

Problemy regulacji ciśnienia gazu surowego w komorach baterii koksowniczych systemu zasypowego i ubijanego

Problems with pressure control of raw gas in coke oven batteries charged with stamped and unstamped coal

Henryk FITKO*, Tadeusz CHWAŁA



W KILKU SŁOWACH

Celem publikacji jest przedstawienie zasad ustalania optymalnego poziomu ciśnienia gazu surowego w komorach koksowniczych pracujących zarówno w systemie zasypowym jak i ubijanym. Przedstawiono przykładowe charakterystyki zmian ciśnień w toku komór dla obu rodzajów baterii koksowniczej. Zaprezentowano koncepcję techniczną i rozwiązanie konstrukcyjne Zaworu Regulacyjno-Odcinającego "ZaReO", który jest głównym elementem wykonawczym nowego systemu indywidualnej regulacji ciśnienia gazu surowego w komorach baterii koksowniczych.



SUMMARY

Scope of this publication is presentation of determination principles of crude gas pressure optimal level in coke oven chambers both in gravity and stamp charging system. Examples of pressure changes characteristic in sole of coke oven chamber for both types of coke oven batteries has been presented. Technical concept and constructional solution shut-off and control valve "ZaReO", which is the main executive element of the new individual regulation system of raw gas pressure in coke oven chambers, has been described.

*- Autor jest pracownikiem ICHPW adres do korespondencji: Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze, tel: +48 32 271-00-41, fax: + 48 32 271-08-09, e-mail: hfitko@ichpw.zabrze.pl

Wprowadzenie

Proces klasycznego koksownia jest jedną z najważniejszych technologii termochemicznej przeróbki węgla. Technologia ta polega na przeponowym ogrzewaniu bez dostępu powietrza, wsadu węglowego do temperatury około 1000°C. Proces ten prowadzony jest w bateriach koksowniczych, które są ustawionymi obok siebie, prostopadłościennymi, ceramicznymi komorami. Ogrzewanie komór prowadzi się poprzez przekazywanie przez ściany grzewcze rozdzielające komory, ciepła generowanego ze spalania oczyszczonego gazu koksowniczego. W czasie koksowania, w ogrzewanym wsadzie węglowym zachodzą skomplikowane procesy niestacjonarnej wymiany ciepła i masy,

w wyniku, których następują nieodwracalne chemiczne, fizyczne i fizykochemiczne przemiany substancji węglowej [1,2]. Główną cechą charakterystyczną procesu koksownia jest jego nieciągłość, polegająca na okresowym załadunku i opróżnianiu komór koksowniczych. Wyznacznikiem tej nieciągłości jest czas koksowania oraz warunki ciśnieniowe panujące w komorach koksowniczych, które związane są ze zmienną ilością powstającego w komorach surowego gazu koksowniczego. Ciśnienie gazu surowego w poszczególnych fazach koksowania zależy od: właściwości zastosowanej mieszanki węglowej (zawartość części lotnych), konstrukcji baterii koksowniczej (sposób załadowywania komór – zasypowy, ubijany, system odbioru gazu surowego) oraz stosowanych





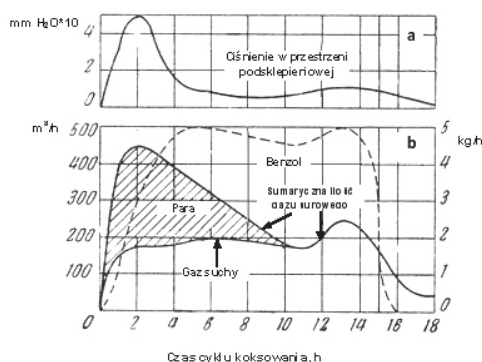
parametrów technologicznych (temperatura ścian grzewczych).

Prawidłowy przebieg procesu koksowania wymaga ustalenia optymalnego ciśnienia gazu surowego w systemie: komora koksownicza - układ odbioru gazu. Prawidłowe ciśnienie procesu koksowania ma wpływ na: proces technologiczny, jakość otrzymywanych produktów (koks, skład gazu), jak również na trwałość elementów ceramicznych komór koksowniczych.

Ciśnienie surowego gazu w komorze koksowniczej w czasie trwania procesu koksowania

Wydzielający się w procesie koksowania surowy gaz koksowniczy przekazywany jest ze wsadu węglowego do znajdującej się nad nim przestrzeni podsklepieniowej i dalej rurą odciągową zamontowaną na stropie baterii i kolanem rury do odbieralnika. Odbieralnik to urządzenie zbierające gaz surowy z wszystkich komór baterii koksowniczej (znajdujących się w różnych etapach procesu koksowania), w którym następuje uśrednianie składu gazu oraz jego wstępne oczyszczanie i schłodzenie. Z odbieralnika gaz surowy przekazywany jest poprzez rurociąg ssawny do oddziału węglopochodnych w celu dalszego przerobu.

W związku z periodycznym charakterem procesu koksowania przeprowadzanego w komorze koksowniczej, ilość wydzielanego surowego gazu koksowniczego z jednej komory zmienia się w czasie, a co za tym idzie ciśnienie gazu w komorze koksowniczej ulega bardzo dużym wahaniom. Przykładowy uzysk gazu surowego z pojedynczej komory baterii koksowniczej przedstawiono na rys. 1.



Rys.1. Przykładowy uzysk surowego gazu koksowniczego (b) i ciśnienia gazu w przestrzeni podsklepieniowej (a)[3]

W początkowym okresie, zaraz po napełnieniu komory wsadem węglowym, w wyniku intensywnego odparowania wilgoci i wstępnego odgazowania mieszanki węglowej, ciśnienie wydzielanego gazu surowego gwałtownie rośnie. W dalszym ciągu procesu koksowania ciśnienie gazu w komorze stopniowo maleje osiągając niekiedy, pod koniec cyklu koksowania, niekorzystne wartości podciśnienia. Ciśnienie robocze w odbieralniku ustalane jest w ten sposób, aby zapewnić dodatnie jego wartości w komorach znajdujących się w końcowej fazie procesu koksowania (mała ilość gazu), przy minimalizacji emisji niezorganizowanej z osprzętu bocznego pieców (drzwi piecowe) w komorach znajdujących w fazie bezpośrednio po załadunku wsadem węglowym (duża ilość gazu).

W klasycznych warunkach technologicznych procesu koksowania zaleca się (zgodnie z „Przepisami technicznymi eksploatacji koksowni” [4]) utrzymywanie w odbieralniku ciśnienia na poziomie wynikającym z naporu hydrostatycznego słupa gazu surowego, dodając dla bezpieczeństwa 5 Pa.

Ciśnienie to można wyliczyć według następującego wzoru [5]:

$$p_o = 5 + H_k \left(\gamma_p - \frac{\gamma_g}{1 + \beta \cdot T_k} \right) + (H_s + H_w) \left(\gamma_p - \frac{\gamma_g}{1 + \beta \cdot T_w} \right) - \Delta p_s$$

gdzie:

p_o – ciśnienie w odbieralniku, Pa,

H_k – wysokość komory koksowniczej, m,

H_s – wysokość stropu baterii, m,

H_w – wysokość rury odciągowej, m,

γ_p – gęstość powietrza, kg/m³,

γ_g – gęstość gazu surowego, kg/m³,

T_k – średnia temperatura w komorze koksowniczej, °C,

T_w – średnia temperatura w rurze odciągowej, °C,

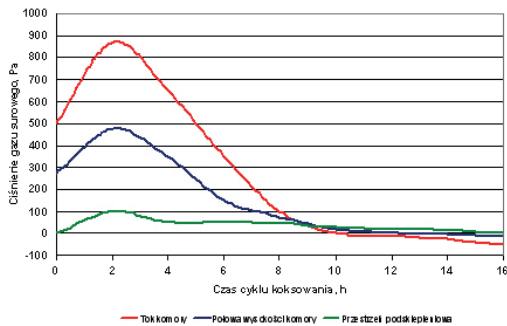
β – współczynnik rozszerzalności liniowej gazu, °C⁻¹

Δp_s – spadek ciśnienia wskutek oporów przepływu gazu przez komorę koksowniczą wypełnioną wsadem, Pa.

Prawidłową regulację ciśnienia surowego gazu w komorze koksowniczej można przeprowadzić tylko w przypadku znajomości czasowej charakterystyki wydzielania się gazu surowego



ze wsadu węglowego. Przykładową charakterystykę ciśnienia surowego gazu w trzech miejscach komory koksowniczej przedstawia rys. 2 [5].

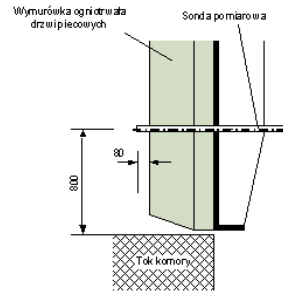


Rys. 2. Zmiany ciśnienia surowego gazu koksowniczego na wysokości komory koksowniczej (system zasypowy)

Z rys. 2 wynika, że w pierwszym okresie koksowania (pierwsze dwie godziny) ciśnienie surowego gazu koksowniczego osiąga wysokie wartości w charakterystycznych punktach komory koksowniczej tj. w toku (podłoga) komory, w połowie jej wysokości oraz w przestrzeni podsklepieniowej. Najwyższe ciśnienie osiągnięte jest w punkcie najbardziej oddalonym od odbieralnika tj. przy podłodze komory. Im bliżej odbieralnika wzdłuż drogi przepływu gazu tym ciśnienia spada osiągając najniższą wartość w przestrzeni podsklepieniowej. W trakcie przebiegu procesu koksowania ciśnienie gazu w wymienionych punktach spada osiągając wartość zbliżoną do zera przy jego zakończeniu [6].

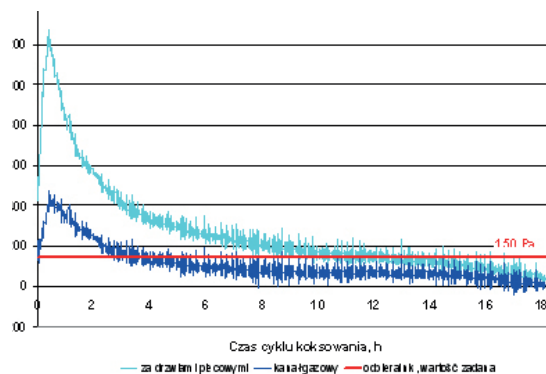
W celu sprawdzenia jak kształtuje się rozkład ciśnień gazu surowego w toku komór dla baterii koksowniczych o różnym sposobie załadunku i różnych wysokościach, przeprowadzono szereg pomiarów. Pomiary te wykonano zarówno na bateriach systemu ubijanego jak i zasypowego, które pracowały przy różnych czasach koksowania.

Pomiary ciśnień wykonywano za pomocą specjalnej instalacji pomiarowej zamontowanej na drzwiach komory koksowniczej [7]. Sposób zamontowania sond pomiarowych w korpusie drzwi pokazano na rys. 3. Sondy zamontowane były na wysokości ok. 800 mm od toku komory. Końcówka sondy do pomiaru ciśnienia gazu wystawała wewnątrz komory na głębokość ok. 80 mm, poza wymurówkę ogniotrwałą drzwi piecowych.



Rys. 3. Sposób zamocowania sond ciśnieniowych w drzwiach piecowych:

Wyniki pomiarów zmian ciśnienia w toku komory baterii koksowniczej pracującej w systemie zasypowym przedstawiono na rys. 4. Pomiary dokonano na baterii o wysokości komór równej 5,5 m z utrzymywanym ciśnieniem gazu w odbieralniku na poziomie 150 Pa. Czas koksowania w tym przypadku wynosił 19 godz.



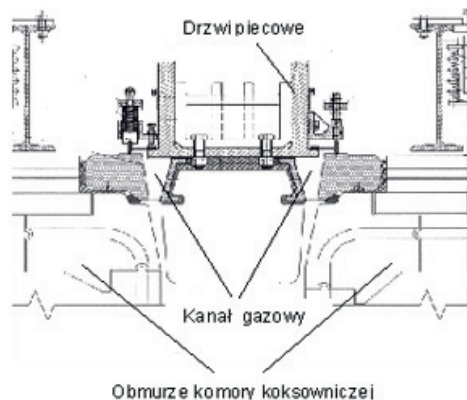
Rys. 4. Przebieg zmian ciśnienia surowego gazu w toku komory koksowniczej systemu zasypowego, pomiar za drzwiami piecowymi i w kanale gazowym

Na wykresie widać przebieg zmian ciśnienia gazu surowego w złożu węglowym (za drzwiami piecowymi), mierzony wg procedury zgodnej z rys. 3 oraz przebieg zmian ciśnienia w tzw. kanale gazowym drzwi piecowych. Kanał gazowy jest charakterystycznym dla baterii systemu zasypowego, elementem konstrukcji komory koksowniczej występującym po obu stronach drzwi piecowych. Jest to część przestrzeni komory koksowniczej znajdującej się pomiędzy żeliwną ramą drzwiową, a stalowym mocowaniem wymurówki ogniotrwałej drzwi piecowych (rys. 5). Ze względu na swój kształt i usytuowanie, kanał gazowy w czasie procesu koksowania nie jest zasypany wsadem węglowym a jego zadaniem jest ewakuacja wydzielającego się surowego gazu koksowniczego wzdłuż drzwi piecowych, pionowo do przestrzeni podsklepieniowej ko-





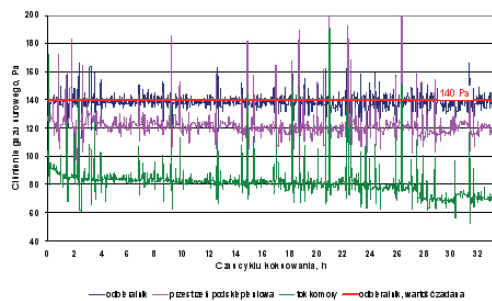
mory. Kanał gazowy stosowany jest głównie dla zmniejszenia ciśnienia gazu surowego w pobliżu uszczelnienia drzwi piecowych a co za tym idzie do redukcji emisji niezorganizowanej gazu do powietrza.



Rys. 5. Usytuowanie kanałów gazowych w drzwiach piecowych komór baterii koksowniczych systemu zasypowego

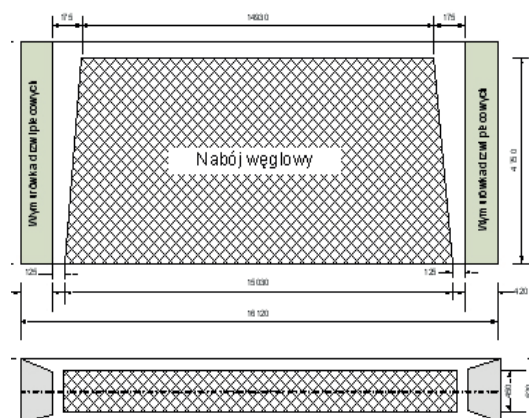
Przeprowadzone pomiary ciśnienia (rys. 4) wykazały znaczny wzrost ciśnienia surowego gazu koksowniczego w pierwszym okresie koksowania, co jest związane z intensywnym odparowaniem wilgoci ze wsadu węglowego. Najwyższe ciśnienia zanotowano w 1÷2 godzinie czasu koksowania. Ciśnienia gazu za drzwiami piecowymi osiągały w tym przypadku maks. wartości 1200 Pa a w kanale gazowym ok. 400 Pa. Ciśnienia te gwałtownie spadają w następnych godzinach procesu koksowania. Ciśnienie gazu w kanale gazowym osiąga wielkości ciśnienia odbieralnika w trzeciej godzinie cyklu koksowania i maleje do zera pod jego koniec.

Na rys. 6 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów ciśnienia gazu surowego w toku komory baterii koksowniczej pracującej w systemie ubijanym. Pomiary wykonano dla baterii o wysokości komór 3,7 m, z czasem koksowania 33 godz. Ciśnienie zadane na odbieralniku 140 Pa.



Rys. 6. Przebieg zmian ciśnienia surowego gazu w odbieralniku, przestrzeni podsklepieniowej oraz w toku komory koksowniczej.

W przypadku komór pracujących w systemie ubijanym nie stwierdzono charakterystycznego dla systemu zasypowego, dużego wzrostu ciśnienia na początku procesu koksowania. Ciśnienie w toku komory na początku wzrasta do wielkości 100÷150 Pa i spada systematycznie do wartości minimalnych po koniec procesu. Ciśnienie w przestrzeni podsklepieniowej jest praktycznie stałe i kształtowane jest wielkością ciśnienia gazu w odbieralniku. Takie charakterystyki zmian ciśnienia gazu surowego dla systemu ubijanego wiążą się z kształtem wsadu węglowego wprowadzanego do komory koksowniczej. Przykładowe wymiary wsadu węglowego (ubijany placek węglowy) oraz odpowiadającej mu komory koksowniczej przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Podstawowe wymiary komory koksowniczej i nabój węglowego dla baterii koksowniczej o wysokości komory 5 m

Jak widać na rys. 7, po wprowadzeniu do komory koksowniczej ubitego wsadu węglowego z każdej jego strony pozostaje wolna przestrzeń, która działa jak „pseudo” kanał gazowy. Objętością tą ewakuowany jest do przestrzeni podsklepieniowej surowy gaz koksowniczy. Wielkość tej przestrzeni, jest tak znaczna (szczególnie w okolicach drzwi piecowych), że przepływ przez nią gazu surowego odbywa się praktycznie bez strat ciśnienia.

Z tego też powodu o wielkości zmian ciśnienia w czasie procesu koksowania w systemie ubijanym, decyduje wysokość utrzymywanego ciśnienia gazu surowego w odbieralniku. Bardzo podobny przebieg zmian ciśnienia w toku komory otrzymano w czasie pomiarów na komorach baterii systemu ubijanego o wysokości komór 4,2 i 5 m.

Redukcja emisji niezorganizowanej poprzez indywidualną regulację ciśnienia gazu surowego w komorze baterii koksowniczej

W czasie prowadzenia procesu koksowania, emisja niezorganizowana surowego gazu koksowniczego do atmosfery powstaje głównie na drzwiach piecowych komór koksowniczych oraz na otworach technologicznych baterii (otwory zasypowe, rewizyjne, zamknięcia rur odciągowych). Wielkość tej emisji niezorganizowanej zależy od:

- zastosowanych rozwiązań technicznych (rodzaj uszczelnień drzwi i otworów technologicznych),
- sposobu prowadzenia procesu koksowania (rozkład ciśnień w komorach i odbieralniku),
- dokładności czyszczenia ram drzwi piecowych po zakończonym procesie koksowania.

Do praktycznego zastosowania wprowadzono szereg rozwiązań technicznych mających na celu obniżenie emisji niezorganizowanej, kierując uwagę na osiągnięcie jak największej szczelności komory koksowniczej. Rozwiązaniami tymi są: szereg proponowanych elastycznych uszczelnień drzwi piecowych oraz różne konstrukcje kanałów gazowych. Zastosowanie ich spowodowało zadawalające obniżenie emisji niezorganizowanej, zgodne w ówczesnymi wymogami ochrony środowiska.

Wprowadzenie w życie poniższych, nowych aktów prawnych i dokumentów:

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych IED (Industrial Emissions Directive) [8],
- Dokumenty Referencyjne Najlepszych Dostępnych Technik (BREF) dla produkcji żelaza i stali (Best Available Techniques – BAT) [9],
- Decyzja wykonawcza Komisji ustanawiająca konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) w odniesieniu do produkcji żelaza i stali [10],

spowodowało skierowanie zainteresowania na dalszą redukcję emisji niezorganizowanej z baterii koksowniczej poprzez indywidualną regulację ciśnienia gazu w komorze koksowniczej. Konkluzje BAT jednoznacznie wymuszają stosowanie takiej regulacji w koksowniach nowo budowanych jak i już eksploatowanych. W branży koksowniczej aktualnie oferowanych jest

komercyjnie kilka rozwiązań konstrukcyjnych umożliwiających obniżenie emisji niezorganizowanej z drzwi i otworów technologicznych za pomocą regulacji ciśnienia surowego gazu w komorze koksowniczej [6].

Są to następujące rozwiązania:

- System regulacji ciśnienia w komorze koksowniczej „PROven®” firmy Uhde GmbH (Niemcy)
- System regulacji ciśnienia w komorze koksowniczej „SOPRECO®” firmy Paul Wurth S.A. (1 i 2 generacja)

Obniżenie emisji niezorganizowanej zanieczyszczeń do atmosfery z drzwi piecowych i otworów technologicznych (stropowych), która powstaje głównie w pierwszej fazie procesu koksowania, można osiągnąć poprzez redukcję ciśnienia gazu surowego w odbieralniku baterii koksowniczej. Stosowane aktualnie rozwiązania konstrukcyjne uszczelnień drzwi piecowych dają zadawalające wyniki szczelności przy stosowaniu normalnych (technologicznie stosowanych) ciśnień gazu surowego w odbieralniku. Każde obniżenie tego ciśnienia może tylko dodatkowo odgraniczyć emisję niezorganizowaną. Jedynym problemem związanym z obniżeniem ciśnienia jest zabezpieczenie dolnej części komory koksowniczej (drzwi piecowych w pobliżu toku komory) przed zasysaniem powietrza do wewnątrz komory w końcowym okresie koksowania. Zasysanie powietrza do komór przez drzwi piecowe i nieuszczelnienia w obmurzach ścian może powodować uszkodzenia materiałów ceramicznych, którymi wyłożone są głowicowe strefy komór, bezużyteczne i szkodliwe ekologicznie spalanie koksu i gazu w komorze koksowniczej itd.

Do odpowiedniego kształtowania poziomu ciśnienia w komorze koksowniczej, a w szczególności w toku komory może posłużyć opracowany w wyniku realizacji Tematu Badawczego 3.2. Projektu „Inteligentna Koksownia” układ regulacji wyposażony w prototypowy Zawór Regulacyjno-Odcinający „ZaReO” przedstawiony na rys. 8 [11].

Ogólna zasada regulacji ciśnienia za pomocą systemu z Zaworem Regulacyjno-Odcinającym - ZaReO wynika z wykorzystania zaobserwowanej cyklicznej powtarzalności zmian ciśnienia gazu surowego w komorach koksowniczych w



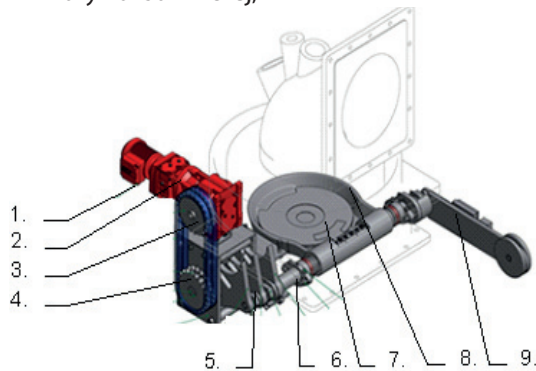
Literatura

1. „Koksownictwo”, Wydawnictwo „Śląsk”, 1986.
2. „Modelowanie pracy baterii koksowniczej i sterowanie jej eksploatacją” Pod red. L. Kosyrzyka, Wydawnictwo Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze, 2013r.
3. „Rukowocstwo po koksowaniu”, Izdatelstwo „Mietallurgia”, 1966.
4. „Przepisy techniczne eksploatacji koksowni”. Zjednoczenie Hutnictwa Żelaza i Stali, Katowice, 1973r.
5. Karcz A., „Koksownictwo”, Skrypty uczelniane, Wydawnictwo AGH, 1987
6. Fitko H., Lemanowicz M., Obniżenie emisji niezorganizowanej z baterii poprzez regulację ciśnienia gazu surowego w komorze koksowniczej, Karbo, 2011, nr 3, s. 204.
7. Fitko H. Leśniak B., „Pomiary ciśnienia surowego gazu w komorach koksowniczych” Karbo, 2013, nr 2, s. 154.
8. DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola, <http://ippc.mos.gov.pl/ippc/?id=5>, październik 2014.
9. Dokumenty Referencyjne Najlepszych Dostępnych Technik (BREFF) dla produkcji żelaza i stali (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production Bref 2012 – http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/IS_Adopted_03_2012.pdf, październik 2014.
10. DECYZJA WYKONAWCZA KOMISJI z dnia 28 lutego 2012 r. ustanawiająca konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT), <http://ippc.mos.gov.pl/ippc/?id=35>, październik 2014.
11. Fitko H., Chwoła T., Zawór regulacyjno-odcinający jako element systemu regulacji ciśnienia gazu surowego w komorach koksowniczych - ZaReO, Karbo, 2014, nr 3, s. 142

procesie koksowania węgla [11]. Poszczególnym fazom procesu koksowania odpowiadają odpowiednie ustawienia przesłon regulacyjnych zaworu „ZaReO” przedstawione na rys. 9.

Fazy cyklu koksowania:

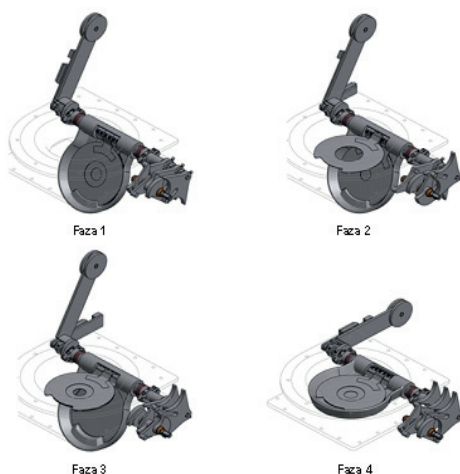
- Faza 1 - załadowanie komory koksowniczej wsadem węglowym,
- Faza 2 - suszenie wsadu węglowego,
- Faza 3 - koksowanie wsadu węglowego,
- Faza 4 - wypchnięcie gotowego koksu z komory koksowniczej,



Rys. 8. Elementy Zaworu Regulacyjno-Odcinającego (ZaReO):

1. silnik elektryczny, 2. przekładnia kątowa, 3. pierwotne koło łańcuchowe, 4. wtórne koło łańcuchowe, 5. potrójny mechanizm maltański, 6. wały napędowe, 7. przesłony regulacyjne, 8. talerz odcinający zaworu, 9. przeciwwagi

Przy obniżonym ciśnieniu gazu surowego w odbieralniku, przesłony regulacyjne utrzymują odpowiedni poziom ciśnienia w toku komory koksowniczej. Zastosowanie systemu regulacji ciśnienia wykorzystującego Zawór Regulacyjno-Odcinający powoduje także znaczne obniżenie ciśnienia w przestrzeni podsklepieniowej komory koksowniczej. Przekłada się to bezpośrednio na obniżenie emisji niezorganizowanej z tej części drzwi piecowych.



Rys. 9. Cztery położenia Zaworu Regulacyjno-Odcinającego

Podsumowanie

Poziom emisji niezorganizowanej z baterii koksowniczej ma powiązanie z jej szczelnością technologiczną. Szczelność baterii wynika z zastosowanych rozwiązań uszczelniających, z prawidłowości prowadzonych przez pracowników prac obsługowych oraz pośrednio z poziomami ciśnienia surowego gazu koksowniczego w komorze. Po wprowadzeniu nowych aktów prawnych dotyczących ochrony środowiska okazało się, że dotychczasowe technologie, konstrukcje i procedury stały się niewystarczające. Nowym preferowanym trendem w ograniczaniu emisji niezorganizowanej z baterii koksowniczej stała się indywidualna regulacja ciśnienia gazu w komorach.

Przeprowadzone testy przemysłowe Zaworu Regulacyjno-Odcinającego potwierdziły możliwość jego zastosowania w systemie regulacji ciśnienia gazu surowego w komorach koksowniczych. Konstrukcja Zaworu Regulacyjno-Odcinającego, która została oparta na elementach klasycznej skrzyni zaworowej, umożliwia jego zastosowanie do regulacji ciśnienia gazu surowego w bateriach nowobudowanych jak i już eksploatowanych.

W czasie przeprowadzania testów regulacji ciśnienia gazu surowego zaobserwowano znacznie niższy poziom emisji niezorganizowanej dla komór objętych regulacją w stosunku do pozostałych komór baterii koksowniczej. Osiągnięte w czasie regulacji za pomocą Zaworu Regulacyjno-Odcinającego, obniżenie ciśnienia gazu w odbieralniku, przestrzeni podsklepieniowej i toku komory ogranicza również poziom emisji zorganizowanej, która może powstawać w wyniku infiltracji gazu surowego z komór do ścian grzewczych.

ZAREO
PRESSURE CONTROL SYSTEM



Praca wykonywana w ramach projektu kluczowego nr POIG.01.01.02-24-017/08 „Inteligentna koksownia spełniająca wymagania najlepszej dostępnej techniki” dofinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego