

Technologia koksowania dwuproduktowego alternatywą dla konwencjonalnych baterii koksowniczych

Heat recovery coke making as an alternative for classic by-product slot ovens technology

*mgr inż. Grzegorz JAKUBINA, mgr inż. Henryk FITKO, mgr inż. Paweł OKARMUS



W KILKU SŁOWACH

Klasyczny proces koksowania wsadu węglowego prowadzony w konwencjonalnych bateriach koksowniczych prowadzi do wytworzenia koksu, jako produktu zasadniczego oraz lotnych produktów koksowania, takich jak surowy gaz koksowniczy, benzol, smoła oraz ewentualnie siarczany amonu lub siarka. O ile koks po wyjściu z komory koksowniczej i wychłodzeniu (na mokro lub sucho) jest prawie gotowy to sprzedaży, o tyle lotne produkty koksowania poddane muszą zostać skomplikowanej obróbce w oddziale węglpochodnych. Jednocześnie wpływy ze sprzedaży oczyszczonego gazu koksowniczego i produktów węglpochodnych stanowią niewielką część przychodów. Procesy oczyszczania gazu koksowniczego, obligatoryjne ze względów ekologicznych i technologicznych mogą być przez to obciążeniem kosztowym produkcji koksu. Koncepty zaniechania aktualnie stosowanej technologii chłodzenia i oczyszczania gazu koksowniczego zmierzają w kierunku koksowni dwuproduktowej, w której produktem zasadniczym jest koks a dodatkowymi, alternatywnie:

- produkcja pary technologicznej,
- produkcja energii elektrycznej przy wykorzystaniu turbiny parowej.

Jej zasadniczym jednak atutem jest praktycznie całkowita redukcja emisji zanieczyszczeń do otoczenia z zamknięć

komór koksowniczych w ciągu całego procesu koksowania. W technologii tej bowiem, w odróżnieniu od klasycznej technologii koksowania, całość procesu koksowania w komorach koksowniczych prowadzona jest na podciśnieniu, z dopuszczalnym częściowym spalaniem węgla i produkowanego koksu w obecności zasysanego do komory z zewnątrz powietrza.

Niniejszy artykuł opisuje technologię koksowania dwuproduktowego, konstrukcję baterii dwuproduktowych, oraz wskazuje korzyści z ich eksploatacji. Technologia koksowania dwuproduktowego stosowana jest obecnie w Stanach Zjednoczonych, Chinach, Indiach, Brazylii i Australii oraz próbuje wkroczyć do Europy.

*Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze, Grzegorz Jakubina, gjakubina@ichpw.zabrze.pl



SUMMARY

Traditional by-product cokemaking technology produce coke as a primary product and side products such as row coke oven gas, benzol crude tar or sulphur. Although coke after pushing, wet quanching or dry cooling, is practicly a market product the crude coke oven gas need to be submit to expensive and complicated processing. In the same time the side products sale income is a small part of the coke plant incomes. Crude coke oven gas purification processes, obligatory from the ecological point of view, often are costs





for coke plant trade balance. The conception of the crude coke oven gas processing abandonment concentrate over heat recovery technology, where the main and only products of the coal blend coking are coke and alternatively:

- overheated steam
- electricity produced in the steam turbine

But the most imported advantage of the heat recovery technology is a large decrease of the non-stack emission of the hazard substances to the environment during the whole coking cycle. In this technology, in the difference from the traditional coke ovens, the entire process of the coal carbonization is conducted under negative-pressure (suction).

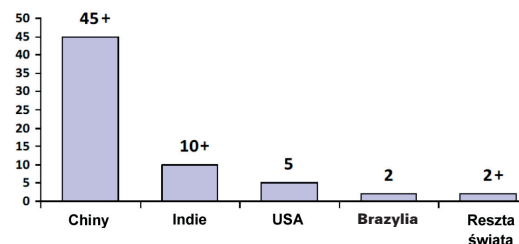
Presented article describes heat-recovery technology, coke ovens constructions, and points out advantages of the technology. Heat-recovery coke ovens are currently operated in USA, China, India, Brazil and Australia and try to step in to the Europe.

Wprowadzenie

Przemysł koksowniczy od kilku lat poszukuje drogi swego dalszego rozwoju. Podyktowane jest to zarówno rosnącymi wymaganiami co do jakości produkowanego koksu przy stale kurczącej się bazie węgla o wymaganych parametrach, rosnącymi kosztami budowy i eksploatacji klasycznych agregatów produkcyjnych i malejącej opłacalności produkcji węglowodnorodnych, będących nieodłącznym elementem klasycznego sposobu koksowania, jak i przede wszystkim rosnącymi wymogów ekologicznych. Jedną z coraz częściej rozpatrywanych dróg rozwoju światowego koksownictwa jest wdrożenie technologii koksowania bez odzysku węglowodnorodnych [1]. W technologii tej, nazywanej dwuproduktowym systemem koksowania („non-recovery”), w odróżnieniu od konwencjonalnego systemu koksowania, uzyskuje się wyłącznie koks. Produkowany na takiej baterii surowy gaz koksowniczy, wraz z innymi lotnymi produktami koksowania, jest natomiast całkowicie spalany, najpierw w samych komorach koksowniczych w obecności zasysanego do nich powietrza,

a następnie w odpowiednio skonstruowanych, bezpośrednio z nimi powiązanych, kanałach grzewczych. Powstałe w wyniku jego spalania spaliny oprócz nagrzewania wsadu węglowego wykorzystywane są najczęściej do produkcji energii elektrycznej i dodatkowego ciepła, a następnie oczyszczane w instalacjach typowych dla przemysłu energetycznego. Tak prowadzony proces pozwala nie tylko ograniczyć emisję zanieczyszczeń do otoczenia i uprościć budowę baterii oraz sam proces sterowania jej pracą, ale również jak twierdzą jej twórcy podwyższyć w stosunku do klasycznej technologii koksowania jakość produkowanego koksu przy porównywalnej jakości węgla [2].

Technologia koksowania węgla metodą dwuproduktową stosowana jest już od 45 lat i przez cały czas podlega ulepszeniom i modyfikacjom. Na całym świecie pracuje aktualnie lub jest w fazie rozruchu około 60 koksowni tego typu, z czego najwięcej w Chinach i Indiach. Światową lokalizację tych koksowni przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Światowa lokalizacja koksowni dwuproduktowych (wg [Sun-Coke Energy])

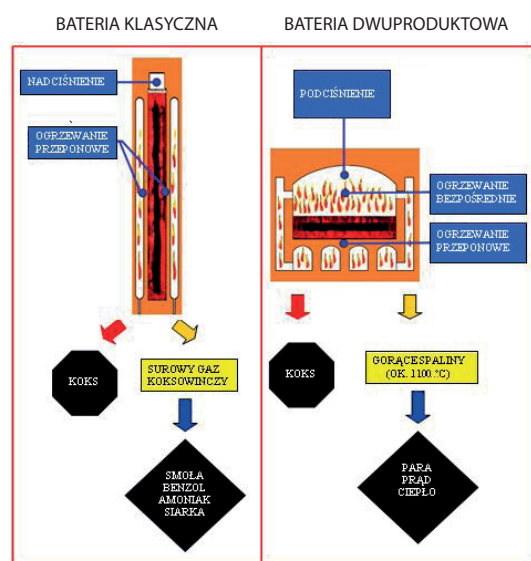
Technologia koksowania dwuproduktowego w USA, oparta konstrukcyjnie na piecu typu Jewell’a Thompsona, uznana została za kompletnie dopracowaną technicznie, co zostało potwierdzone przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska USEPA (United States Environmental Protection Agency) przez wyznaczenie tej technologii jako maksymalny dostępny kontrolny standard technologiczny (Maximum Achievable Control Technology (MACT)) [3, 4].

Ogólny opis technologii koksowania dwuproduktowego

Ogólnie zasada technologii koksowania dwuproduktowego polega na produkcji koksu bez odzysku węglowodnorodnych. Wprawdzie pro-



dukowany w tej technologii koks wytwarza się poprzez nagrzewanie w oddzielnych komorach koksowniczych odpowiednio skomponowanego wsadu węglowego do temperatury ok. 1000°C podobnie jak to ma miejsce w klasycznej technologii koksowania, to jednak w tym wypadku produkowane lotne produkty koksowania nie są odciągane z komory do przerobu i ponownego częściowego wykorzystania do opalania baterii lecz całkowicie spalane bezpośrednio w komorach koksowniczych i połączonych z nimi specjalnej konstrukcji kanałach grzewczych (rys.2)



Rys.2 . Schemat ogrzewania wsadu w komorach baterii klasycznej i dwuproduktowej

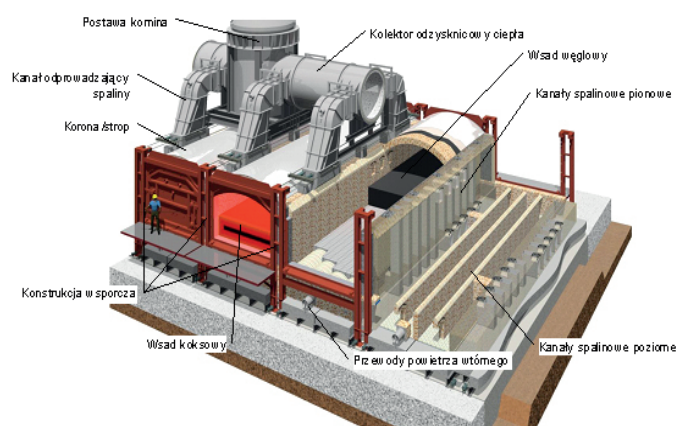
W technologii tej z założenia, odwrotnie niż to ma miejsce w klasycznej technologii koksowania, w komorach panuje podciśnienie.

Istniejące podciśnienie umożliwia równocześnie zassanie do komór i współpracujących z nimi kanałów grzewczych nieznacznej ilości powietrza, gwarantującej podstechiometryczne, lecz dostateczne do wytworzenia niezbędnej energii do skoksowania w zadanym czasie określonej ilości wsadu węglowego, spalanie wytwarzanego w komorach gazu i innych produktów koksowania. Powstałe w ten sposób spaliny dopalane są, w obecności znacznych nadwyżek zasysanego powietrza, w powiązanych z baterią kanałach spalinowych i o wysokiej temperaturze przekazywane do układu odzysku ciepła wytwarzających parę lub prąd.

Konstrukcje baterii dwuproduktowych

Ogólnie konstrukcje baterii pracujących aktualnie w technologii koksowania dwuproduktowego można podzielić na dwie grupy:

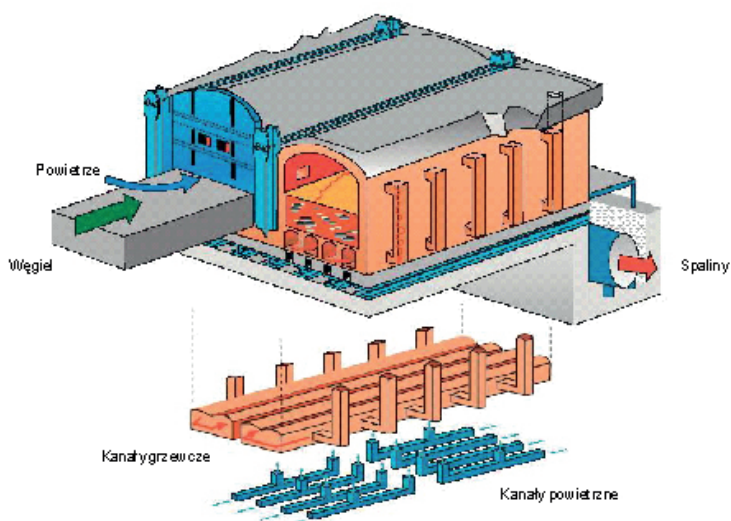
- baterie z komorami poziomymi, tzw. „HORIZONTAL HEAT RECOVERY COKE OVENS”
- baterie z komorami pionowymi, tzw. „VERTICAL HEAT RECOVERY COKE OVENS”
- Współczesne konstrukcje baterii z komorami poziomymi oferowane są w dwóch wersjach:
 - z odprowadzeniem spalin poprzez parowy kolektor odzyskicowy umieszczony ponad piecami (rys. 3 i 4) oferowana przez SunCoke Energy,
 - z odprowadzeniem spalin rurociągami poniżej poziomu komór do kotła odzyskicowego (rys. 5 i 6) oferowana przez SESA Group.



Rys. 3 Schemat baterii dwuproduktowej z odprowadzeniem spalin poprzez parowy kolektor odzyskicowy umieszczony ponad piecami.



Rys. 4. Zdjęcie baterii dwuproduktowej pracującej w wersji z odprowadzeniem spalin poprzez parowy kolektor odzyskicowy umieszczony ponad piecami (źródło SunCoke Energy).



Rys. 5 Schemat baterii z odprowadzeniem spalin rurociągami poniżej poziomu komór do kotła odzysknicowego.



Rys. 6. Zdjęcie baterii dwuproduktowej pracującej w wersji z odprowadzeniem spalin rurociągami poniżej poziomu komór do kotła odzysknicowego (źródło SESA GOA).

Konstrukcja baterii Suncoke Energy stosowana jest głównie w krajach Ameryki Północnej i Południowej, zaś konstrukcja SESA w krajach azjatyckich i w Australii. Obie firmy oferują swoje rozwiązania konstrukcyjne zarówno dla wsadu ubijanego jak i zasypowego.

Piece koksownicze tych baterii ustawiane są w grupach. Grupy te posiadają różną konfigurację. Ułożone są w jednym rzędzie, gdzie po jednej stronie znajduje się część "maszynowa" z tzw. maszyną wsadowo-wypychową (PCM - Pusher/Charger Machine), a po drugiej stronie

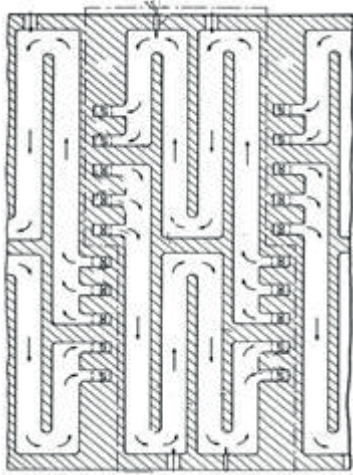
część koksowa z "wozem koksowym" (FPHC - Flat Push Hot Car), lub w tzw. "lustrzanym odbiciu" gdzie poszczególne piece baterii ustawione są do siebie „plecami” mając wspólną wewnętrzną część koksową. Typowa bateria pracująca w technologii dwuproduktowej o zdolności produkcyjnej 550 tys. Mg koksu/rok posiada 100 komór.

Każdy z pieców koksowniczych w obu wersjach konstrukcyjnych baterii z poziomymi komorami składa się z dwóch ścian krzemionkowych, posadzki pod którą umiejscowione są kanały spalinowe oraz półokrągłego stropu. Typowe wymiary pieca to: 13,7 m długości, 3,65 m szerokości i około 3 m wysokości. Załadowywany do komory w tej technologii wsad węglowy wypełnia jednak jedynie części dostępnej jej przestrzeni. O ile szerokość i długość wsadu węglowego pokrywa się z wymiarami pieca to wysokość placka wynosi zaledwie około 1 m.

Resztę wysokości pieca stanowi przestrzeń podsklepieniowa w której spalane są uwalniające się w czasie koksowania części lotne. Z przodu i z tyłu komory pieca znajdują się metalowe drzwi z wykładziną ogniotrwałą, które za pomocą odpowiedniej maszyny ściąga się w czasie załadowywania komory mieszanką węglową oraz w czasie wypychania gotowego koksu. Do komory pieca załadowuje się za pomocą odpowiednio chłodzonego przenośnika, 38 do 45 Mg (w zależności od wielkości komory) mieszanki węglowej. Czas koksowania tej ilości wsadu w tego typu piecach wynosi ok. 48 godzin.

Piece koksownicze baterii dwuproduktowej wykonane są głównie z materiału krzemionkowego. Ustawione są na chłodzonej powietrzem płycie fundamentowej. Ich ściany boczne i tok (podłoga) kryją w sobie skomplikowany układ kanałów, w których przepływają gorące spaliny uzyskane z dopalenia powstającego w procesie koksowania, surowego gazu koksowniczego. Oprócz kanałów spalinowych w piecu znajdują się też kanały doprowadzające powietrze potrzebne do ostatecznego dopalenia gazu surowego. Dla maksymalnej uniformizacji temperatur panujących w masywie, system kanałów dzieli się na dwie części, maszynową i koksową. Układ kanałów pod posadzką pieca przedstawiono na rys nr 7.





Rys.7 Rozkład ceramicznych kanałów grzewczych umiejscowionych pod tokiem komory pieca koksowniczego pracującego w technologii dwuproduktowej [5]

Gorące spaliny po wstępnym oddaniu ciepła ściankom kanałów spalinowych przekazywane są do kanałów odprowadzających spaliny w kierunku kolektora odzysknicowego ciepła, usytuowanego nad stropem pieca (wersja SunCoke Energy), lub poniżej poziomu komór (wersja SESA Group).

Przed samym zaś kolektorem zabudowana jest przepustnica, mająca za zadanie regulację wytwarzanego, przez zabudowany w części energetycznej koksowni wentylator, podciśnienia w systemie grzewczym baterii.

Podstawową wadą tej konstrukcji baterii pracującej w technologii dwuproduktowego koksowania jest potrzeba wyjątkowo dużej powierzchni pod jej zabudowę. Bateria koksownicza pracująca w technologii dwuproduktowej z poziomymi komorami o wydajności 650 tys. Mg koksu/rok (np.: bateria w koksowni „Granite City”) zajmuje w swojej części piecowej powierzchnię 670 x 70 m (dł. x sz.) tj. ok. 4,7 ha. Klasyczna bateria koksownicza (np.: bateria w koksowni „Przyjaźń”) o większej wydajności (750 tys. Mg koksu/rok) zajmuje w części piecowej zaledwie powierzchnię 170 x 60 m (dł. x sz.) tj. ok. 1ha. Jeśli jednak uwzględnić konieczność budowy oddziału odzysku i czyszczenia węglpochodnych w konwencjonalnej technologii koksowania to przedstawione powyżej proporcje zabudowy nie są już tak drastycznie niekorzystne dla technologii dwuproduktowej. Konwencjonalna koksownia o wydajności np.: 3,5 mln Mg koksu/rok w części piecowej zajmu-

je ok. 5-6 ha, a w części węglpochodnych (bez oczyszczalni ścieków) powierzchnię 15ha. Koksownia dwuproduktowa o podobnej zdolności produkcyjnej zajmuje wprawdzie powierzchnię w części piecowej ok. 28ha, lecz całość koksowni nie przekracza 36ha.

Budowa i eksploatacja współczesnej baterii koksowniczej z pionowymi komorami przeznaczonej dla technologii dwuproduktowej - Vertical Heat Recovery (VHR) oparta jest na znanej od końca XIX wieku konstrukcji pieca płomiennego Coppée’go. W konstrukcji tej pionowe komory koksownicze, podobnie jak w klasycznej technologii koksowania, podzielone są ścianami grzewczymi z układem pionowych kanałów grzewczych. Produkowane jednak w komorze koksowniczej surowy gaz koksowniczy i lotne produkty koksowania nie są przekazywane do odbieralnika, lecz przechodzą z górnej części komory (strefy podsklepieniowej) bezpośrednio do kanałów grzewczych. W kanałach grzewczych po zetknięciu się z zassanym ze stropu, poprzez regulowane otwory w ich wziernikach (rys. 8), zimnym powietrzem ulegają częściowemu spalaniu. Stąd są odprowadzane najpierw do kanałów podtokowych, a dalej do części czopuchowej baterii, gdzie ulegają całkowitemu dopaleniu w zetknięciu z zasysanym do nich z zewnątrz (poprzez kanały przy przyczółkach) powietrzem „wtórnym”. Z części czopuchowej gorące spaliny zasysane są do kolektora spalinowego, który odprowadza je do części energetycznej zakładu.



Rys. 8. Widok wziernika do regulującego wlot zimnego powietrza do kanałów grzewczych w piecu z pionowymi komorami przeznaczonego dla technologii dwuproduktowej (VHR).

Bateria tego typu nie posiada również regeneratorów i osprzętu grzewczego (kolektory gazu opałowego, podgrzewacz, winda rewersyjna, kurki, zawory spalinowo-powietrzne) i całej aparatury kontrolno-pomiarowej z tym osprzętem związanej.



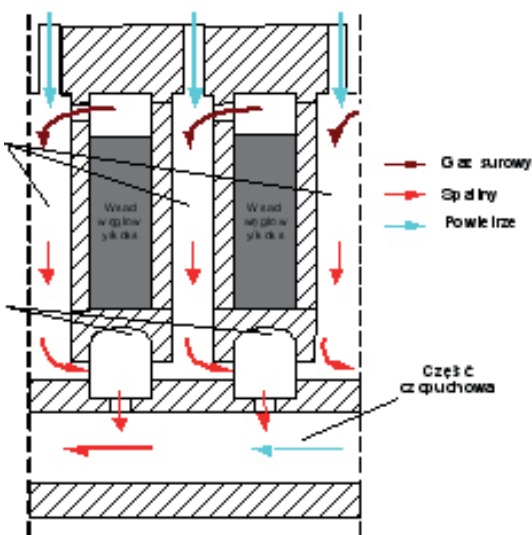


LITERATURA

[1]. Cz. Sikorski, „Koksownia dwuproduktowa – porównanie z koksownią klasyczną Karbo 2009r str. 232-239.
 [2] H.B. Luengen i inni: „Conventional slot oven or heat recovery oven Typical applications” ECIC Disseldorf 2011 Session7.
 [3] Najlepsze dostępne techniki (BAT) – Wytyczne dla branży koksowniczej - Wydawnictwo Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze, 2006.
 [4] <http://eippcb.jrc.es/reference/>
 [5] Unitet state patent nr US6,596,128 B2
 [6] D. Walker, M. P. Barkdoll, “Sun Coke Company’s heat recovery cokemaking technology: an overview”, Coke Making international vol 14 1/2002
 [7] A.R. Ellis and K.J. Schuett “Heat Recovery Cokemaking at Indiana Harbor Coke Company – One Year of Operation” Coke Making International vol 11. 2/1999

Inne podstawowe obiekty towarzyszące eksploatacji tej baterii (węglownia, wieża węgla, wieża gaszenia, sortownia, pomieszczenia socjalne i magazynowe oraz sieć transportu węgla i koksu), z wyjątkiem niepotrzebnych w tej technologii instalacji i obiektów przeróbki węgl pochodnych są typowe tak jak dla klasycznej technologii koksowania.

Na rysunku 9 przedstawiono schemat poglądowy współczesnego pieca koksowniczego dwuproduktowego z pionowymi komorami, zaś na rysunku 10 widok baterii dwuproduktowej tego typu.



Rys. 9. Schemat konstrukcji i zasada działania pieca z pionowymi komorami koksowniczymi pracującego w technologii dwuproduktowej

Komercyjna wersja tego typu baterii oferowana jest aktualnie przez China Metallurgical Engineering & Project Corp. Są to baterie o wysokości komór od 3 200 do 4 400mm (wysokość użyteczna 2 900 do 4 000mm), ich długość 12 670mm i średniej szerokość 560mm, pracujące w systemie wsadu ubijanego.

Poważnym obecnie problemem tej wersji baterii dwuproduktowej jest całkowity brak dla niej rozwiązań w zakresie automatyki i sterowania procesem koksowania. Nie posiada ich ani twórca technologii, ani Zakłady Koksownicze ją wykorzystujące. Praktycznie całość procesu koksowania i spalania gazu w kanałach grzewczych jest poza wszelką kontrolą, a wszystkie działania regulacyjne wykonywane są ręcznie na podstawie bliżej nieokreślonych procedur.

Proces odzysku ciepła w technologii koksowniczej dwuproduktowej

W technologii dwuproduktowego koksowania wytwarzane w komorach lotne produkty koksownia po całkowitym spalaniu w systemie grzewczym tego typu baterii koksowniczej odprowadzane są kolektorem do układu odzysku ciepła (HRSG – Heat Recovery Steam Generator). Jeden układ odzysku ciepła obsługiwany jest przez określoną ilość komór (np. 40 komór koksowniczych). Wytworzona w kotle odzysknicowym para o parametrach 540°C i ciśnieniu 100 bar podawana jest wariantowo, w zależności od wybranej opcji energetycznej koksowni:

- do zespołu turbina parowa-generator prądowy z wytworzeniem energii elektrycznej,
- do odbiorcy końcowego pary technologicznej,
- do zespołu kogeneracji z wytworzeniem energii elektrycznej i pary grzewczej.

Spaliny po układzie odzysku ciepła przesyłane są do zespołu oczyszczania. Zastosowana w tym przypadku technologia oczyszczania spalin wynika z decyzji środowiskowych które mogą się różnić w zależności od lokalizacji koksowni. Oczyszczanie spalin może składać się docelowo z następujących procesów:

- adsorpcyjne usuwanie rtęci,
- odsiarczanie spalin,
- odpylanie spalin za pomocą filtrów workowych.

Odpowiedni przepływ spalin w systemie: komora koksownicza-generator pary-układ oczyszczania

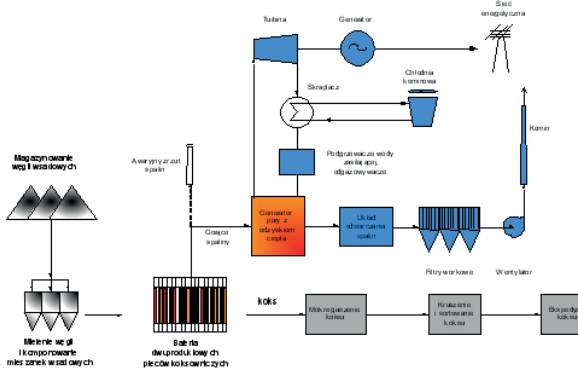


Rys. 10. Widok baterii koksowniczej dwuproduktowej z pionowymi komorami



nia spalin wymusza wentylator, po którym spaliny oczyszczone zrzucane są do atmosfery. Podczas stanów awaryjnych części energetycznej lub w czasie jej remontów zrzut spalin surowych odbywa się jednak, poprzez osobny komin, bez oczyszczania bezpośrednio do atmosfery.

Na rysunku 11 przedstawiono uproszczony schemat koksowni dwuproduktowej wytwarzającej koks i energię elektryczną.



Rys. 11. Schemat technologiczny koksowni opartej na technologii dwuproduktowej.
Podsumowanie

Trudnym obecnie do zdefiniowania zagadnieniem możliwości wdrożenia technologii dwuproduktowej są przede wszystkim rozbieżności prawne związane z uzyskaniem pozwolenia na budowę tego typu baterii oraz w pewnym stopniu całkowity brak doświadczeń eksploatacyjnych związanych z ich obsługą. Nowa bateria, aby uzyskała w Polsce pozwolenie na budowę i eksploatację, musi w zasadzie spełniać wymogi zawarte w konkluzjach dotyczących najlepszych dostępnych technik (BAT) [„DECYZJA WYKONAWCZA KOMISJI z dnia 28.02.2012r. ustanawiająca konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych, w odniesieniu do produkcji żelaza i stali”]. Co prawda dokumenty referencyjne najlepszych dostępnych technik (BREF) dla produkcji żelaza i stali zawierają opis technologii SUNCOKE to jednak wymienione konkluzje nie ujmują w ogóle zagadnień koksowania dwuproduktowego. W tej sytuacji uzyskanie pozwolenia na budowę tego typu baterii będzie wymagało szczegółowego uzasadnienia, zestawień i porównań do podobnych procesów i instalacji oraz żmudnych negocjacji z Urzędem Marszałkowskim.

PIROMETRY SKANERY LINIOWE KAMERY TERMOWIZYJNE



-40...3000°C



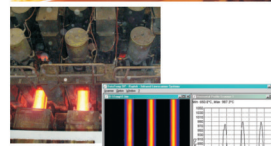
PIROMETRY

Jedno i dwubarwowe, ze światłowodem lub bez. Pomiar przez wzierniki, zapylenie, w pobliżu silnych pól elektromagnetycznych czy w wysokiej temperaturze otoczenia. Możliwość podłączenia kilku głowic do jednego przetwornika (seria MI3) z Profibusem, RS485 lub Modbusem. Także do pomiaru płomienia i pracy w strefie Ex.



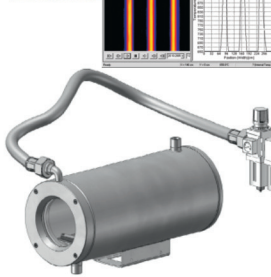
SKANERY LINIOWE

Pomiar temperatury do 1024 punktów w jednej linii. Częstotliwość do 150 linii/s. Oprogramowanie do kontroli procesów przemysłowych. Zaawansowane funkcje alarmowe i kontroli procesu. Serwer http i OPC. Praca w temperaturze otoczenia do 1090 °C w specjalnej obudowie.



KAMERY TERMOWIZYJNE

Kamery termowizyjne o zakresach spektralnych od 0,4 do 14 µm. Kontrola wizyjna procesów wysokotemperaturowych z opcją pomiaru temperatury do 2000 °C. Obudowa do pracy w otoczeniu do 400 °C. Różne obiektywy. Oprogramowanie producenta i biblioteki SDK.



Organizujemy prezentacje i testy oferowanych urządzeń u Klientów.
Dodatkowe informacje na www.irtech.pl

IRtech®

info@irtech.pl

LABORATORIUM BADAŃ MATERIAŁÓW OGNIOTRWAŁYCH

BADANIA STRUKTURALNE



- skład fazowy, chemiczny i mikrostruktura ceramiki, surowców, półproduktów nieorganicznych, produktów odpadowych i materiałów ceramicznych przed i po korozji
- nieniszczące badania ceramiki
- badania właściwości sprężystych ceramiki



BADANIA PODSTAWOWE



- analiza chemiczna i własności termiczne surowców i materiałów ceramicznych
- gęstość, porowatość, wytrzymałość wyrobów, skład ziarnowy materiałów sypkich
- rozkład wielkości porów



BADANIA TERMICZNE I TERMOMECHANICZNE



- przewodność cieplna i rozszerzalność cieplna
- własności sprężyste i energia pęknięcia
- ogniotrwałość zwykła i pod obciążeniem, pękanie przy ściskaniu
- własności odpornościowe materiałów ogniotrwałych na działanie erozyjne i korozyjne przez stopy, żużle i gazy



Laboratorium Badawcze posiada Certyfikat Polskiego Centrum Akredytacji nr AB 097



ODDZIAŁ MATERIAŁÓW OGNIOTRWAŁYCH
W GLIWICACH
ul. Toszecka 99, 44-100 Gliwice
www.icimb.pl/gliwice