

Termografia

w przemyśle chemicznym

Włodzimierz Adamczewski

TERMO-POMIAR, autoryzowany dystrybutor kamer termowizyjnych FLIR SYSTEMS AB

W pierwszej części artykułu skupiliśmy się na ukazaniu możliwości i uwarunkowań wykonywania poprawnych badań termograficznych w przemyśle chemicznym. W tej części ukazane są konkretne zastosowania według następującego podziału:

- Wykrywanie wad wymurówek
- Wady izolacji zewnętrznej
- Kontrola i regulacja procesu technologicznego

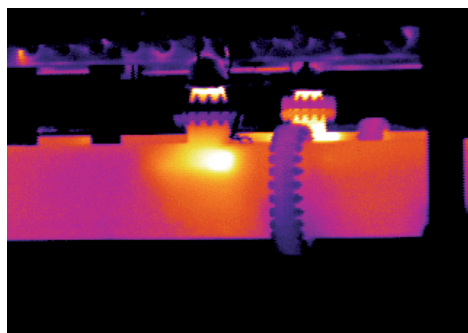
1. Wykrywanie wad

Podstawowym problemem w instalacjach chemicznych, jest oddzielenie agresywnego, gorącego medium od stalowego płaszcza. Dokonuje się tego przy pomocy specjalnych betonów, nakładanych natryskiem od wewnątrz (torkretowania) lub wymurowania instalacji przy wykorzystaniu kształtek specjalnie do niej zaprojektowanych: kształt, odporność chemiczna i temperaturowa.

Uszkodzenia wymurówki prowadzące do niebezpiecznego przegrzania płaszcza, mogą mieć kilka przyczyn. Najczęstsze to: erozja, odspojenie i wypadnięcie kształtek lub torkretu, uszkodzenia mechaniczne, spękania.

1.1 Erozja wymurówki

Spodziewanym skutkiem kilku lat eksploatacji jest erozyjne wymycie ostrych wewnętrznych krawędzi wymurówki.



Rys. 1.
Kolektory amoniaku. Wady wymurówki króćców

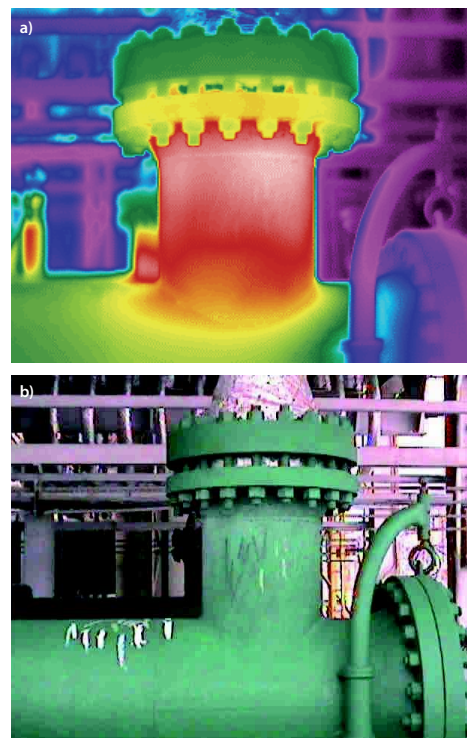
Każda instalacja ma założony okres trwałości, po którym następuje planowy, kosztowny remont. Kosztowny, bo oprócz bezpośrednich kosztów, dochodzi wartość nie wytworzonego produktu.

Przy pomocy kontroli termowizyjnej obejmującej całą powierzchnię instalacji, można określić stan wy-

murówki i w przypadku stanu nie budzącego zastrzeżeń – przesunąć planowany remont.

Rys. 1 przedstawia kolektory amoniaku sprawdzone na rok przed planowym remontem. Istotny jest zwłaszcza stan kolektora tylnego, z temperaturą maksymalną 277°C, bliską temperaturze krytycznej.

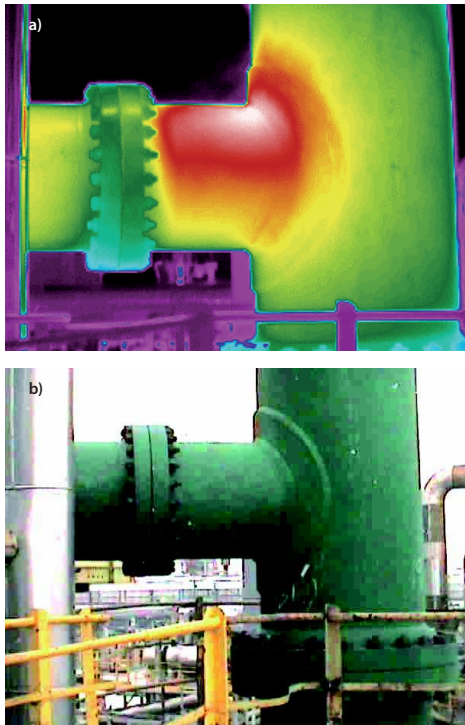
Rys. 2a pokazuje kolektor, którego stan cieplny jest bliski prawidłowemu.



Rys. 2.
Oczekiwany, prawidłowy stan cieplny kolektora.

1.2 Odspojenie kształtek

Odspojenie i wypadnięcie kształtek, występuje zwykle na stropach i ścianach komór reaktorów lub w górnej części innych wymurowanych elementów instalacji. Przyczyną mogą być dylatacyjne zmiany wymiarów, związane z rozruchami i stygnięciem, co prowadzi do pęknięć wymurówki i osypywania się zaprawy a przy wielokrotnych cyklach – do wypadnięcia kształtki.



Rys. 3. Uszkodzenia górnej części wymurówki.

Takie wady, obok erozji, obserwuje się czasem we wspomnianych kolektorach amoniaku, choć dotyczą one raczej kawałków kształtek, a nie całych. Spękania wewnętrzne kształtek powstałe w czasie produkcji, transportu i rozładunku oraz przed wmurowaniem, mogą być trudne do wykrycia przez ogląd i ostukiwanie, jednak w czasie pracy osłabienie to skutkuje rozsypaniem się na części i wypadaniem kawałków. Na rys. 3 przedstawione jest miejsce, gdzie prawdopodobnie doszło do takiego uszkodzenia wymurówki.

Drugą przyczyną wypadania kształtek są uszkodzenia mechaniczne i „przy pieczeniu” jak to czasem ma miejsce w piecach wapienniczych. Mechanizm jest następujący: do pieca wsypywana jest od góry mieszanka koks i wapienia, która na pewnej wysokości spala się i w postaci spopielonej odbierana jest sekwencyjnie na dole pieca.

Strefa spalania utrzymywana jest na pewnej wysokości, dzięki kontrolowanemu nadmuchowi powietrza. Zdarza się czasem, że koks wytworzy spieczony kawał żużla na wykładzinie wewnętrznej, który utrzymuje się jak narośl na pionowej ścianie. Zsuwający się koks z wapieniem mogą wyrwać kształtkę wykładziny wewnętrznej wraz z przypieczoną naroślą, co spowoduje erozję w następnych warstwach nie przystosowanych do pracy w wysokiej temperaturze strefy spalania. Częsta kontrola termograficzna, może spowodować wykrycie „plamy ciepłej” na płaszczu instalacji, zanim nastąpi destrukcja następnych warstw wykładziny ceramicznej. Rys. 4a przedstawia piec wapienniczy ze szczeliną, powstałą prawdopodobnie na skutek zbiegu niesprzyjających okoliczności (por. p. 1.4). Termogram wykonano w pierwszym roku eksploatacji. Po kilku latach (żywność wymurówki pieca wynosi 5-7 lat) stan cieplny tej szczeliny,

widzianej z innej strony przedstawiał się jak na rys. 4b. Temperatura maksymalna wady wynosiła ponad 150°C podczas gdy początkowo na szczelinie nie przekraczała 80°C gdy w pobliżu niej wynosiła 50 - 60°C.

1.3 Spękania wymurówki

Spękania mają swoje źródło głównie w rozszerzalności cieplnej reaktorów i innych elementów instalacji w czasie wielokrotnych rozruchów i odstawień.

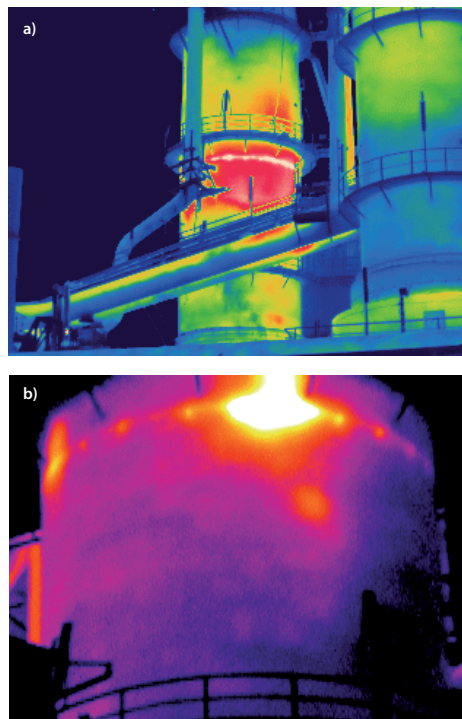
Spękania przebiegają wzdłuż założonych miejsc dylatacyjnych, gdzie płaszcz instalacji jest chroniony przed przegrzaniem, ale również w miejscach przypadkowych, związanych głównie z wykonawstwem. Zespojenie wymurówki wykonywane w sposób ciągły jest prawidłowe, natomiast każda przerwa (np. nocna) w wykonawstwie, powoduje osłabienie spoiwości i jest miejscem potencjalnych, niezamierzonych pęknięć dylatacyjnych.

Niżej opisany jest ciekawy, autentyczny przypadek kontroli termowizyjnej, z którego nie zachowały się niestety termogramy.

Były to reaktory kuliste, gdzie medium płynące z góry na dół przez poziomą warstwę katalizatora ceramicznego (w połowie wysokości kuli), napotykało coraz większy opór warstwy ze względu na kruszenie się brył katalizatora. Pod koniec założonej żywotności instalacji spadek ciśnienia wynosił już ok. 1MPa przy ciśnieniu na wejściu ok. 4MPa.

W takich warunkach gaz znajdował sobie przejście „obok” warstwy katalizatora, to jest przez szczeliny w wymurówce. Niektóre z nich były tak głębokie, że gorący gaz dochodził prawie do płaszczu i powodował niebezpieczny wzrost temperatury.

Wykryte przy pomocy kontroli termowizyjnej „plamy ciepłe” na powierzchni reaktora, początkowo zostały zinterpretowane jako erozyjne ubytki wymurówki (gaz jest agresywny i wymurówka oddziela medium od płaszczu zarówno cieplnie, jak i chemicznie).

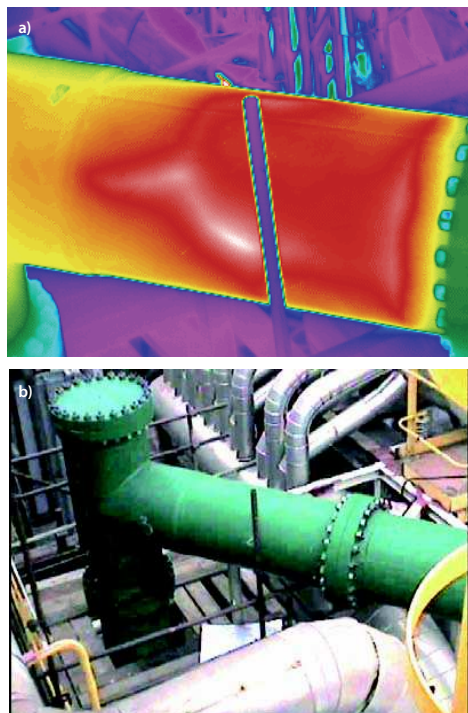


Rys. 4. Rozwój wady wymurówki pieca w okresie 3 lat od 80°C do ponad 150°C

Dopiero po zatrzymaniu instalacji i wejściu do wnętrza, zauważono liczne pęknięcia oraz całkowity brak erozji i zweryfikowano podejrzania.

1.4 Wady wykonawcze

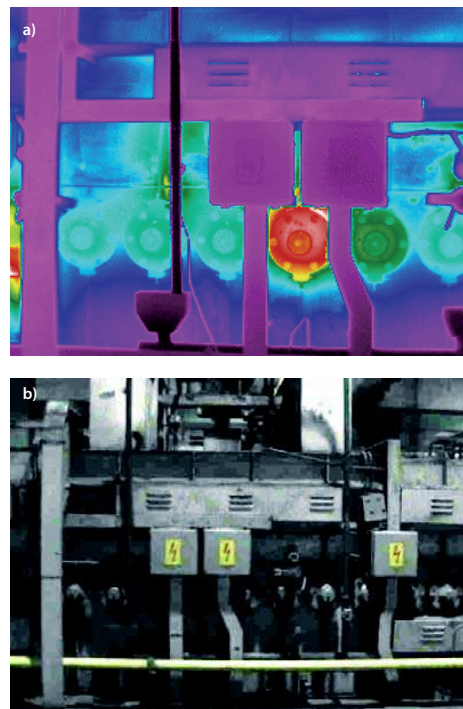
Kontrola termowizyjna wykonana bezpośrednio po remoncie, po wstępnym wygrzaniu, w jego trakcie lub też po uruchomieniu instalacji, pozwala na znalezienie plam ciepłych na powierzchni, których istnienie nie ma uzasadnienia w budowie i warunkach pracy instalacji.



Rys. 5.
Kolektor poziomy z wadami wykonawczymi. Termogram wykonany kilka miesięcy po remoncie

Mogą to być wady wykonawcze. Rysunek 5a przedstawia wadę wykonawczą w wymurówce poziomego odcinka kolektora. Termogram wykonano kilka miesięcy po remoncie tego odcinka instalacji.

Przykład pieca przedstawionego na rys.4 pokazuje, że możliwa jest wada wykonawcza, związana nie tyle z niedbałym wykonywaniem pracy, a ze splotem niekorzystnych czynników. W czasie wygrzewania wymurówka traci wilgoć i następuje zmniejszenie objętości, kompensowane zwykle zmniejszeniem grubości. Tu najpewniej stało się inaczej. Obraz cieplny wskazuje, że dolna część wymurówki osiadła na fundamencie po wyschnięciu w pierwszej fazie rozruchu, a górna „zakleszczyła się” w obudowie. Powstała szczelina była na tyle wąska, że przyrost temperatury na płaszczu był niegroźny, jednak termogramy wykonane po trzech latach eksploatacji pokazują miejsce, gdzie przyrost temperatury jest już istotny mimo takiego sterowania procesem technologicznym, aby strefa spalania omijała szczelinę. W czasie eksploatacji następuje bowiem poszerzanie szczeliny, nie tylko ze względu na erozję i ruchy dylatacyjne, ale również ze względu na niszczące działanie osuwających się produktów. (Do chwili pisania tego artykułu, takie wyjaśnienie powstania szczeliny uznane było za najbardziej prawdopodobne).



Rys. 6.
Łożyska napędu pieca do odpuszczania detali stalowych po hartowaniu

Do wad wymurówek zaliczyć też trzeba osłabienie funkcji izolowania od wysokiej temperatury łożysk wałków przenośnika, jaką sprawuje wymurówka pieca tunelowego do wygrzewania lub kontrolowanego chłodzenia.

Na rys. 6 przedstawiono obraz termiczny obudowy jednego z łożysk pieca, na tle pozostałych wykazujących temperaturę normalną.

2. Kontrola stanu izolacji ciepłochronnej - zewnętrznej

Bardzo rozpowszechnionym nośnikiem energii w Zakładach Chemicznych jest para wysokoparametrowa, to jest o wysokim ciśnieniu i temperaturze.

Para jest przesyłana rurociągami do odbiorców, często o kilometry oddalonych od miejsca jej produkcji. W tej sytuacji, szczególnego znaczenia nabiera jakość izolacji cieplnej na rurociągach. Niewłaściwa jej jakość prowadzi do obniżenia głównych parametrów pary, co w skrajnych przypadkach uniemożliwia jej zastosowanie w procesie produkcyjnym, a co najmniej pogarsza wydajność procesu.

Badanie jakości izolacji jest jednym z pierwszoplanowych zastosowań termowizji.

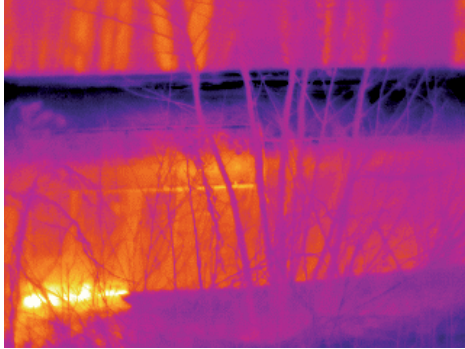
Celem badań rurociągu napowietrznego jest bezpośrednio, oparte na uzyskanym obrazie termicznym sprawdzenie stanu izolacji cieplnej oraz wykrycie i lokalizacja ewentualnych miejsc z wadliwą izolacją.

2.1 Współczynnik emisyjności pokrycia

Jedną z głównych przeszkód powodujących problemy w interpretacji obrazu termicznego jest, na ogół niski, współczynnik emisyjności blachy pokrywającej



izolację na rurze. Niski, ale powiększający się z czasem współczynnik emisyjności posiada blacha ocynkowana, coraz rzadziej stosowana jako osłona wełny mineralnej z powodu podatności na korozję w agresywnej atmosferze zakładów chemicznych. Nie korodująca blacha aluminiowa, wypierająca ocynkowaną, jest dla termowizji jeszcze gorsza!



Rys. 7.
Ilustracja problemu „zimnego nieba”

Czy to oznacza, że niemożliwe jest badanie jakości izolacji? Wykrywanie wad?

Przypomnijmy: Termowizja jest metodą porównawczą, jej głównym zadaniem, jest rozpoznanie pola temperatury powierzchni obiektu, a nie jej pomiar.

W sytuacji wysokiej odbijalności blachy, pomiar temperatury byłby obarczony dużym błędem i nie o to nam chodzi. Chodzi o to, by na obiekcie wykryć miejsca o podwyższonej temperaturze.

To zadanie jest spełnione, nawet przy niskim, ale jednakowym współczynniku emisyjności. Wyższa temperatura powierzchni wady, będzie widoczna jako „plama ciepła” bez względu na wartość tego współczynnika!

Podobne zadanie i podobne trudności interpretacyjne związane z niską emisyjnością aluminium spotykamy na izolacjach zewnętrznych zbiorników, wymienników, reaktorów itp.

Wysoka odbijalność powierzchni, powoduje czasem powstanie efektów, nie mających bezpośredniego odniesienia w świetle widzialnym. Odbicia od gorących źródeł mają swoje odpowiedniki w odbiciach źródeł światła, a odbicia od źródeł zimnych?

Wcale nie myślimy tu o „coldboxach” tylko o zimnym, bezchmurnym niebie!

Sytuacja idealna dla badań występuje wtedy, gdy niebo i najbliższe otoczenie, mają zbliżoną temperaturę (mierzoną kamerą). Składowa odbiciowa ze wszystkich kierunków jest taka sama i na termogramach odczytujemy rzeczywistą temperaturę w każdym punkcie. W czasie badań niskotemperaturowych obiektów, niebo powinno być zachmurzone i warunek ten jest tym ostrzejszy im większą odbijalność posiada pokrycie i większa jest wymagana precyzja rozpoznania pola temperatury na obiekcie.

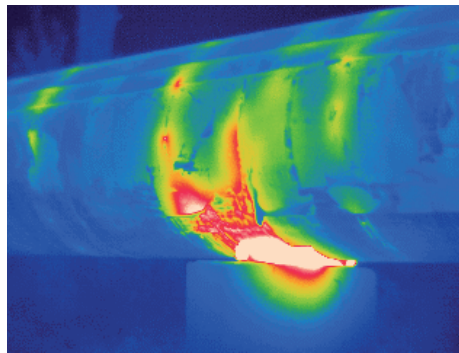
Zamieszczony przykład (rys. 7) ukazuje napowietrzny rurociąg parowy, w którym górna powierzchnia wykazuje temperaturę niższą niż dolna część! Jest to typowy wpływ zimnego, rozchmurzonego nieba.

Na termogramie jest jeszcze widoczna po lewej stronie na dole podpora ślizgowa rurociągu. Podpory są źródłem dużych strat energii, chociaż powierzchnia podpory w stosunku do powierzchni rurociągu jest mała.

2.2 Zróżnicowany współczynnik emisyjności

Każde miejsce o podwyższonej temperaturze na rurociągu jest miejscem o zwiększonych stratach ciepła. Takie miejsce widoczne jest na barwnym termogramie, jako plama o innym kolorze i mówi się o nim „plama ciepła”. Istnienie plam ciepłych może być związane z konstrukcją obiektu lub może być efektem miejscowego podwyższenia emisyjności, ze zmianą lub bez zmiany temperatury (wnęki, otwory, zabrudzenia, zamalowania...).

Zamieszczony przykład (rys. 8) plamy ciepłej związanej z rzeczywistym wzrostem temperatury na płaszczu rurociągu (nad podporą, skutek konwekcji) jak i we wnęce podpory, pokazuje wpływ zarówno rzeczywistego wzrostu temperatury, jak i wzrostu emisyjności we wnęce.



Rys. 8.
Plamy ciepłe na powierzchni rurociągu związane z konwekcją od podpory

3. Kontrola i regulacja procesu produkcyjnego

Procesy chemiczne zachodzą we wnętrzach reaktorów, w zamkniętych przestrzeniach a parametry reakcji kontrolowane są wewnętrznymi czujnikami.

Termowizja to kontrola i rejestracja zewnętrznego rozkładu temperatury na obiekcie. Powoduje to, że zastosowanie termowizji do kontroli procesu produkcji jako metody pośredniej, jest w większości przypadków zbędne.

Są jednak sytuacje, gdzie rozpoznanie pola temperatury jest bardzo ważnym albo jedynym, stosunkowo łatwo dostępnym czynnikiem rozpoznania składnika procesu.

Taka sytuacja wystąpiła na przykład w Zakładach Chemicznych produkujących piankę poliuretanową. Maszyna do produkcji ma postać i wielkość wagonu kolejowego, na którego przedzie umieszczone są rury, którymi dopływają składniki, po zmieszaniu których powstaje pianka. Pianka ta przesuwa się ku tyłowi wagonu z prędkością ponad 1m/s. Reakcja spieniania wytwarza ciepło, które wytwarza na różnej głębokości w piance różną temperaturę. Najlepsze warunki chłodzenia ma górna, odkryta warstwa, na której wytwarza się skórka. Każdy milimetr skórki to ponad 3 centymetry pianki – ważne więc by skórka była jak najcieńsza. Okazuje się jednak, że jej grubość jest słabo skorelowana z temperaturą w hali. Bez rozpoznania procesów ciepłych na powierzchni pianki przyczyny powstawania skórki

o różnych grubościach nie będą znane. A to, ze względu na dużą powierzchnię, dynamikę procesu i przesuwanie się produktu nie jest możliwe metodami klasycznymi, kontaktowymi.

Produkcja żarówek samochodowych nie jest produkcją chemiczną, jednak procesy technologiczne związane ze szkłem powodują, że przykład ten znalazł się w tym artykule związanym z chemią i przemysłem ceramicznym. Procesy formowania bańki, zagniatania, wtapiania, odpompowywania itd. odbywają się na gorąco, na maszynach typu karuzela z bardzo wielką szybkością, bo maszynę opuszcza od 3 do 5 tys. żarówek na godzinę, co oznacza, że nawet przy produkcji równoległej kilku żarówek na jednym stanowisku, czas pobytu na nim mierzony jest w pojedynczych sekundach. Rozpoznanie i regulacja procesu, zamiast ilością braków realizowane jest przy pomocy termowizji, ze względu na szybkość uniemożliwiająca stosowanie klasycznych metod pomiaru lub choćby względne rozpoznanie temperatury. Trzeba też dodać, że grubość bańki w żarówkach wynosi nawet 0,2 mm, co również uniemożliwia stosowanie innych metod poza bezstykowymi.

Obserwacja termowizyjna obrotowego pieca w cementowniach pozwala nie tylko ocenić stopień zużycia poszczególnych części wymurówki pieca oraz znaleźć anomalia, ale również ocenić rzeczywiste zasięgi stref technologicznych we wnętrzu pieca.

Zwykle stosowana okresowa kontrola termowizyjna powierzchni pieca obrotowego, zapobiega

przeegraniu się obudowy i związanej z tym możliwości poważnej awarii.

4. Podsumowanie

Termowizja pod tą łatwą do skojarzenia nazwą, znana jest w Polsce już prawie 40 lat. Nazwa ta (THERMOVISION) została zastrzeżona w końcu lat 60. przez pierwszego producenta cywilnych systemów zobrazowania termalnego szwedzką firmę AGA, która bez zmiany siedziby, lecz po zmianach organizacyjnych i kapitałowych obecnie produkuje sprzęt termowizyjny pod nazwą FLIR SYSTEMS AB.

Powszechna dostępność kamer termowizyjnych związana zarówno z ich coraz lepszymi cechami metrologicznymi, wygodą i łatwością użycia i interpretacji obrazu oraz, co być może najważniejsze z ciągle malejącą ceną powoduje, że dziś trudno sobie wyobrazić wydajnie pracujące służby utrzymania ruchu, diagnostyki w elektroenergetyce, kontroli izolacji cieplnych (w tym budynków) i w innych zastosowaniach – bez użycia kamer termowizyjnych.

Ponad 20 typów kamer do różnych zastosowań – od narzędzia kontroli dla wydziałowego elektryka do rozpoznania szybkich procesów cieplnych z częstotliwością zobrazowania kilkaset Hz z rozdzielczością termiczną 0,05K – to wszystko na bazie wieloletniego doświadczenia dającego gwarancję najlepszego dopasowania do potrzeb Odbiorcy produkuje FLIR SYSTEMS, następcą prekursora technologii podczerwieni firmy AGA.

VIII KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

Bezpieczeństwo Techniczne w Przemśle Chemicznym

15-16 czerwca 2009 • Krynica Zdrój • Hotel Motyl

więcej szczegółów: chemia.e-bmp.pl

Honorowy
gospodarz:



Honorowy patronat:



Patronat medialny:



Organizator:

