

Ciągłe termowizyjne monitorowanie procesów w kotłach i piecach przemysłowych

Nowe generacje stacjonarnych wysokotemperaturowych kamer termowizyjnych

Termowizja została pierwotnie odkryta i wdrożona z myślą o celach wojskowych. Współczesny termowizyjny rozwój (detektorów, urządzeń itp.) upowszechnił jej zastosowanie w życiu codziennym dla celów budownictwa, diagnostyki przemysłowej, w samochodach w celu poprawy bezpieczeństwa. Coraz częściej jest również stosowana w ogólnodostępnych smartfonach, a ostatnio w automatycznych systemach do pomiaru temperatury ludzi podczas pandemii SARS-COV-2. Z drugiej strony, dzięki ciągłemu rozwojowi bardziej wyspecjalizowanych detektorów możliwe jest jej wprowadzanie w nowych zastosowaniach do kontroli i automatyzacji procesów produkcji przemysłowej, również tam, gdzie dotychczas analiza produkcji oparta była o procesowe kamery wizyjne. Przykładem takich nietypowych, nowatorskich rozwiązań są stacjonarne systemy termowizyjne do zastosowań w aplikacjach wysokotemperaturowych.

WSPÓŁCZESNE UKŁADY SPECJALISTYCZNE

Systemy wysokotemperaturowe ze względu na pomiar i analizę obiektów o wysokiej temperaturze, a także w celu uzyskania najwyższej czułości i dokładności pomiaru, wykorzystują odmienne niż powszechnie stosowane w diagnostyce detektory 8...14µm. Bazują one na wykorzystaniu wyselekcjonowanych detektorów o czułości spektralnej bliskiej podczerwieni na długości ok. 1 µm czyli tzw. NIR (Near Infrared Camera – kamera termowizyjna bliskiej podczerwieni). Ze względu na budowę różni się modele stacjonarne kompaktowe oraz bardziej zaawansowane z optyką tzw. boroskopową. Modele wziernikowe/boroskopowe stosuje się w celu wprowadzenia przez wymurówkę/obmurze. Układy boroskopowe zawierają wysokotemperaturową, termoodporną kamerę termowizyjną z wziernikiem o polu widzenia nawet 95°, dającą możliwość ciągłego monitoringu poprzez bardzo mały otwór w ścianie pieca lub kotła.



Dzięki zastosowaniu chłodzenia wodnego i/lub powietrznego możliwe jest stacjonarne zamocowanie kamery do pracy ciągłej 24/7. W celu dodatkowego zabezpieczenia przed przegrzaniem kamery wyposażone są w układy automatycznego wycofywania (pneumatycznego lub elektrycznego) boroskopu z pieca w przypadku awarii chłodzenia.



◀ Boroskopowa kamera termowizyjna LAND NIR B 2K

Na przykładzie boroskopowej kamery termowizyjnej LAND NIR B 2K można przedstawić poszczególne jej części:

- 1 wysokowydajny układ chłodzenia wodą
- 2 kołnierz montażowy
- 3 dodatkowy termoelement w końcówce NIR-B-2K
- 4 optyka o szerokim kącie widzenia 95°x71°
- 5 długość sondy/wziernika dobrana do aplikacji
- 6 wbudowane oczyszczanie optyki powietrzem/azotem

Wycofywanie pneumatyczne stosuje się tam, gdzie dodatkowo występuje wysoka temperatura otoczenia. Wycofanie elektryczne stosuje się natomiast w przypadku, gdy mamy ograniczony dostęp do powietrza/azotu o wysokim ciśnieniu. Oba rozwiązania pozwalają na wyjazd kamery z pieca nawet przy braku chłodzenia i/lub zasilania.

Współczesne modele bazują na wysokich rozdzielczościach 3 mln pikseli dając gigabitowy transfer danych, co jest nie lada wyczynem w przypadku kamer termowizyjnych (dla porównania standardowa kamera termowizyjna to rozdzielczość z reguły nieprzekraczająca 0,3 mln pikseli).

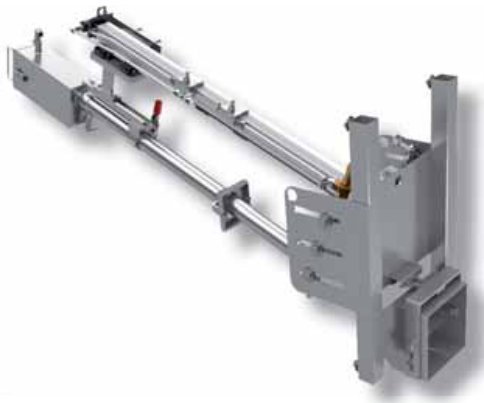
◀◀ Stacjonarna kamera termowizyjna LAND NIR FTI 1000 z opcjonalną dodatkową obudową ochroną z chłodzeniem



◀ LAND NIR-B 2K AR z wycofywaniem elektrycznym



▶
LAND NIR B 2K PAR
z wycofywaniem pneu-
matycznym



PIECE SZKLARSKIE/ PIECE DO TOPIENIA

W procesach topienia przy produkcji szkła płaskiego, opakowaniowego lub wełny mineralnej powszechnie od wielu lat były stosowane boroskopowe kamery wizyjne. Obecnie coraz częściej zastępowane są przez boroskopowe kamery termoodporne – termowizyjne. Oceniam, że najpóźniej w ciągu najbliższej dekady zostaną one całkowicie zastąpione przez układy termowizyjne w polskich hutach szkła.

Układy termowizyjne NIR dają obraz praktycznie identyczny, a nawet lepszy kontrastowo niż kamery wizyjne. Ponadto wykonują one pomiary temperatury oraz dają wiele dodatkowych informacji o procesie – niemożliwych do zauważenia „gołym okiem” lub przy użyciu kamery wizyjnej. Te dodatkowe informacje to:

- pomiar temperatury szkła
- pomiar on-line temperatury ogniotrwałych ścian i łuków portowych palników, sklepienia



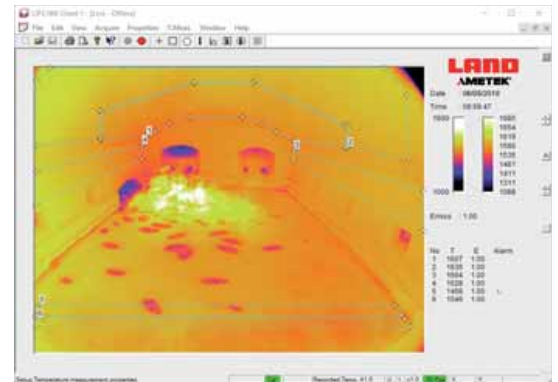
Zobacz działanie boroskopowej kamery NIR



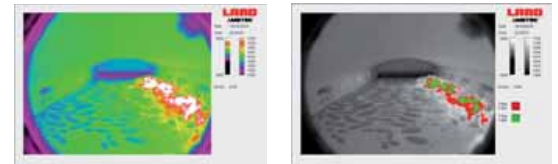
▶▶
Zabudowana na piecu szklarskim kamera termowizyjna LAND NIR B AR z elektrycznym układem wycofywania w miejscu poprzednio stosowanej kamery wizyjnej

- podgląd wnętrza pieca w czerni i bieli dla symulacji widoku kamery wizyjnej
- detekcja nieszczelności objawiająca się jako „zimne” obszary, detekcja pęknięć strukturalnych
- wizualizacja rozmieszczenia płomienia z każdego portu (analiza widmowa)
- zwiększenie wydajności pieca przez ciągły pomiar temperatury i długoterminowej analizy trendów
- analiza procesu spalania w celu zmniejszeniu NO_x
- automatyczna, bez udziału operatora, kontrola stopienia wsadu do pieca (batch controlling).

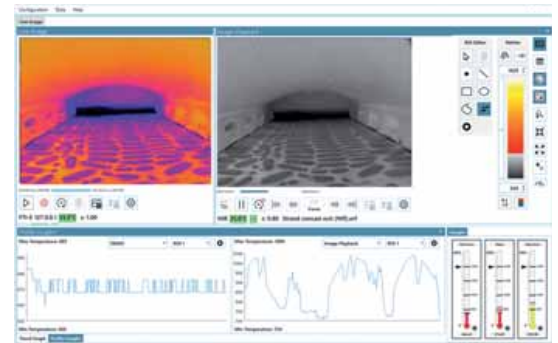
Za te oraz inne cechy układ pomiarowy LAND NIR odznaczony został tytułem „Innovative Solution” Glass Focus Award 2017.



Przykład analizy on-line temperatury materiałów ogniotrwałych oraz linii wsadu (batch line)



Kontrola pracy palników – analiza rozmieszczenia płomienia oraz detekcja NO_x



Zaawansowane oprogramowanie ImagePro Glass dedykowane dla hut szkła - kontrola on-line i analiza postprocesowa off-line

PIECE GRZEWCZE

– WALCOWNIE, KUŹNIE, TŁOCZNIE

Większość hut i kuźni metali wykorzystuje przemysłowe piece grzewcze do wygrzewania półproduktów (kęsy, kęsiska) celem osiągnięcia temperatury roboczej przed dalszą obróbką w procesach walcowania, kucia, tłoczenia. Aby uzyskać optymalną jakość i zmniejszyć straty, temperatura powinna być jednolita w całym półprodukcie, a zarazem powtarzalna. Wymaga to dokładnego monitorowania temperatury/trajektorii ogrzewania.

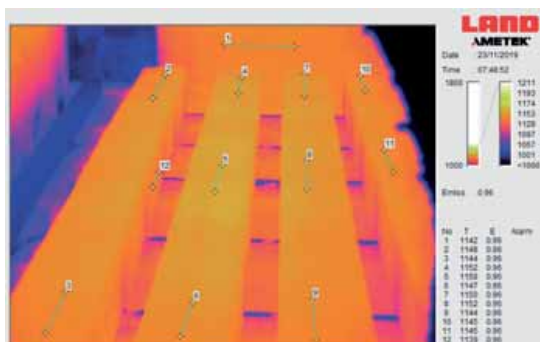
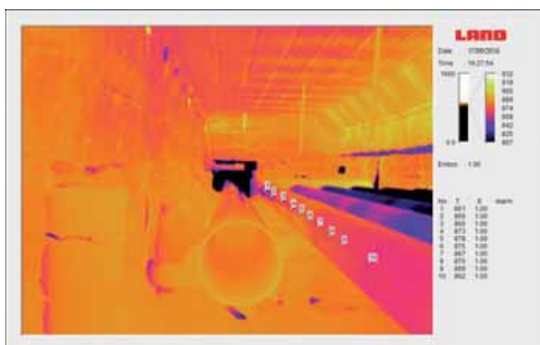


Tradycyjnie stosowane, relatywnie tanie termopary instalowane w dachu lub ścianie pieca mierzą temperaturę atmosfery wewnątrz pieca – na tej podstawie następuje jego sterowanie, czasem uzupełnione dodatkowo o modelowanie matematyczne. Jednak termopary nie potrafią zmierzyć temperatury wsadu przepuszczanego przez piec (wykluczając pewne specyficzne rozwiązania stosowane do poprawności nastaw lub poprocesowej analizy). Czasami wykorzystywane są kamery wizyjne tylko do kontroli prawidłowej trakcji przesuwu w piecu pokrocznym / przepychowym (przeciwdziałanie zakleszczeniom).

Wraz ze wzrostem wymagań jakościowych oraz koniecznością eliminacji awaryjnych przestojów, firmy przechodzą na termowizyjne systemy boroskopowe kontroli wygrzewania w piecu. W tych aplikacjach wykorzystywane są modele LAND NIR B 2K lub bardziej zaawansowane LAND FTI-Eb cechujące się możliwością penetracji przez płomień (dotyczy głównie pieców opalanych „ciężkimi paliwami” jak olej opałowy, diesel, brudny gaz, gaz+olej). Łączą one w sobie podgląd wizyjny on-line wewnątrz pieca dla operatora oraz pomiar rozkładu temperatury kilku półproduktów jednocześnie (nie tylko pomiar punktowy), zastępując lub uzupełniając obecnie wykorzystywane techniki. Dla uzyskania wysokiej dokładności systemy te posiadają funkcję automatycznego pomiaru temperatury tła i kompensacji odbicia promieniowania IR (radiacji) od wewnętrznych ścian pieca. Dane temperaturowe mogą być przekazywane do systemu sterowania piecem. Natomiast pełne dane termowizyjne automatycznie są archiwizowane dla działu kontroli jakości i usprawniania procesu.

Zadania stawiane boroskopowym stacjonarnym kamerom termowizyjnym LAND NIR B 2K oraz FTI-Eb:

- optymalizacja prowadzenia procesu
- oszczędność energii / zmniejszenie zużyciu paliwa
- oszczędność materiału
- zwiększenie wydajności i skrócenie przestojów
- poprawa wydajności produkcji i żywotności paleniska obniżając temperaturę pieca



- umożliwienie jednoczesnego pomiaru wielu obiektów w różnych lokalizacjach
- pomiar profilu temperaturowego w całym składzie metalu
- integracja z systemami sterowania i monitorowania kontroli pracy pieca.

PIECE OBROTOWE

Piec obrotowy jest specyficznym piecem do wypalania klinkieru, wapna, rud żelaza, glinu, materiałów ogniotrwałych, ołowiu i innych. Materiał jest poddawany obróbce poprzez ciągłe obracanie rurowego pieca o długości kilka/kilkadziesiąt metrów (czasem nawet >100 m). Jedną z krytycznych stref w piecu jest strefa spiekania np. klinkieru, w której przebiega zasadniczy proces transformacji C_2S do C_3S w temperaturze około 1250–1450°C (w zależności od procesu/materiału może być inna). Miejsce tej strefy na długości pieca oraz jej temperatura musi być znana i ściśle kontrolowana. Czasem operator tylko po granulacji/wyglądzie materiału w tej strefie jest w stanie ocenić czy proces przebiega prawidłowo. Dlatego z punktu prowadzenia procesu zasadniczym staje się stosowanie urządzeń pomiarowych LAND NIR Bore-scope, które wykonują pomiary temperatury z jednoczesnym podglądem obrazu (o jakości znacznie przewyższającym kamery wizyjne). Niemniej jednak uzyskanie dobrej jakości obrazu jest tutaj nie lada wyzwaniem, gdyż ciągłe obracanie pieca i ruch materiału powoduje bardzo duże zapylenie, a stosowanie do opalania pyłu węglowego oraz coraz częściej paliwa alternatywnego z odpadów znacznie ogranicza widoczność we wnętrzu pieca. Wówczas należy stosować model LAND FTI-Eb z funkcją penetracji przez płomień i zadymienie. Montaż boroskopu kamery wykonuje się od strony palnika umożliwiając analizę klinkieru, płomienia, wymurówki pieca (detekcja uszkodzeń), nagromadzenia się popiołów/ pyłów.

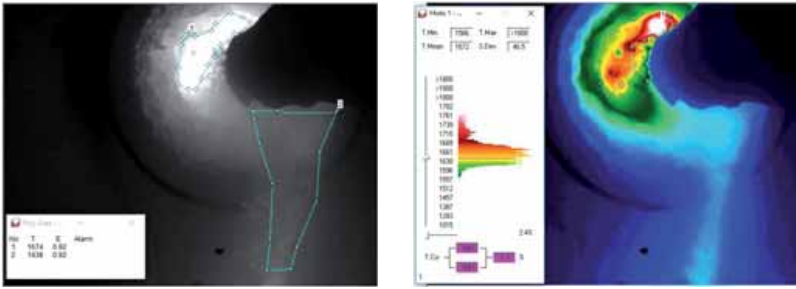
◀ Obraz NIR z pieca opalanego gazem i olejem (u góry) oraz obraz z tego samego pieca w tym samym czasie z kamery LAND FTI-Eb – funkcja penetracji przez płomień (na dole)



Zobacz kamerę Land w piecu grzewczym walcowni

◀◀ Piec do wygrzewania rur w obrazie termowizyjnym (pomiar temperatury w dowolnym miejscu obrazu)

◀◀ Unikatowe rozwiązanie dla dokładnego profilowania temperatury wsadu w piecu grzewczym



▶
Obraz termowizyjny z pomiarem temperatury w paletce barw czarno-białej dla zwiększenia jakości obrazu dla oka (po lewej) oraz obraz termowizyjny z analizą jądra płomienia (po prawej)

▶
Kamera LAND NIR B AR z elektrycznym układem wycofywania zabudowana od strony palnikowej pieca obrotowego

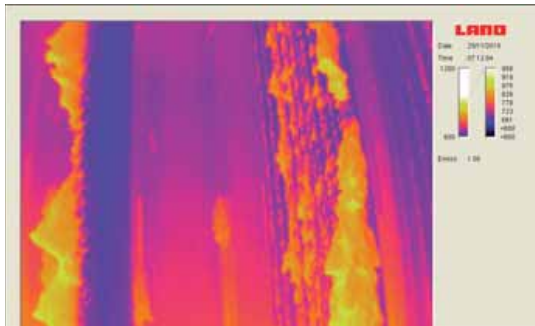


ENERGETYKA PRZEMYSŁOWA ORAZ SPALARNIE ODPADÓW

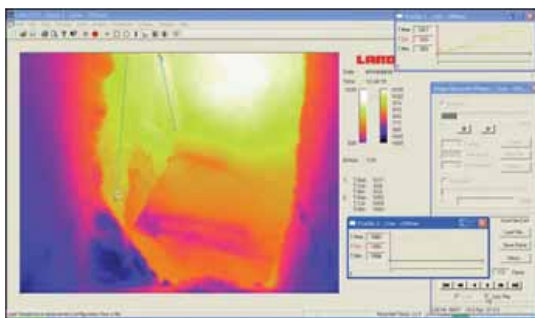
Układy termowizyjne LAND AMETEK mogą dostarczać informacji na temat tego, co się dzieje w kotle gazowym, pyłowym lub biomasowym. W takich przypadkach najczęściej chodzi o analizę usytuowania płomienia (jądra płomienia) celem najefektywniej

▶▶
Kontrola procesu utylizacji odpadów niebezpiecznych (drób) na palenisku przy użyciu kamery termowizyjnej LAND FTI-Eb

▶
Analiza stanu ożużlowania / zapozielenia orurowania kotła



▶
Analiza działania palników i rozmieszczenia płomienia



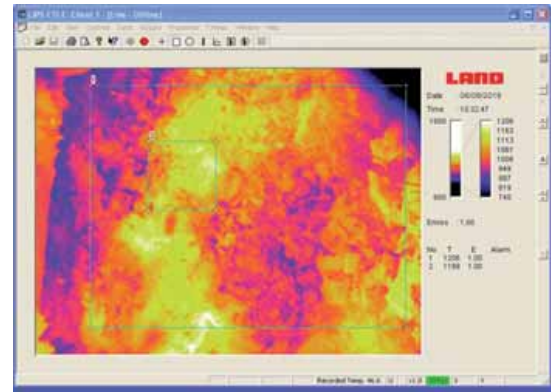
niejszego przekazywania ciepła, ale także eliminacji ryzyka uszkodzenia palników lub ekranów kotła. Dodatkowo ocenie poddawany jest stan zaszlakowania orurowania, który znacznie redukuje przekazywanie ciepła do wody kottowej.

W przypadku dużych kotłów /komór spalania bardzo trudno

jest objąć polem widzenia cały lub większy obszar kotła, dlatego w tych przypadkach często stosowane są układy termowizyjne LAND PFTIS (Portable Furnace Thermal Imaging System) do krótkotrwałych pomiarów badawczych.

Do dłuższej analizy w wybranym miejscu kotła stosuje się stacjonarne boroskopowe kamery pomiarowe NIR B2K lub FTI-Eb z pełnym układem chłodzenia. Oba układy mają znacznie większą zdolność penetracji przez zadymioną i zapyloną atmosferę komory spalania w porównaniu do kamer wizyjnych. Analiza ognia i płomienia w komorze spalania kotła za pomocą termowizyjnego układu LAND NIR została szerzej opisana przez zespół Dr. Steffen Griebel, Helmut Bischoff, Dr. Thomas Brunne, Gerd Stecklina, Frank Pache w artykule „FEUERUNGS- UND FLAMMENBEWERTUNG MIT NEUEN MESSTECHNIKEN”.

W przypadku spalarni odpadów (w szczególności medycznych, padłych zwierząt, niebezpiecznych) chodzi o spalenie materiału wsadowego w taki sposób, aby było one zupełnie, ale w możliwie ograniczonym czasie, tak aby cały proces był możliwie najbardziej efektywny. Przykład kontroli takiego spalania przedstawia zdjęcie poniżej.



PODSUMOWANIE

Ciągły rozwój stacjonarnych układów termowizyjnych pozwala na ich stosowanie w coraz to nowszych aplikacjach, nawet w bardzo trudnych warunkach (wysoka temperatura, zadymienie, zapylenie). Początkowo były one stosowane w działach badań i rozwoju, jednak obecnie uzupełniają lub nawet zastępują pomiarowe techniki kontroli procesu. Oczywiście ich zastosowanie musi być uzasadnione zarówno technicznie, jak i ekonomicznie, bo konkurują z powszechnie dostępnymi i sprawdzonymi, tradycyjnymi urządzeniami pomiarowymi. Z drugiej strony układy termowizyjne dają o wiele więcej informacji o procesie niż tylko pomiar temperatury, a w przyszłości mogą być sprzęgnięte z systemami autonomicznymi, z elementami sztucznej inteligencji.

Marek Ostrycharz

Absolwent Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach, o specjalności Siłownie Ciepłe oraz Maszyny i Urządzenia Energetyczne. W Introlu pracuje od 2008 roku, jako Menadżer Produktu Kluczowego w dziale bezkontaktowych pomiarów temperatury. Zajmuje się m.in. doborem, realizacją oraz wdrożeniami układów pirometrycznych i termowizyjnych w aplikacjach przemysłowych.

tel. 32 789 00 27



Zobacz Webinarium – poprawa wydajności oraz kontroli procesu w piecach i kottach