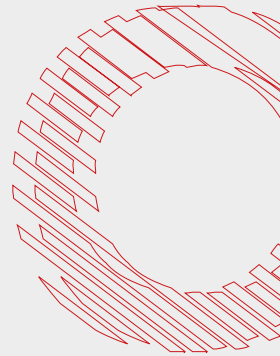


Optymalizacja procesów spalania na przykładzie pieca rafineryjnego

Optimisation of combustion processes in a refinery furnace

F. Rodriguez, E. Tova, M. Morales, M. A. Portilla, L. Cañadas



NA SKRÓTY

Artykuł opisuje technologię zwiększającą efektywność spalania przy jednoczesnej redukcji emisji zanieczyszczeń. Została ona opracowana, opatentowana i wdrożona w przemyśle przez hiszpańską firmę INERCO S.A.



SUMMARY

The article describes a technology which increases the combustion efficiency while reducing levels of pollutants emissions. The technology was developed, patented, and implemented for industrial use by INERCO S.A., a Spanish company.

Pomimo dużego znaczenia jakie dla aspektów ekonomicznych i ochrony środowiska ma proces spalania, jego przebieg kontrolowany jest zazwyczaj w sposób ograniczony. Do prowadzenia procesu spalania najczęściej wykorzystywanych jest kilka ogólnych wskaźników, takich jak: koncentracja tlenu czy generalne efekty procesu przy jednoczesnym całkowitym braku kontroli nad rzeczywistymi warunkami spalania. Do eksploatacji kotła lub komory spalania zazwyczaj stosuje się standardowe procedury lub odwołuje się do doświadczenia operatora, natomiast nie korzysta się z możliwości pozyskiwania informacji w trybie on-line o warunkach spalania panujących w obrębie każdego palnika. Co więcej, w większości przypadków instalacji wielopalnikowych, istniejący system pomiarowy stosowany do kontroli ilości całko-

witego nadmiaru tlenu w kotle, nie daje reprezentatywnych wyników rzeczywistego poziomu nadmiaru tlenu na poziomie komory spalania, co stanowi barierę dla uzyskania optymalnych warunków pracy palników.

Taki stan rzeczy wyraźnie kontrastuje z obecnymi możliwościami technicznymi dostępnymi dla większości procesów chemicznych, podczas których dzięki wszechstronnemu monitoringowi możliwe jest wdrożenie zaawansowanego systemu nadzoru i sterowania, który zapewni bezpieczeństwo procesu, jego maksymalną sprawność i elastyczność. Dlatego też zaskakującym jest fakt, że proces chemiczny jakim jest spalanie, wywierający wpływ na środowisko i z tego względu poddawany rygorom emisyjnym, bazuje nadal w wielu przypadkach na archaicznych systemach nadzoru.

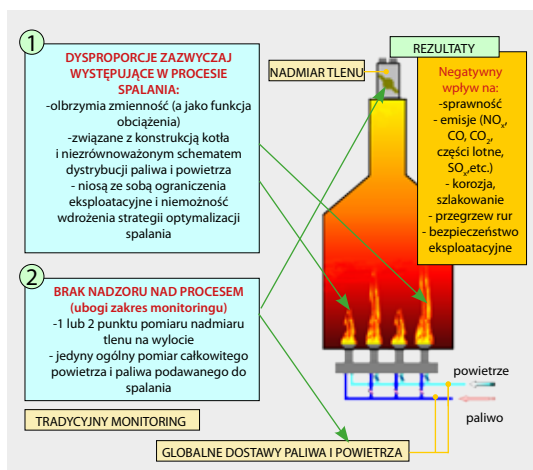
W odpowiedzi na to coraz większą uwagę w ostatnich latach zyskują aplikacje usprawniające proces spalania, tak by możliwa była poprawa wydajności i ograniczenie emisji szkodliwych zanieczyszczeń. Niemniej jednak efektywność ekonomiczna tych usprawnień jest w dużym stopniu ograniczona przez opisane wcześniej zaszczości i praktyki związane z obsługą i kontrolą procesu spalania. Rezultatem tego są nierzadko chybione inwestycje w ulepszone palniki niskoemisyjne. W wielu wypadkach wystarczałaby natomiast optymalizacja pracy istniejącej infrastruktury. Właściwą diagnozę problemu komplikują jeszcze dodatkowo takie czynniki, jak różnorodne własności spalanej paliwa, częste zmiany obciążenia kotła oraz zmienna liczba i lokalizacja pracujących palników w instalacjach wielopalnikowych. W takim przypadku brak

Autorzy są pracownikami hiszpańskiej firmy INERCO S.A. reprezentowanej w Polsce przez Zakład Aparatury Pomiarowej KWANT sp. z o. o., www.kwant-inst.pl

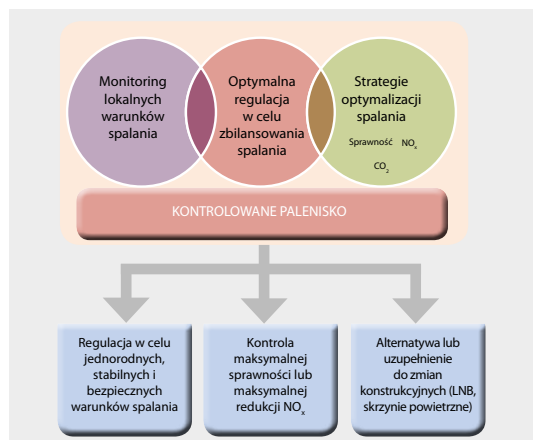
kontroli warunków spalania może w efekcie spowodować stosowanie „zbyt konserwatywnych” nastaw parametrów pracy kotła, dalece odbiegających od tych najbardziej wskazanych.

Technologia kontrolowanej komory spalania (KKS)

W kotłach energetycznych i paleniskach przemysłowych sprawność instalacji oraz poziom emisji gazów CO₂, NO_x, CO zależą w głównej mierze od prawidłowej dystrybucji paliwa i powietrza w komorze spalania (rys.1).



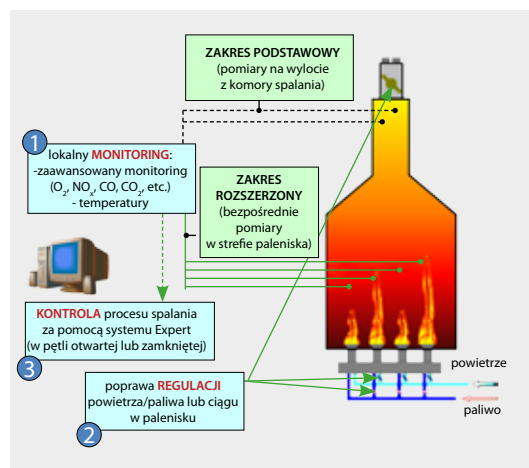
Stąd też efektywność precyzyjnych metod sterowania procesem jest równoznaczna ze zrównoważeniem głównych czynników procesu w czasie rzeczywistym. W takim kontekście technologia optymalizacji powinna polegać na sterowaniu w pętli sprzężenia zwrotnego lokalnymi warunkami spalania. Zapewnia to technologia zwana w skrócie KKS (rys. 2).



Jej aplikacja powoduje wzrost sprawności i redukcję emisji CO i NO_x. Idea kontrolowanej

komory spalania polega na optymalizacji procesu spalania w skali każdego palnika, co w sposób oczywisty skutkuje optymalizacją spalania w skali całego kotła. W każdym indywidualnym przypadku dobierana jest specyficzna strategia optymalizacji w kotłach wielopalnikowych zależnie od jego konstrukcji, rodzajów paliwa i celów eksploatacyjnych. Technologia KKS może być alternatywą dla rekonstrukcji lub wymiany palników na niskoemisyjne. Z kolei, gdy palniki zostały już wcześniej zmodernizowane, nowa technologia pozwoli na dodatkowe zwiększenie efektów w zakresie sprawności i redukcji emisji CO i NO_x. Wdrożenie technologii KKS na istniejących kotłach wymaga niewielkich prac montażowych i stosunkowo krótkiego wyłączenia urządzenia z eksploatacji.

Technologia KKS zbudowana jest z następujących segmentów, graficznie przedstawionych na rysunku 3.



Zaawansowany system monitoringu

Jak już wspomniano osiągnięcie optymalnych warunków spalania jest ściśle uwarunkowane wdrożeniem odpowiedniego monitoringu oraz narzędzi do regulacji i sterowania tym procesem. Monitoring lokalnych warunków spalania realizowany jest w oparciu o technologię ABACO Opticom, kluczową z punktu widzenia optymalizacji spalania zgodnie z koncepcją KKS. Zastosowanie technologii ABACO Opticom pozwala ponadto na zidentyfikowanie różnych ukrytych niedoskonałości w pracy komory spalania i całego kotła, które powodują wzrost poziomu emisji szkodliwych substancji, mimo że ogólne parametry eksploatacji urzą-

dzenia termicznego są w granicach tolerancji. Dodatkowo, możliwe jest również dostosowanie geometrii płomienia, wskazanie optymalnej liczby pracujących palników dla każdego obciążenia kotła i/ lub ograniczenie powstawania NO_x .

Cele zastosowań opisanej technologii są następujące:

- Bezpośrednia ocena warunków spalania w obszarze komory spalania bez ograniczeń lokalizacji sond istniejącymi otworami w komorze spalania.
- Prawidłowy pomiar poziomu nadmiaru powietrza w komorze spalania, co ułatwia identyfikację skali możliwych zassañ powietrza oraz bezpieczne wdrożenie strategii optymalizacji spalania.
- Nadzór nad rzeczywistymi warunkami spalania dla scenariuszy spalania zakładających zmiany obciążenia kotła, dostarczający cennych informacji dla operatora odnośnie ilości i konfiguracji pracujących palników dla każdego obciążenia kotła, optymalnego poziomu powietrza dla każdego obciążenia oraz identyfikacji problemów konserwacyjnych.
- Nadzór i dostosowanie warunków spalania dla scenariuszy uwzględniających znaczne zmiany własności paliwa.
- Technologia ABACO Opticom realizuje redukcję emisji NO_x metodami pierwotnymi przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiedniej kontroli nad bezpiecznymi zakresami regulacji pracy kotła.

Oprócz technologii ABACO Opticom, dla osiągnięcia warunków KKS w niektórych aplikacjach, dodatkowo konieczna jest instalacja następujących urządzeń do monitoringu procesu spalania:

- Sieć pirometrów do oceny rozkładu temperatur w komorze spalania.
- Pomiar wydatku paliwa i powietrza w systemie on-line.
- Pomiar emisji gazów.

Cel monitoringu musi być każdorazowo określony dla poszczególnych warunków spalania, z uwzględnieniem specyfiki konstrukcji kotła oraz parametrów pracy i funkcji użytkowych.

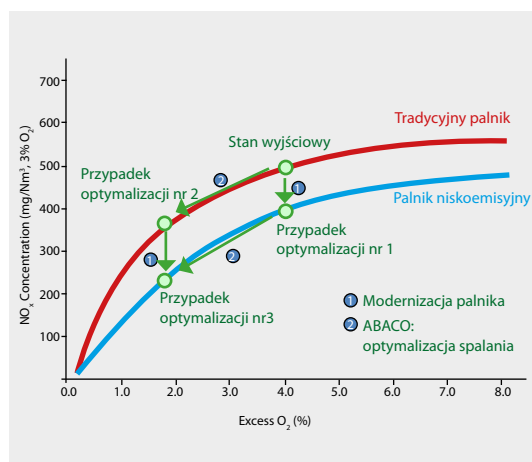
Nowoczesne systemy regulacyjne do optymalizacji spalania

Wdrożenie warunków KKS oznacza w większości przypadków zwiększenie możliwości regulacyjnych kotła dzięki zainstalowaniu odpowiedniej kombinacji następujących urządzeń:

- Wdrożenie w miejsce istniejącej ręcznej regulacji automatycznego sterowania parametrami z nastawni bloku energetycznego.
- Zainstalowanie klap i zaworów do regulacji przepływu paliwa i powietrza.
- Modyfikacja konstrukcji istniejących palników w celu zwiększenia ich możliwości regulacyjnych.

Dzięki wdrożeniu opisanych rozwiązań wzrastają możliwości regulacyjne kotła, i to bez konieczności instalacji nowych palników niskoemisyjnych.

W przypadku gdy wymagana jest dalsza redukcja emisji NO_x , zainstalowane urządzenia regulacyjne mogą pełnić rolę uzupełniającą w stosunku do zakrojonych na większą skalę prac modernizacyjnych kotła (takich jak instalacja palników niskoemisyjnych czy przeprojektowanie skrzyń powietrza). Graficzną ilustrację efektów osiągniętych dzięki zastosowaniu KKS przedstawia wykres na rysunku 4.



Zarówno w przypadku palenisk z zainstalowanymi palnikami tradycyjnymi, jak i w przypadku palenisk z palnikami niskoemisyjnymi, wyraźnie widać istotną dodatkową redukcję emisji NO_x po wdrożeniu technologii KKS.

Program Expert do kontroli optymalizacji spalania

Technologia KKS realizowana jest w pętli sprzężenia zwrotnego, dzięki integracji danych pochodzących z dotychczas istniejących systemów regulacyjnych z danymi z zaawansowanych systemów monitoringu spalania, które konfigurowane są indywidualnie dla każdej aplikacji. Takie połączenie pozwala na zastosowanie strategii optymalizacji spalania przy zapewnieniu maksymalnych korzyści i niezawodności.

Główne parametry tych strategii są zapisane w odpowiednim oprogramowaniu Expert, które pełni rolę podrzędną w stosunku do systemu Master, sterującego pracą kotła. Programy te nie kolidują ze sobą. System Expert wpływa jedynie na nastawy nie poddane nadzorowi systemu Master. Program Expert jest konfigurowany indywidualnie dla każdego bloku energetycznego podczas specjalnych testów procesu spalania.

KKS daje operatorowi kotła wiarygodne wskazówki na temat doboru optymalnych nastaw dla poszczególnych palników. Przekłada się to bezpośrednio na optymalizację spalania w skali całego kotła i tym samym umożliwia osiągnięcie nie tylko istotnej poprawy efektów eksploatacyjnych (sprawność, emisja zanieczyszczeń), ale także zwiększa niezawodność, bezpieczeństwo i elastyczność instalacji.

Rezultaty wdrożenia

Poniżej przedstawiono rezultaty uzyskane dzięki wdrożeniu technologii ABACO na palenisku przemysłowym należącym do rafinerii hiszpańskiej przetwarzającej ropę naftową.

Piec rafineryjny wyposażony jest w 32 palniki olejowe i gazowe (w sumie 64 palniki), usytuowane w dwóch przeciwległych poziomych rzędach. W środku komory spalania znajduje się ogniotrwała ściana podziałowa, która zakrzywia płomień i w ten sposób tworzą się dwa niezależne obszary spalania.

W warunkach wyjściowych pomiar O_2 dostarczanego do komory spalania wykonywany był dzięki sondzie zainstalowanej w środku ściany wschodniej. Do regulacji całkowitego powietrza

do spalania stosowane były dwie ręcznie sterowane kłapy regulacyjne ciągu zainstalowane na północnym i południowym wylocie z komory spalania. Palniki wyposażone były w ręczne kłapy regulujące dopływ powietrza pierwotnego i wtórnego.

Zastosowana koncepcja KKS

Zakres wdrożenia dla paleniska będącego przedmiotem tego studium przypadku miał na celu umożliwienie prowadzenia procesu spalania zgodnie z koncepcją KKS. Podstawowym założeniem było umożliwienie realizacji optymalizacji spalania w ramach komory spalania we wszystkich możliwych warunkach eksploatacyjnych.

W tym celu instalację wyposażono w następujące elementy:

- System pomiarowy do monitoringu parametrów procesu spalania wewnątrz paleniska, pomiar indywidualnie dla każdego palnika.
- Automatycznie sterowane zawory regulacyjne powietrza dla obu rzędów palników, w celu optymalnego dopasowania płomienia oraz automatyzacja kłap odcinających – w celu kontroli ciągu paleniska.
- Oprogramowanie Expert oraz ideologia sprawowania nadzoru dla całkowitej kontroli procesu w systemie sprzężenia zwrotnego.

Charakterystyka warunków wyjściowych

Charakterystyka spalania została dokonana dzięki bardzo dokładnym testom wykonanym za pomocą nowoczesnego systemu monitoringu oraz nowymi możliwościami regulacyjnymi. Program pomiarów został zaprojektowany tak, aby uwzględnić wszystkie możliwe scenariusze biorące pod uwagę wymogi co do obciążenia, rodzaju i proporcji spalanych paliw, pracujących palników itd..

Główne rezultaty przeprowadzonej diagnostyki spalania w połączeniu z analizą warunków wyjściowych pozwoliły na opracowanie poniższych wniosków:

Zidentyfikowano istotne dysproporcje pomiędzy poszczególnymi palnikami. Zmierzone różnice, przekraczające 3,5% poziomu koncen-

tracji tlenu (a w warunkach niekontrolowanej całkowitej redukcji O_2 te poziomy były jeszcze wyższe). Były to czynniki ograniczające efektywną optymalizację spalania. Rezultatem stosowania niekontrolowanych strategii optymalizacji spalania jest powstawanie nieuzasadnionych poziomów emisji CO .

- Rozbieżność pomiędzy wartościami O_2 wskazanymi przez istniejący system pomiaru tlenu (średnie wartości w przedziale od 3,5% do 4,5%) a bardziej dokładnymi wskazaniami otrzymanymi za pośrednictwem systemu KKS (średnie wartości O_2 były zazwyczaj na poziomie od 1,5% do 3,5%)
- Pomiar prowadzony ręcznie na wylocie kotła potwierdził pełną zgodność pomiędzy wartościami średnimi pomierzonymi przez ABACO Opticom a ogólnym poziomem nadmiaru O_2 . Dlatego też uznano, iż pomiary dokonywane przez istniejący system pomiarowy nie są reprezentatywne dla całkowitej charakterystyki nadmiaru O_2 , cechujące tę komorę spalania.
- Ponadto informacja dostarczana przez system monitoringu całkowitego nadmiaru O_2 jest nieporównywalna do cennej informacji podawanej przez system ABACO Opticom, zwłaszcza mając na uwadze potencjalne możliwości prowadzenia procesu optymalizacji spalania na poziomie każdego palnika.
- W konsekwencji, tak jak opisano powyżej, odnotowano wysokie poziomy nadmiaru O_2 na wylocie z komory spalania (rys.5). W związku z tak wysokimi poziomami O_2 występuje również wysoki poziom NO_x gdyż średnie wartości O_2 dla przedmiotowej komory spalania mieszczą się w przedziale 5,0 – 7,0%.

Wdrożenie warunków KKS

Dzięki wdrożeniu koncepcji KKS, a tym samym dzięki ustanowieniu kontrolowanych strategii prowadzenia procesu spalania w palenisku, możliwe jest zaobserwowanie widocznej ewolucji poziomów nadmiaru O_2 , które występowały w sytuacji wyjściowej i w warunkach kontrolowanego procesu spalania. Obecnie średni poziom nadmiaru tlenu wynosi ok. 2%, podczas gdy w warunkach wyjściowych wahał się na poziomie od 5-7% - rys. 5.

Ostateczne warunki spalania osiągnęte są dzięki wdrożeniu strategii KKS, co przekłada się na bezpieczniejsze, zrównoważone (pomijalne poziomy CO), jednorodne i wydajne warunki spalania. Warunki KKS osiągnęte są dzięki odpowiedniemu i indywidualnemu sterowaniu powietrzem całkowitym, co wykonywane jest przez system ABACO w sposób automatyczny. Wspomniana 3-5% redukcja nadmiaru O_2 związana jest ze zmniejszeniem temperatury gazu o ponad $30^\circ C$ na wylocie z komory spalania, co powoduje oszczędności w całkowitym zużyciu paliwa o ponad 5%. Jednocześnie uzyskuje się proporcjonalną redukcję poziomów emisji CO_2 i SO_x .

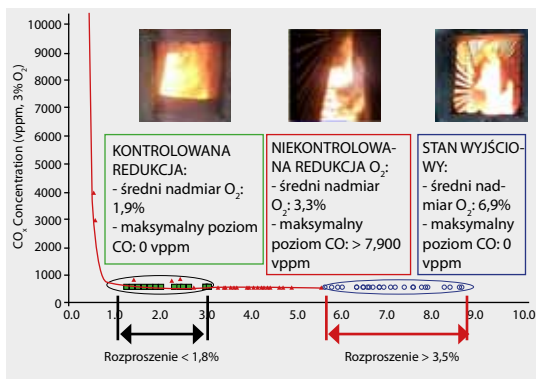
Wyniki przedstawione na rys. 5 pokazują dodatkowo widoczną redukcję rozrzutu wyników dla wariantu kontrolowanej eksploatacji. Uzyskano to dzięki ograniczeniu dysproporcji pomiarów O_2 przy każdym palniku. Scenariusz kontrolowanej eksploatacji pozwala na natychmiastowe i jednoznaczne wskazanie źle pracujących palników. Ten rodzaj złego funkcjonowania zazwyczaj pozostaje ukryty w warunkach, gdy stosowany jest jedynie tradycyjny monitoring, powodując wyraźne ograniczenie dla wdrożenia strategii redukcji O_2 . Jak już wspomniano bariera ta jest całkowicie usunięta podczas stosowania koncepcji KKS ABACO.

Zidentyfikowanie źle pracujących palników jest kluczowe dla efektywnego kosztowo planowania prac konserwacyjnych palników. Dlatego też, dzięki zastosowaniu technologii KKS możliwe jest zoptymalizowanie harmonogramu przeprowadzania prac serwisowych.

Wnioski

W obliczu wyzwań stawianych procesowi optymalizacji spalania, takich jak: poprawa wydajności i/lub redukcja emisji (CO_2 , CO lub NO_x)

RYSUNEK 5: Efekty wdrożenia KKS w piecu rafineryjnym



technologia KKS okazała się być cenną alternatywą i istotnym uzupełnieniem dla stosowanych dotąd technologii.

Główne efekty jakimi zakończyła się aplikacja tej technologii w palenisku rafineryjnym to:

1. Poprawa efektywności spalania, przekładająca się na oszczędności paliwa przekraczające 5% (przy jednoczesnym proporcjonalnym zredukowaniu emisji CO_2 i SO_x).
2. Jednoczesna redukcja całkowitej emisji NO_x o 45 – 50% (poziom emisji NO_x po wdrożeniu wahał się na poziomie 300 – 350 mg/Nm³, przy 3% udziale O_2).
3. Kontrola niespalonego paliwa i emisji CO, której efektem są pomijalne poziomy emisji CO, nawet dla najbardziej rygorystycznych wymogów, co do niskich poziomów koncentracji tlenu (średnie wartości koncentracji O_2 na poziomie 2%).

Zastosowanie koncepcji KKS do kotła spalającego gaz i ropę naftową zaowocowało widoczną poprawą kontroli spalania, co umożliwi osiągnięcie wyższej niezawodności, bardziej bezpiecznych warunków eksploatacji oraz zmniejszenie kosztów napraw i konserwacji. Ta cenna

informacja z punktu widzenia zapobiegawczych działań konserwacyjnych pozyskiwana jest dzięki natychmiastowej identyfikacji źle pracujących palników (zanim wystąpią poważniejsze uszkodzenia i awarie) oraz dzięki ciągłej kontroli CO w niespalonym paliwie.

Potencjał optymalizacji spalania zwiększa się w stopniu znaczącym podczas realizacji scenariusza spalania różnorodnych paliw przy zmiennych obciążeniach kotła, kiedy to operatorzy kotłów są zupełnie nieświadomi zmian zachodzących podczas procesu spalania.

Poprawa wydajności kotła zrealizowana dzięki zastosowaniu koncepcji KKS prowadzi do oszczędności paliwa oraz ograniczenia wysokości kar z tytułu nadmiernych emisji, co zazwyczaj przekłada się na 1-3 letni okres zwrotu z inwestycji, w zależności od warunków wyjściowych, rodzaju paliwa oraz właściwości rekuperatorów ciepła.

Możliwa jest również znaczna redukcja emisji NO_x dzięki wdrożeniu technologii KKS, co jest niezwykle istotne z punktu widzenia ochrony środowiska, zwłaszcza w obszarach przemysłowych nasyconych NO_x .

XIV MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA HUTNICZA

Materiały ogniotrwałe w metalurgii: wytwarzanie, metody badań, stosowanie

Celem konferencji jest zaprezentowanie najnowszych osiągnięć w zakresie nauki o materiałach, technologii wytwarzania, stosowania i metodyki badań materiałów ogniotrwałych wykorzystywanych do różnych procesów metalurgicznych w hutnictwie żelaza i metali nieżelaznych. Konferencja będzie również okazją do nawiązania bliższych kontaktów pomiędzy krajowymi i zagranicznymi ośrodkami badawczymi, producentami materiałów ogniotrwałych oraz ich użytkownikami.

TEMATYKA:

1. Surowce ogniotrwałe naturalne, syntetyczne
2. Aktualne tendencje w zakresie wytwarzania materiałów ogniotrwałych
3. Stosowanie materiałów ogniotrwałych
4. Urządzenia i piece
5. Nowe metody badań i problemy kontroli jakości
6. Badania poznawcze z zakresu materiałów ogniotrwałych

ORGANIZATOR:

Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie
Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach, ul. Toszecka 99, 44-100 Gliwice

KONTAKT:

dr inż. A. Pawełek, tel. 32 270 19 20
mgr inż. M. Nosek, tel. 32 270 18 56
e-mail: mkh@icimb.pl

17-20 maja 2011
Wisła Jawornik, Hotel Stok