcyjnych; na ich całej szerokości i długości. Innymi słowy, skanery stosuje się wszędzie tam, gdzie zastosowanie pirometru nie spełnia wymagań, z powodu pomiaru produktu wyłącznie w jednym punkcie.

Skaner zawiera pojedynczy detektor (jak w pirometrze) i lusterko obracające się z prędkością 150 razy na sekundę. W wyniku przesuwania się materiału w kierunku prostopadłym do tej osi, skaner dokonuje pomiaru kolejnych miejsc na powierzchni obiektu. Konsekwencją pomiaru jest

„Skanery służą do dokładnego i szybkiego pomiaru rozkładu temperatury powierzchni materiałów przesuwających się.



Rysunek 5
Pomiar pirometrem przenośnym LAND Cyclops – weryfikacja temperatury w różnych miejscach (piec, nagrzewnica, wanna, prasa itp.)



Rysunek 6
Skaner temperatury wykonuje profil temperaturowy przesuwanego się obiektu z rozdzielczością 1000 pkt i 150 razy na sekundę

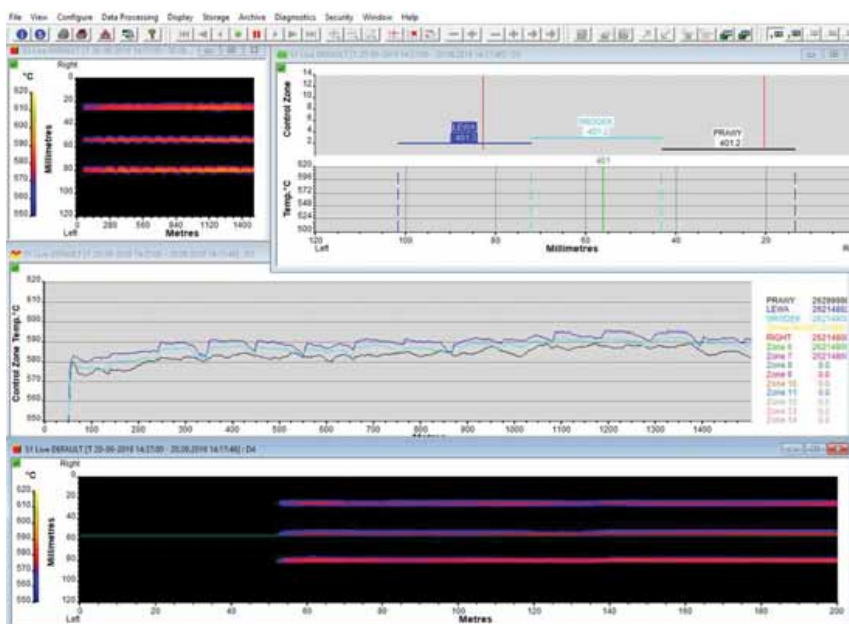


dwuwymiarowy 2D obraz termowizyjny rozkładu temperatury całej powierzchni skanowanego obiektu (podobnie jak z kamery termowizyjnej).

Dużą zaletą skanerów liniowych są ponadprzeciętne czasy reakcji nawet 1 μ s (mikrosekund) oraz rozdzielczość pomiaru do 150 000 pkt temperatury na sekundę obiektu wzdłuż osi skanowania. Dodatkowo optyka jest zabezpieczona trwałym szkłem szafirowym. Skanery posiadają wyselekcjonowane detektory o odpowiedzi spektralnej 1,0 μ m/2,2 μ m/1,9 μ m/5 μ m/3 do 5 μ m oraz dużą dokładność pomiarową 2°C w całym zakresie pomiarowym, co odróżnia je od kamer termowizyjnych w tym aspekcie.

System ma strukturę modułową i pozwala na duże zróżnicowanie konfiguracji, w zależności od warunków pomiaru i indywidualnych potrzeb każdego użytkownika. Strumień danych procesowych jest dostępny ze skanera, dzięki komunikacji cyfrowej w standardzie TCP/IP Industrial Ethernet (PoE), co umożliwia bezpośrednie podłączenie do systemów kontroli procesu. Oprogramowanie do sterowania LAND LSpro lub LANDSCAN WCA, wraz z serwerem danych, dostarcza szczegółowych informacji dotyczących pomiaru oraz narzędzia do analizy rozkładu temperatury. Równoczesne wyświetlenie i przetwarzanie źródeł wielu danych bieżących (analiza on-line) wraz ze źródłami danych historycznych (analiza off-line nawet sprzed kilku lat) umożliwiają analizę i kontrolę procesu produkcji oraz poprawę jakości wyrobu.

Główce skanera LSP-HD są zaprojektowane do autonomicznej pracy w celu bezpośredniego



Rysunek 7

Obraz termowizyjny prętów przesuwających się z dużą prędkością nawet do 15m/s, uzyskany za pomocą skanera LANDSCAN LSP-HD

sterowania podłączonymi modułami I/O, bez konieczności ciągłego używania oprogramowania czy komputera. Po skonfigurowaniu systemu głowica i moduł I/O działają w pełni autonomicznie, zapewniając odczyty temperatury, sterowanie i alarmy dla maksymalnie 14 swobodnie konfigurowalnych stref pomiarowych.

W przypadku rozwiązań „multiscanner” oraz zaawansowanego monitorowania i kontroli procesów, oprogramowanie WCA (Windows Analyse and Control) umożliwia podłączenie jednocześnie do 8 dowolnych modeli skanera liniowego LSP-HD.



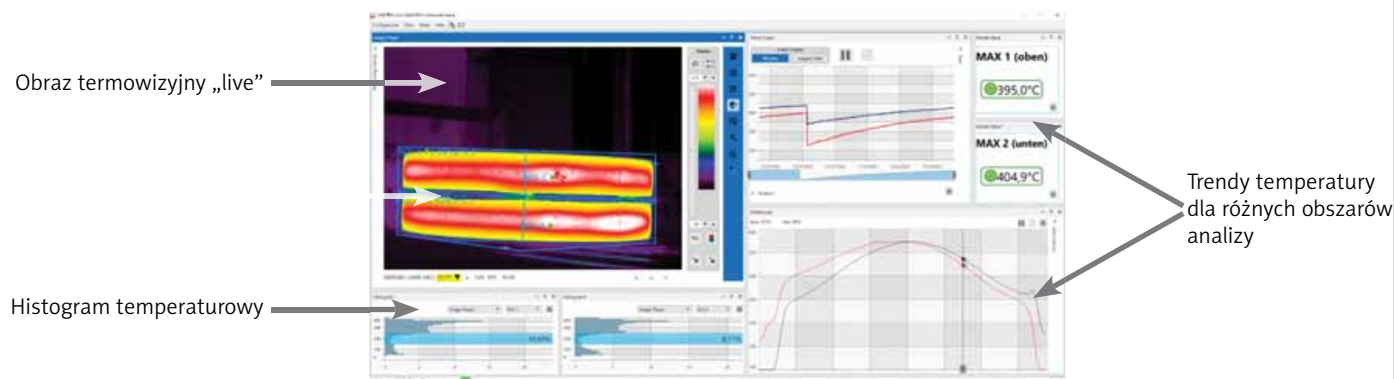
Rysunek 8

Kamera termowizyjna LAND LWIR 640 monitorująca proces hartowania



STACJONARNE KAMERY TERMOWIZYJNE, CZYLI OBRAZOWANIE TERMICZNE

Podstawowa różnica między punktowymi pomiarami temperatury, takimi jak pomiary wykonywane przez kontaktowe termopary lub bezkontaktowe pirometry, a kamerami termowizyjnymi polega na tym, że kamery zapewniają w pełni radiometryczny skalibrowany obraz w całym polu



Rysunek 9

Oprogramowanie IMAGEPro analizujące obraz online, trend oraz histogram temperatury elementów metalowych opuszczanych do basenu hartowniczego



”Dzięki dostarczaniu danych bieżących i historycznych, obrazowanie termiczne pozwala na lepszą kontrolę prowadzonych procesów obróbki cieplnej.

widzenia. Oferują one precyzyjne pomiary temperatury w każdym pikselu kamery. Na przykład, kamery termowizyjne AMETEK LAND MWIR-640 / LWIR-640 lub LAND NIR 2K zapewniają odpowiednio ponad 300 000 lub 3 000 000 pikseli i punktów temperatury na jednym obrazie.

Wymienione kamery termowizyjne są dostępne w różnych zakresach pomiaru temperatury od -20°C do 2000°C (w zależności od modelu) i różnych odpowiedziach widmowych przewidzianych do odpowiednich zastosowań.

Obrazy i filmy termowizyjne dostarczają **pełny obraz rozkładu temperatury** – pozwalają na identyfikację zarówno miejsc przegrzanych, jak i wychłodzonych; oraz na analizę profili temperaturowych w konkretnych momentach lub w funkcji czasu (np. podczas procesu chłodzenia). W niektórych zastosowaniach, po opuszczeniu przez elementy basenu chłodzącego, zgromadzona wewnętrzna energia cieplna może powodować ponowny wzrost temperatury powierzchni (Rysunek 11). Zjawisko to także zostanie wykryte dzięki obrazowaniu termicznym trendu.

Co istotne, model NIR 2K mierzy temperaturę na długości fali 1 µm, czyli tam gdzie metale promieniują najbardziej. Zapewnia przy tym najwyższą powtarzalność i dokładność pomiaru. Z kolei kamera MWIR640, jako że pracuje na zakresie specjalnym 3,9 µm, potrafi dodatkowo uzyskać wyraźne obrazy termowizyjne nawet przez płomienie, dym lub zapylenie. Może być zatem wykorzystywana dla najbardziej wymagających aplikacji.

Kamery termowizyjne MWIR640, LWIR-640 oraz NIR 2K mogą być montowane w specjalistycznych obudowach przemysłowych z funkcją chłodzenia i oczyszczania, co zapewnia ich niezawodne działanie nawet w wymagających warunkach środowiskowych. Urządzenia mogą pracować w trybie autonomicznym, wykorzystując wbudowany serwer WWW do konfiguracji parametrów, analizy obrazu oraz definiowania stref pomiarowych. Zintegrowane interfejsy wejścia/wyjścia (3 kanały analogowe 4...20 mA lub przekaźnikowe) umożliwiają bezpośrednią współpracę z systemami PLC i SCADA – zarówno w trybie ciągłego pomiaru temperatury z wybranych obszarów, jak i w przypadku przekroczenia zadanych progów alarmowych.



OPROGRAMOWANIE

Do zaawansowanego monitorowania, analizy i rejestracji danych wykorzystywane jest oprogramowanie IMAGEPro. Pozwala ono na jednocześnie podłączenie do 16 kamer oraz integrację z systemem sterowania zakładem, dzięki obsłudze protokołów Modbus TCP, OPC UA i Profinet. Dodatkowo, oferuje transmisję strumieniową obrazu w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem protokołu RTMP oraz RTSP.

IMAGEPro zapewnia rejestrowanie danych temperatury, obrazów i filmów dla każdej części poddawanej obróbce cieplnej i zapewnia kontrolę jakości i niezbędną dokumentację.

Oprogramowanie posiada bazę danych MS SQL Express, jednak może być zintegrowane z istniejącą bazą MQS SQL użytkownika. Ponadto, pozwala na pracę kombinowaną/hybrydową tj. zarówno z kamerami termowizyjnymi LAND MWIR/LWIR/ NIR2K, jak i z pirometrami cyfrowymi LAND SPOT+. Połączenie kamer termowizyjnych i pirometrów z tym oprogramowaniem w systemie pomiarowym pozwala na znacznie rozszerzoną kontrolę, w tym dostosowywanie możliwości rejestrowania danych. Jest to szczególnie ważne i niezbędne w przypadku komponentów istotnych dla bezpieczeństwa, np. z sektora motoryzacyjnego lub lotniczego.



KALIBRACJA SERWISOWA I CERTYFIKATY

Wszystkie modele kamer termowizyjnych i pirometrów AMETEK LAND są przed dostawą kalibrowane i sprawdzane, a następnie otrzymują świadectwo wzorcowania wystawione przez akredytowane laboratorium zgodnie z normą ISO/IEC 17025. Certyfikat ten jest uznawany międzynarodowo na podstawie porozumień EA MLA, ILAC MRA oraz akredytacji PCA. Dokument wystawiany jest standardowo w języku polskim i angielskim. Warto przy tej okazji zaznaczyć, że urządzenia AMETEK LAND nie mają ściśle określonego wymogu okresowego sprawdzenia. Wynika to z tego, że zastosowane w nich detektory wykazują się bardzo dużą stabilnością w okresie nawet kilkunastu lat. Również przepisy polskie nie regulują okresów wzorcowania w jednostkach zewnętrznych urządzeń do bezkontaktowego pomiaru temperatury. Użytkownik może natomiast sam określić własne zalecenia w tym zakresie według wewnętrznych potrzeb kontroli jakości i/lub audytów. Zalecamy jednak coroczne sprawdzenie urządzenia poprzez porównanie ze wzorcem w akredytowanym laboratorium, w celu zapewnienia niezmienności parametrów pomiarowych i zgodności z wymaganiami jakościowymi.



KOMPLEKSOWA KONTROLA TEMPERATURY DZIĘKI OBRAZOWANIU TERMICZNEMU

Przemysłowe obrazowanie termiczne zapewnia całościowy obraz warunków cieplnych produkowanych części w czasie rzeczywistym. Umożliwia niezawodne wykrywanie zimnych i gorących punktów oraz śledzenie odchyłków temperatury w krótkim lub długoterminowym okresie czasu, w procesach obróbki cieplnej. Integracja tej technologii jest ułatwiona, dzięki dostępnym interfejsom analogowym i cyfrowym, pozwalającym na autonomiczną pracę urządzeń. Zaawansowane oprogramowanie do obrazowania termicznego umożliwia monitorowanie procesu zarówno lokalnie, jak i zdalnie, a także pozwala na archiwizowanie kompletnych danych oraz ich analizę. Tym samym, dzięki dostarczaniu danych bieżących i historycznych, obrazowanie termiczne pozwala na lepszą kontrolę prowadzonych procesów obróbki cieplnej, minimalizując ryzyko wad materiałowych i zapewniając większą wydajność i lepszą jakość produktu końcowego.



Technologia TCD w analizatorach wodoru

Wodór stał się w ostatnich latach bardzo modnym i medialnym gazem. Za sprawą poszukiwania tzw. zielonych źródeł energii, wodór jest medium, w którym wielu upatruje przyszłość światowej energetyki. Nie każdy jednak ma świadomość, że wodór jest wykorzystywany w przemyśle od dekad, choć nie jest to wodór „zielony”. Bez względu na „kolor”, wodór jest gazem o specyficznych właściwościach, których monitorowanie jest kluczowe dla bezpieczeństwa i efektywności instalacji. Jedną z charakterystycznych właściwości wodoru wykorzystuje metoda pomiarowa TCD.



CZAS WODORU

Wodór przestał być jedynie gazem specjalistycznym, wykorzystywanym w niszowych procesach. Dziś staje się fundamentem nowoczesnego przemysłu i krwiobiegiem globalnej transformacji energetycznej. Jego obecność jest widoczna w całym łańcuchu wartości: od wielkoskalowej elektrolizy i ogniw paliwowych, przez rurociągi i magazyny, aż po tradycyjne rafinerie i zakłady petrochemiczne. Wraz z tą skalowalnością, infrastruktura wodorowa staje się naszą nową codziennością.

Dynamiczny rozwój technologii wodorowych wymusza ewolucję podejścia do analityki procesowej. Pomiar stężenia wodoru nie jest już wyłącznie zadaniem laboratoryjnym czy okazjonalną kontrolą jakości. Stał się on **funkcją inżynierską o krytycznym znaczeniu**, decydującą o bezpieczeństwie instalacji, precyzji sterowania i niezawodności całego układu.



DLACZEGO POMIAR WODORU JEST TAK UCIAŹLIWY?

Specyficzne właściwości fizykochemiczne wodoru sprawiają, że zachowuje się on inaczej niż większość gazów. To generuje szereg wyzwań technicznych, z których najistotniejsze to:

- **wysoka dyfuzyjność** – jako najlżejszy pierwiastek, wodór przenika przez najmniejsze niedoskonałości, uszczelnienia i złącza,
- **zagrożenie pożarowe** – jest bezbarwny, bezwonny i pali się niewidocznym płomieniem. Charakteryzuje się przy tym szerokim zakresem palności i bardzo niską energią zapłonu,
- **zależności procesowe** – wynik pomiaru stężenia jest silnie skorelowany z ciśnieniem, temperaturą oraz zmiennym składem gazu tła.

W praktyce to nie sam czujnik bywa najłagodniejszym ogniwem. Najwięcej niepewności wprowadzają czynniki instalacyjne: niewielkie nieszczelno-



GRZEGORZ GRUSZKA

Absolwent Politechniki Śląskiej w Gliwicach, na Wydziale Automatyka, Elektronika i Informatyka, o specjalności Aparatura elektroniczna. W Introłu pracuje od 2005 roku, obecnie na stanowisku kierownika działu pomiarów fizykochemicznych.

tel. 32 789 00 63





„Analizator TCD zamontowany bezpośrednio w procesie, mierzy wymianę ciepłą i na jej podstawie określa stężenie w czasie rzeczywistym.”

ści, objętości martwe, adsorpcja na powierzchniach wewnętrznych czy kondensacja w układzie.



DLACZEGO POMIAR WODORU MA KLUCZOWE ZNACZENIE?

W dobie transformacji energetycznej precyzyjny pomiar wodoru staje się warunkiem koniecznym dla bezpiecznego, wydajnego i przewidywalnego funkcjonowania przemysłu. Prawidłowo zaprojektowany system analityczny wspiera przedsiębiorstwa w pięciu kluczowych obszarach:

1. Bezpieczeństwo procesowe

To najważniejszy aspekt operacyjny. Pomiary pozwalają na natychmiastowe **wykrywanie wycieków**, weryfikację warunków przedmchu (purge) oraz procesów inertyzacji. Są niezbędne do zapobiegania powstawaniu mieszanin wybuchowych i stanowią integralną część instrumentalnych funkcji bezpieczeństwa (SIF).

2. Jakość produktu i zgodność z normami

Monitorowanie czystości gazu oraz wykrywanie zanieczyszczeń pozwala na zachowanie ścisłej kontroli nad procesem. Jest to niezbędne do spełnienia rygorystycznych specyfikacji kontraktowych oraz wymogów regulacyjnych, które warunkują dopuszczenie produktu do rynku.

3. Efektywność operacyjna

Dokładne dane analityczne umożliwiają **optymalizację wydajności elektrolizerów** oraz maksymalizację wykorzystania ogniw paliwowych. Precyzyjne sterowanie procesami mieszania gazów bezpośrednio przekłada się na mniejsze zużycie energii i redukcję kosztów operacyjnych.

4. Niezawodna automatyzacja

Nowoczesne systemy sterowania (feed-forward i feedback) wymagają szybkich i powtarzalnych sygnałów. Stabilny pomiar jest funda-

mentem płynnej automatyzacji, eliminującym nieplanowane postoje i fluktuacje procesu.

5. Ochrona aktywów

Wczesne wykrywanie zmian w składzie gazu **zapobiega kruchości wodorowej**, zatruciem katalizatorów oraz innymi zakłóceniami procesowymi, które mogą prowadzić do kosztownych awarii sprzętu.



SYSTEMY IN-SITU A SYSTEMY EKSTRAKCYJNE W POMIARZE WODORU

Systemy pomiaru wodoru można zasadniczo podzielić na konfiguracje typu **in-situ** oraz **ekstrakcyjne**.

W **systemie in-situ** analizator dokonuje pomiaru **bezpośrednio** w rurociągu procesowym lub zbiorniku. W tym przypadku element pomiarowy jest wystawiony na bezpośrednie działanie gazu procesowego, przy pełnym ciśnieniu roboczym i temperaturze procesu.

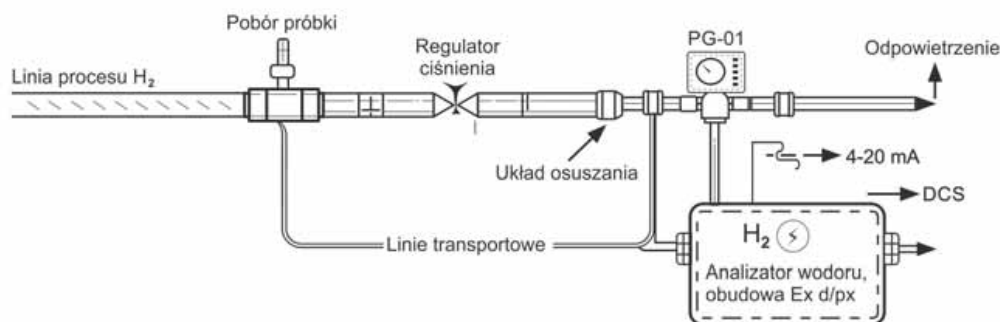
W **systemach ekstrakcyjnych** część gazu procesowego jest pobierana, a następnie transportowana systemem rurek i komponentów kondycjonujących do analizatora umieszczonego poza procesem.

Kluczowe różnice operacyjne występują przede wszystkim w dwóch obszarach. Jeśli chodzi o **dynamikę pomiaru** to metoda in-situ odzwierciedla stan procesu **w czasie rzeczywistym** przy minimalnym opóźnieniu. Systemy ekstrakcyjne, z uwagi na dokonywanie pomiaru na obejściu (bypassie), wprowadzają czas transportu próbki, dodatkowe potencjalne drogi wycieku oraz zmiany ciśnienia i temperatury, przed dokonaniem analizy. Pomiar ten ma zatem określone opóźnienie względem stanu rzeczywistego i jest pomiarem okresowym, a nie ciągłym. W przypadku dynamiki pomiaru, systemy in-situ mają więc przewagę nad pomiarem ekstrakcyjnym.

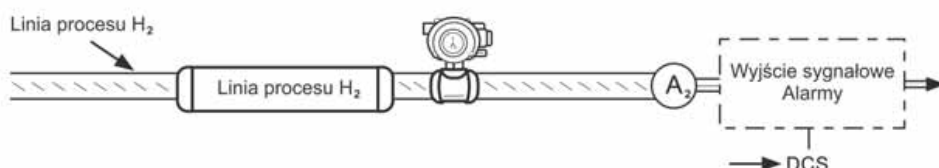
Systemy ekstrakcyjne wygrywają za to z in-situ w zakresie **ochrony i elastyczności** – oferują większą elastyczność i chronią analizator przed trudnymi warunkami procesowymi. Wymagają jednak starannego projektowania w celu wyeliminowania objętości martwych, kondensacji oraz zapewnienia reprezentatywności próbki.

W instalacjach wodorowych wybór między pomiarem in-situ, a ekstrakcyjnym ma bezpośredni wpływ na **czas odpowiedzi, bezpieczeństwo, koszty utrzymania oraz integralność całego systemu**. Warto jednak zaznaczyć, że kwestie te są znacznie bardziej złożone niż tylko rodzaj systemu i miejsce pomiaru. Decyzja o wyborze zawsze musi wynikać ze specyficznych wymagań danej aplikacji, a nie tylko z sa-

Ekstrakcyjny system poboru próbki



In-situ analizator wodoru

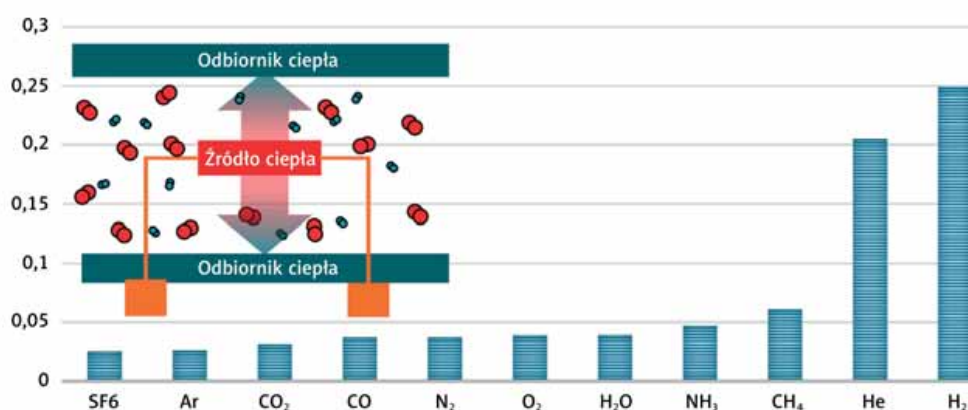


Rysunek 1

Schematy systemu ekstrakcyjnego i systemu in-situ w pomiarach wodoru



Właściwa przewodność cieplna gazów w temperaturze 200°C, [W/(m·K)]

Rysunek 2
Wykres przewodności cieplnej gazów

mych możliwości technicznych takiego czy innego czujnika (układu).

gdzie stężenia wodoru są wysokie, a skład gazu tła pozostaje stosunkowo stabilny.



TECHNOLOGIA TCD W ANALIZATORACH WODORU IN-SITU

Pozostawiając wybór metody pomiarowej innym, chciałbym skupić się na tej bardziej bezpośredniej, czyli **analizatorach wodoru in-situ**. Detektory termokonduktometryczne (TCD) mierzą stężenie wodoru, wykorzystując jego wyjątkowo **wysoką przewodność cieplną** w stosunku do większości innych gazów. W skrócie – analizator wodoru TCD określa zawartość wodoru na podstawie zmian w wymianie ciepła między podgrzewanym elementem pomiarowym, a otaczającym go gazem.

Ponieważ przewodność cieplna wodoru jest znacznie wyższa niż w przypadku azotu, argonu, metanu czy większości gazów przemysłowych, technologia TCD stała się najpowszechniej stosowaną metodą przemysłową do pomiaru stężenia i czystości tego gazu.

Wykorzystanie zjawiska przewodności cieplnej w urządzeniach montowanych bezpośrednio w liniach procesowych (in-situ) pozwala na osiągnięcie wysokiej czułości i powtarzalności pomiarów. Specyfika detekcji typu TCD zapewnia czujnikom wodoru niezwykle szeroki zakres dynamiczny, co przekłada się na wysoką elastyczność aplikacyjną:

- **pomiary śladowe (ppm)** – wykorzystywane m.in. w monitoringu bezpieczeństwa przy procesach elektrolizy, gdzie detekcja minimalnych ilości wodoru w gazach procesowych jest krytyczna dla ochrony instalacji,
- **wysokie stężenia (do 100%)** – stosowane przy kontroli czystości gazu w procesach wielokoskalowych, takich jak reforming parowy metanu (SMR) czy synteza amoniaku.

Zalety metody TCD sprawiają, że analizatory TCD są standardowo wdrażane w systemach produkcji wodoru – w szczególności w **elektrolizerach, jednostkach reformingu oraz układach oczyszczania PSA** (adsorpcja zmiennociśnieniowa). Sprawdzają się najlepiej wszędzie tam,



PROCES POMIARU WODORU METODĄ TCD

Fundamentem działania sensora typu **TCD** jest precyzyjny pomiar dynamiki wymiany ciepła między elementem pomiarowym, a przepływającym medium. Konstrukcja detektora opiera się na podgrzewanym włóknie o wysokiej czułości termicznej (źródło ciepła), które jest zawieszone w komorze pomiędzy elementami odprowadzającymi energię cieplną.

Proces pomiarowy przebiega w następujących etapach:

- **transfer ciepła** – gdy gaz procesowy przepływa wokół włókna, stopień odprowadzania z niego energii zależy bezpośrednio od przewodnictwa cieplnego mieszaniny,
- **wpływ wodoru** – ze względu na unikalne właściwości fizyczne wodoru, wzrost jego stężenia w gazie tła powoduje gwałtowne przyspieszenie odprowadzania ciepła i silniejsze schłodzenie elementu pomiarowego,
- **korelacja elektryczna** – zmiana temperatury włókna wywołuje proporcjonalną zmianę jego **oporności elektrycznej**. Parametr ten jest mierzony z wysoką rozdzielczością,
- **analiza stężenia** – zmierzona różnica potencjałów jest przeliczana na ułamek molowy wodoru, co pozwala na precyzyjne określenie jego stężenia **w czasie rzeczywistym**.

W największym skrócie – analizator TCD zamontowany **bezpośrednio w procesie**, mierzy wymianę cieplną i na jej podstawie określa stężenie w danym momencie, w czasie rzeczywistym. Metoda ta zapewnia tym samym **ciągły monitoring stężenia** reagując natychmiastowo na wahania.



OGRANICZENIA I WYZWANIA TECHNOLOGICZNE

Mimo swojej popularności, technologia TCD posiada specyficzne uwarunkowania, które mu-

„Metoda in-situ odzwierciedla stan procesu w czasie rzeczywistym przy minimalnym opóźnieniu.



Rysunek 3
Układ analizatora wodoru in-situ MOD-1060



Rysunek 4
Czujnik analizatora wodoru MOD-1060

Czujniki w technologii TCD mierzą stężenie wodoru, wykorzystując jego wyjątkowo wysoką przewodność cieplną w stosunku do większości innych gazów.

sza być uwzględnione na etapie projektowania systemu:

- **nieselektywna zasada pomiaru** – detektor reaguje na całkowitą przewodność cieplną mieszaniny, a nie bezpośrednio na cząsteczki wodoru,
- **czułość skrośna** – zmiany stężenia innych gazów o różnej przewodności cieplnej wpływają na wynik pomiaru,
- **spadek dokładności w układach wieloskładnikowych** – w strumieniach o zmiennym składzie gazu tła precyzja analizy ulega pogorszeniu,

Zakres pomiarowy H ₂	Typowe procesy / Cel pomiaru
0 – 1%	Monitorowanie śladowych ilości wodoru w celach bezpieczeństwa i wykrywania wycieków w gazie obojętnym lub procesowym (detekcja bardzo niskich poziomów H ₂ jako wczesne ostrzeżenie).
0 – 5%	Niskie stężenia H ₂ w strumieniu tlenu, stosowane do krytycznego monitoringu bezpieczeństwa (np. na wylocie O ₂ z elektrolizera) w celu uniknięcia tworzenia mieszanin wybuchowych.
0 – 10%	Wodór w gazie z końcowego etapu reformingu, gazie syntezowym lub mieszaninach N ₂ /H ₂ , gdzie H ₂ jest składnikiem mniej znaczącym.
0 – 30%	Średnie stężenia H (np. w gazie z częściowego utleniania, niektórych składach gazu syntezowego), gdzie H ₂ jest jednym z głównych składników.
0 – 100%	Strumienie wysokiej czystości wodoru, obejmujące pomiary od 60–80% aż do 100% H ₂ (czysty produkt wodorowy, magazynowanie, gaz recykulacyjny itp.).

Tabela 1
Zakresy pomiarowe i zastosowanie analizatora wodoru MOD-1060

- **wymóg stabilnego tła** – skuteczna praca urządzenia wymaga dobrze zdefiniowanego i stałego składu pozostałych komponentów mieszaniny.

W praktyce powyższe ograniczenia sprowadzają się przede wszystkim do tego, że każda zmiana w gazie tła – taka jak **przebiecie metanu**, przedostanie się azotu czy zanieczyszczenie tlenem – może wprowadzić błąd pomiarowy. W celu uniknięcia błędów, konieczne jest odpowiednie skonfigurowanie systemu do kompensacji tych zmian. Tutaj warto zaznaczyć, że rozwiązania firmy MODCON minimalizują wpływ ograniczeń pomiarowych, dzięki zastosowaniu algorytmów sztucznej inteligencji.



ANALIZATOR WODORU MOD-1060

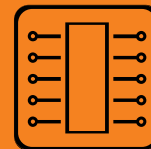
Przykładem analizatora pracującego w oparciu o metodę TCD jest **analizator wodoru MOD-1060** firmy MODCOM. Dzięki wysokiej elastyczności detekcji TCD, analizator ten może być precyzyjnie dostosowany do specyfiki danego węzła technologicznego.

Analizator wodoru MOD-1060 może być skonfigurowany dla różnych przedziałów pomiarowych w zależności od zastosowania i branży. Typowe konfiguracje analizatora przedstawia Tabela 1.



WODÓR NIE WYBACZA BŁĘDÓW

Czasami spotykamy się z projektami, w których pomiar wodoru jest traktowany po macoszemu, jedynie jako kolejny element oprzyrządowania na długiej liście zakupowej. W rzeczywistości jednak, ze względu na swoje właściwości, wodór to gaz wyjątkowo niebezpieczny i trudny do okiełzania. Właśnie dlatego, w dobie rozwoju i upowszechniania technologii produkcji i wykorzystania wodoru, jego skuteczna i dokładna kontrola powinna być traktowana raczej jako cała dyscyplina umożliwiająca bezpieczną eksploatację. Nowoczesna analityka, oparta o różne metody pomiarowe, jest w tym procesie nie tylko narzędziem dostarczającym informacji, ale przede wszystkim jest podstawą **aktywnego systemu ochrony aktywów i ludzi**.



Nie daj się zaskoczyć parze.

Najczęściej występujące problemy w systemach pary i kondensatu cz. 1

Instalacje parowe i kondensatu to zazwyczaj złożony układ składający się z setek metrów rurociągów i odbiorników ciepła, w których zachodzą procesy wymiany ciepła. Elementem łączącym dwa światy, tj. świat pary i kondensatu, jest odwadniacz. To on, obok zaworów odcinających, jest najczęściej występującym elementem w instalacjach. W tych dwóch światach możemy napotkać szereg problemów takich jak: uderzenia wodne, spadek efektywności instalacji spowodowany korkami parowymi, czy zapowietrzaniem instalacji, korozję, erozję, czy problem z efektem Stall. Właśnie dlatego prawidłowe działanie odwadniaczy jest kluczowe, by maksymalnie zredukować potencjalne problemy w instalacjach. Zapraszamy do cyklu artykułów, w których pokażemy środki zaradcze na pojawiające się problemy.



KORKI PAROWE I ZAPOWIERZANIE

Czy spotkałeś się z niewyjaśnionym problemem spadku temperatury w procesach grzewczych, mimo że cały układ wydaje się pracować poprawnie? Brzmi znajomo? Przyczyną może być zjawisko określane jako korki parowe spowodowane przez obecność pary, lub korki powietrzne, czyli zapowietrzanie przez powietrze lub niekondensujące się gazy (dwutlenek węgla). W obu wypadkach mechanizm działania jest podobny. Para lub gaz dostaje się do odwadniacza przed kondensatem powodując jego zamknięcie. Reakcja samego odwadniacza jest prawidłowa, ponieważ zaprojektowany jest tak, aby w momencie wejścia pary do odwadniacza, znajdował się w pozycji zamkniętej.

Problem ten często bywa złożony i wynika on z konfiguracji urządzeń parowych, z których odprowadzany jest kondensat. Świetnym przykładem są suszarki bębnowe. Tego typu suszarki są szeroko stosowane w przemyśle papierniczym, tekstylnym, w przemyśle tworzyw sztucznych oraz spożywczych. Do najczęściej

spotykanych przykładów należą: walce suszące, suszarki bębnowe, prasownice pralnicze oraz walce suszące maszyn papierniczych. Prędkość ich pracy waha się od 1–2 obr./min, do prędkości powierzchniowych sięgających nawet 5 000 obr./min. Ciśnienie robocze pary może mieścić się w zakresie od podciśnienia, aż do ponad 14 bar. Średnice takich cylindrów mogą się zmieniać od 150–200 mm do ponad 4 000 mm. We wszystkich przypadkach odprowadzanie kondensatu wiąże się z pojawianiem pary wtórnej, a więc korków parowych.

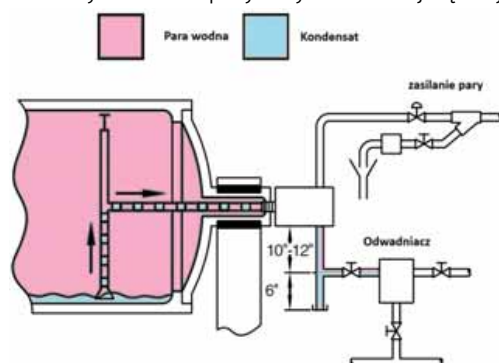
Na rysunku nr 1 przedstawiono poglądowy rysunek suszarki i zjawiska jakie tam zachodzą. Obracający się cylinder odwadniany jest za pomocą syfonu. Wewnętrzny syfon otoczony jest parą. Część kondensatu ulega ponownemu odparowaniu wskutek ogrzewania rury syfonowej otulonej parą oraz podnoszenia syfonu podczas procesu odprowadzania kondensatu.



ŚRODKI ZARADCZE NA POWSTAWANIE KORKÓW PAROWYCH

W powyższym przypadku, środkiem zaradczym na korki parowe mogą być automatyczne, różnicowe regulatory kondensatu (DC) firmy Armstrong. Przeznaczone są do pracy w aplikacjach wcześniej wspomnianych, w których kondensat musi zostać podniesiony z punktu odprowadzania lub w układach grawitacyjnego odprowadzania, gdzie zwiększona prędkość przepływu wspomaga proces drenażu.

Podnoszenie kondensatu z punktu spustowego często określane jest jako syfonowe odprowadzanie kondensatu. Wówczas następuje spadek ciśnienia, w wyniku czego część medium odparowuje tworząc parę wtórną. Ponieważ standardowe odwadniacze parowe nie potrafią rozróżnić pary wtór-



Rysunek 1
Zjawiska zachodzące w suszarkach bębnowych



PAWEŁ HOŁA

Absolwent Politechniki Śląskiej, od 2007 roku zawodowo zajmuje się armaturą przemysłową. W Introlu pracuje na stanowisku kierownika działu armatury przemysłowej.

tel. 601 55 33 61

nej od pary świeżej, tak jak wcześniej nadmieniałem, zamykają się one i ograniczają odpływ kondensatu.

Zwiększona prędkość przepływu w układach grawitacyjnych sprzyja transportowi kondensatu i powietrza do regulatora DC. Uzyskuje się to dzięki wewnętrznemu obejściu parowemu sterowanemu ręcznym zaworem dławiącym. W efekcie, regulator kondensatu automatycznie odpowietrza obejście lub parę wtórną. Para ta może następnie zostać odebrana do dalszego wykorzystania w innych wymiennikach ciepła albo odprowadzona jest do rurociągu powrotnego kondensatu.

Wymagania dotyczące wydajności odprowadzania kondensatu różnią się istotnie w zależności od konkretnej aplikacji. Jednak pojedynczy regulator kondensatu zapewnia wystarczającą wydajność dla większości standardowych instalacji.



PROCESY ZACHODZĄCE W REGULATORZE KONDENSATU

Jak pokazano na rysunku nr 3 kondensat, powietrze, para świeża i wtórna wpływają do regulatora przez króciec wlotowy. Na tym etapie para wtórna i powietrze są automatycznie oddzielane od kondensatu. Następnie kierowane są do zintegrowanego obejścia z kontrolowaną prędkością przepływu, gdzie tworzą parę wtórną w obiegu wtórnym. Zawór upustowy na obejściu jest regulowany tak, aby dostosować jego otwarcie do ilości pary wtórnej powstającej przy pracy z pełną wydajnością, lub do wymagań dotyczących prędkości przepływu w danym układzie.

Kondensat odprowadzany jest przez układ zaworowy odwadniacza znajdujący się w jego górnej części, który kontrolowany jest za pomocą dzwona. Dzięki zastosowaniu podwójnego układu odprowadzania w układzie pary wtórnej, utrzymywane jest ustalone i kontrolowane ciśnienie różnicowe, podczas gdy maksymalne dostępne ciśnienie różnicowe jest wykorzystywane do efektywnego odprowadzania kondensatu.

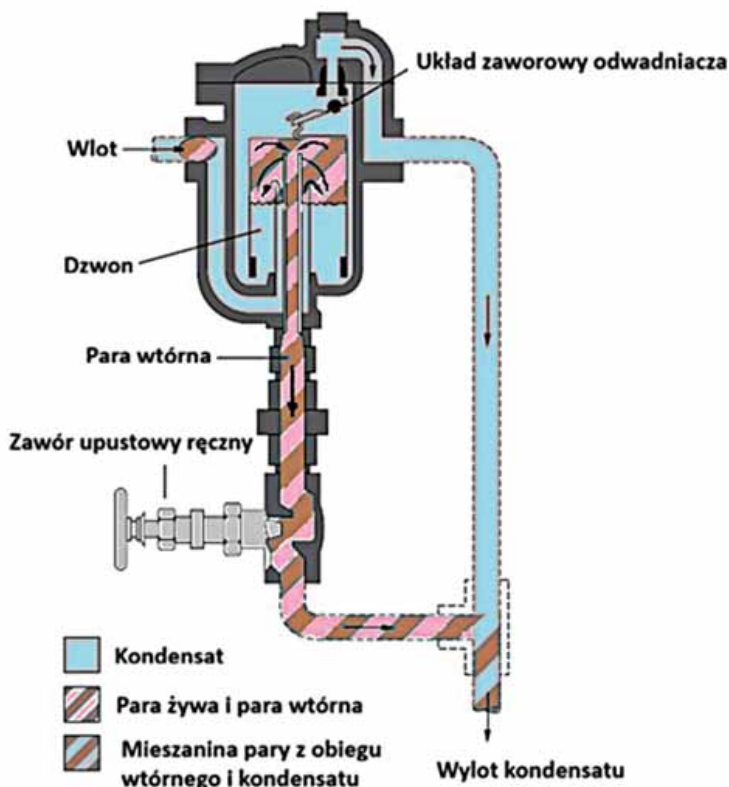
W niektórych aplikacjach, w których powstaje para wtórna, istnieje możliwość jej ponownego wykorzystania. Tak oto wytłania nam się inny środek zaradczy na korki parowe, a mianowicie doprowadzanie mieszaniny kondensatu i pary wtórnej do zbiornika pośredniczącego zwanego z ang. „flash tank”, czyli do **rozprężacza kondensatu**.

Zawartość energii w parze wtórną jest identyczna jak w parze świeżej (przy tym samym ciśnieniu), jednak energia ta zostaje utracona, jeśli para wtórna jest odprowadzana do atmosfery przez odpowietrzenie zbiornika. Przy odpowiednim doborze i instalacji układu odzysku pary wtórnej, energia, a dokładniej rzecz ujmując – ciepło utajone, może być wykorzystane do podgrzewania wstępnej wody lub innych cieczy, a także do procesów grzewczych niskociśnieniowych.

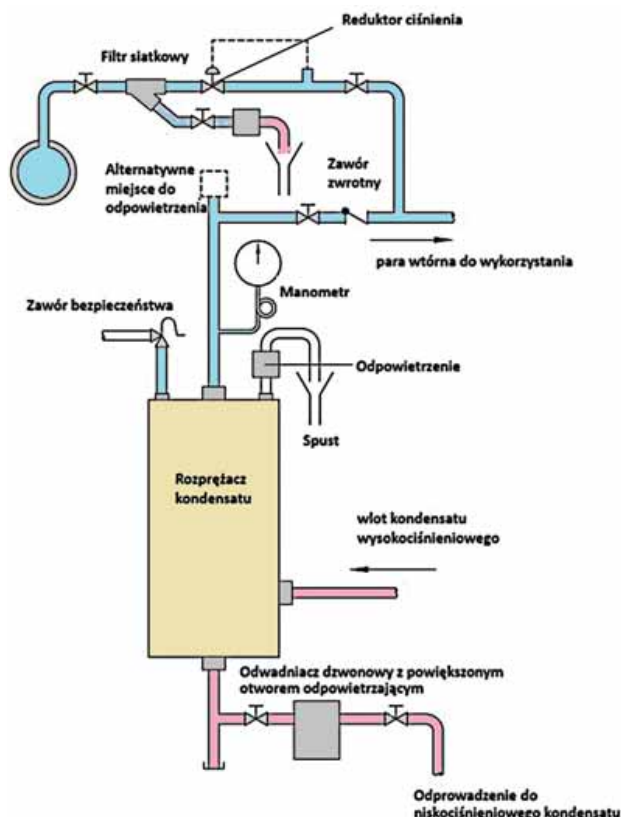
Jeżeli dostępna jest para wylotowa, można ją połączyć z parą wtórną. W pozostałych przypadkach para wtórna musi być uzupełniona parą świeżą o obniżonym ciśnieniu. Rzeczywista ilość powstającej pary wtórnej zależy od warunków ciśnieniowych – im większa różnica między ciśnieniem początkowym, a ciśnieniem po stronie wylotowej, tym powstanie większa ilość pary wtórnej.



Rysunek 2
Różnicowy regulator
kondensatu DC



Rysunek 3
Różnicowy regulator kondensatu



Rysunek 4
Odzysk pary z rozprężacza kondensatu



ODZYSK PARY Z ROZPRĘŻACZA KONDENSATU

Rysunek nr 4 przedstawia schemat doprowadzenia kondensatu do rozprężacza z uzupełnianiem pary świeżej. Zawór redukcyjny pokazany na schemacie obniża ciśnienie pary wysokociśnieniowej do poziomu odpowiadającego ciśnieniu pary wtórnej, dzięki czemu obie pary mogą być łączone i wykorzystywane w procesie technologicznym lub do celów grzewczych. Na wypadek braku procesu, wykorzystuje się zawór zwrotny, którego zadaniem jest zapobieganie stracie pary wtórnej. Z kolei zawór bezpieczeństwa zapobiega narastaniu ciśnienia, które mogłoby zakłócić pracę odwadniaczy pary wysokociśnieniowej zwiększając nadmiernie ciśnienie różnicowe.

Rurociągi kondensatu powinny być prowadzone ze spadkiem w kierunku rozprężacza. Jeżeli do jednego rozprężacza doprowadzonych jest kilka rurociągów, każdą z nich należy wyposażyć w zawór zwrotny. Dzięki temu linia niepracująca będzie odizolowana od pozostałych i nie dojdzie w niej do cofania się pary wtórnej, co skutkowałoby stratami energii.

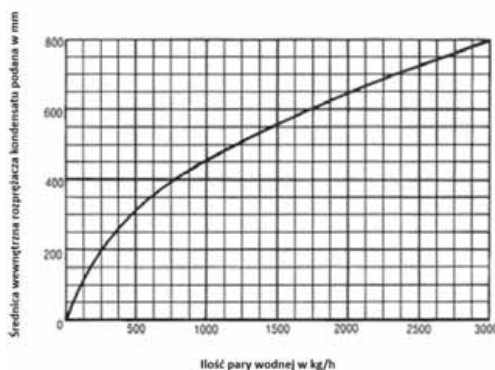
Kwestia wytypowania odpowiedniego miejsca montażu rozprężacza również jest istotna. Wszak celem jest odzyskanie jak największej pary wtórnej kosztem minimalnych długości rurociągów. Ponadto rurociągi kondensatu, rozprężacz i rurociąg pary odzyskanej – niskociśnieniowej **powinny być zaizolowane** celem ograniczenia strat energii w wyniku wymiany ciepła. Pamiętajmy przy tym, że urządzenia niskociśnieniowe zasilane parą wtórną powinny być wyposażone w indywidualne odwadniacze z odprowadzeniem do niskociśnieniowej linii powrotu kondensatu. Na koniec warto również wspomnieć, że z rozprężacza należy odprowadzić duże ilości powietrza. Zaleca się zastosowanie termostatycznego odpowietrznika powietrza, który usunie powietrze i zapobiegnie jego przedostawaniu się do systemu niskociśnieniowego.



BUDOWA I MONTAŻ ROZPRĘŻACZA

Budowa rozprężacza nie jest żadną kosmiczną technologią. Można wykonać go w prosty sposób z odcinka rury o dużej średnicy z przyspawanym lub przykręconym denkiem. Zbiornik powinien być montowany w pozycji pionowej. Na górze wymagany jest wylot pary, a na dole wylot kondensatu. Przyłącze dopływu kondensatu wysokociśnieniowego powinno znajdować się 150-200 mm powyżej króćca wylotu kondensatu.

Kluczowym parametrem jest **średnica wewnętrzna zbiornika**, która ma wpływ na prędkość unoszenia pary wtórnej w kierunku wylotu. Prędkość ta powinna być na tyle niska, by zminimalizować ilość wody unoszonej wraz z parą. Jeśli prędkość pionowa jest utrzymana na niskim poziomie, wysokość zbiornika nie jest krytyczna, choć dobrą praktyką jest stosowanie wysokości



Rysunek 4
Dobór średnicy rozprężacza w zależności od ilości pary wtórnej

oscylującej w granicach 700-1000 mm. Przyjmuje się, że prędkość pary w zbiorniku oscylująca na poziomie 3 m/s zapewnia skuteczną separację pary i wody. W oparciu o te dane, obliczono odpowiednie średnice wewnętrzne dla różnych ilości pary wylotowej. Wyniki przedstawiono na rysunku nr 4. Przebieg krzywej wskazuje minimalne zalecane średnice wewnętrzne rozprężacza. Wykres nie uwzględnia jednak ciśnienia, jedynie masę przepływu. Choć przy wyższym ciśnieniu objętość pary oraz jej prędkość unoszenia są mniejsze (ze względu na większą gęstość pary) to wzrasta skłonność do zjawiska pianowania i wyrzutu wody.

Wracając do sedna, czyli do rozważanych przez nas korków parowych, problem ten nie tylko dotyczy suszarek bębnowych. Czasem korki parowe powstają w wyniku błędów instalacyjnych. Oczywiście najczęściej dotyczy to rur pionowych przed odwadniaczem. Jeżeli odprowadzenie kondensatu zaprojektowane jest tak, że para wraz z kondensatem musi napływać pionowo do góry do odwadniacza, istnieje duże prawdopodobieństwo, że natkniemy na problem korków parowych. Wynika to z tego, że para ma niższą gęstość niż kondensat, więc jako pierwsza dotrze do odwadniacza, powodując zamknięcie układu zaworowego. Nawet zwiększając ciśnienie pary zasilającej, nie rozwiążemy problemu, ponieważ para wewnątrz odwadniacza spowoduje jego zamknięcie do momentu jej kondensacji w jego wnętrzu.

Czasem zjawisko korków parowych może dotyczyć również rurociągów poziomych. Dzieje się tak w przypadku braku odpowiednich podpór i wygięciu rurociągu, lub w przypadku długich prostych odcinków bez kieszeni odwadniających.



UNIKAJ KORKÓW, ODZYSKUJ ENERGIĘ

Podsumowując pierwszy artykuł z cyklu problemów związanych z parą i kondensatem, omówiliśmy zjawisko korków parowych i pary wtórnej. Stosując odpowiednie rozwiązania i wiedzę inżynierską możemy uniknąć problemów z blokowaniem prawidłowego odprowadzania kondensatu. Ponadto, energię zawartą w parze wtórnej możemy odzyskać, stosując rozprężacze kondensatu tworząc prosty projekt odzyskiwania energii.

„Energję zawartą w parze wtórnej możemy odzyskać, stosując rozprężacze kondensatu.



Rysunek 5
Rozprężacz kondensatu Armstrong

Na nowej stronie **introl.pl**

● **Sprawdzasz** najszerszą ofertę rozwiązań do kontroli procesów

● **Pytasz** bezpośrednio ponad **30 ekspertów technicznych**

● **Znajdujesz** technologię dla twojego zakładu filtrując po **branży, medium, zastosowaniu**

● **Poznajesz** schematy i opisy procesów w różnych **branżach**

● **Korzystasz** z przydatnych **narzędzi** (przeliczniki, tabele doboru itp.)

● **Masz dostęp** do licznych wskazówek i porad na naszym **blogu**

Zarejestruj się i korzystaj z wszystkich treści już dziś!

introl
kontrola procesu

introl.pl
w przemyśle **niezastąpieni**