

# Rozruch pieca przemysłowego na przykładzie baterii koksowniczej

Industrial furnace start-up on an example of a coke oven battery

Grzegorz Jakubina, Ludwik Kosyrzyk, Henryk Fitko, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla



## W KILKU SŁOWACH

Bazując na dostępnej literaturze i własnym doświadczeniu opisano, na przykładzie baterii koksowniczej, przebieg rozruchu pieca przemysłowego. Zwrócono uwagę na wymagania stojące przed zespołem rozruchowym oraz problemy konieczne do rozwiązania w czasie jego realizacji. W kolejnych punktach zawarto opis realizowanych prac w ramach rozruchu pieca oraz ogólną metodykę ich wykonania. Szczególną uwagę poświęcono sprawie rozgrzewania, jako najistotniejszemu z elementów rozruchu pieca. W tej części przedstawiono zasady tworzenia harmonogramu rozgrzewania dla pieców z wymurówką szamotową i krzemionkową oraz praktyczny sposób jego realizacji. W opisie prac rozruchowych zawarto również zestawienie wymaganych działań wykończeniowych i regulacyjnych dla osiągnięcia zakładanej zdolności produkcyjnej rozgrzewanego pieca.

## Wprowadzenie

Jednym z najistotniejszych etapów dużej części realizowanych inwestycji przemysłowych jest ich rozruch. W szczególnym stopniu dotyczy to wszelkiego rodzaju pieców przemysłowych, wymagających oprócz prób funkcjonalnych poszczególnych elementów jego wyposażenia (tak



## SUMMARY

Based on the available literature and own experience, the process of starting up an industrial furnace on the example of coke oven battery has been described. Attention has been paid to the requirements facing the starting-up team and the problems need to be solved during the start-up realization. The following sections describe the work carried out in the start-up of the furnace and the general methodology of its execution. Particular attention to the warming up, as the most important element of starting-up the furnace has been paid. In this section the principles for creating heating up schedule for chamotte and silica furnaces and the practical way of realization has been presented. The start-up description includes also a summary of the required finishing and regulatory actions to achieve the assumed productivity of the heating up furnace.

jak przy każdej innej typu inwestycji) przede wszystkim ustalenia sposobu suszenia i rozgrzania obmurza ceramicznego pieca do temperatury roboczej i skutecznego jego zrealizowania. Jak uczą doświadczenia (np.: te wyniesione z rozruchów baterii koksowniczej), to właśnie od prawidłowości prowadzenia rozruchu, w tym głównie rozgrzewania jego masywu ceramicz-

nego, najczęściej zależy nie tylko późniejsza wydajność i warunki eksploatacji pieca, ale również jego żywotność [1]. Ponadto to w czasie rozruchu ujawniają się wszystkie usterki projektowania i wykonawstwa, które powinny być usunięte lub dostosowane do zaistniałych warunków technologicznych czy budowlanych.

Całość prac tego etapu inwestycji, wymagającego wielokierunkowych i niestandardowych działań, można podzielić na następujące, często współistniejące, fazy:

- prace wstępne, polegające na koordynacji robót budowlano-montażowych związanych z uruchomieniem poszczególnych urządzeń i instalacji,
- rozruch mechaniczny, mający na celu sprawdzenie funkcjonalności i działania w nieprzerwanym ruchu poszczególnych elementów wyposażenia danego obiektu (ów),
- rozruch technologiczny, którego zadaniem jest określenie sprawności procesu technologicznego i uzyskania zakładanych jego wskaźników, a w przypadku rozruchu pieca również przeprowadzenie rozgrzewania jego wymurówki.

Każda z tych faz wymaga stosownego przygotowania, obejmującego m.in.:

- powołanie zespołu rozruchowego, rekrutowanego z fachowców eksploatatora lub firmy zajmującej się rozruchami, zaznajomionych z eksploatacją urządzeń podlegających rozruchowi i technologią ich uruchamiania,
- zapoznanie się ze stanem zaawansowania robót i warunkami ich terminowego ich zakończenia,
- opracowanie instrukcji techniczno-ruchowych,
- szkolenie personelu,
- opracowanie dokumentacji rozruchowej i zasad postępowania w sytuacjach awaryjnych.

Wymienione powyżej działania nie wymagają większego komentarza. Poniżej więc skoncentrowano się jedynie na opisie zakresu i sposobu prowadzenia prac w kolejnych fazach rozruchu pieca przemysłowego, opierając się o przykład baterii koksowniczej.

## Prace wstępne w czasie rozruchu pieca.

Zasadniczym zadaniem prac wstępnych rozruchu każdego pieca przemysłowego jest

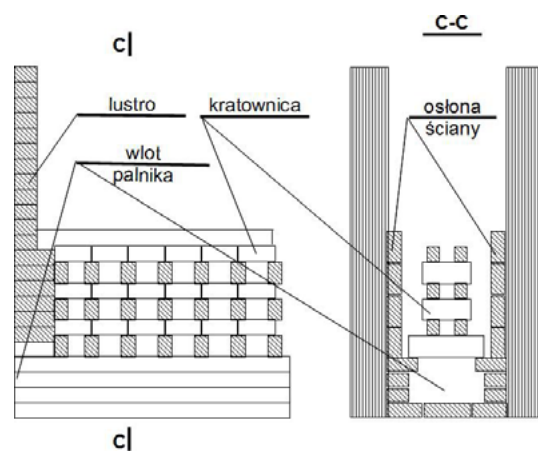
przygotowanie jego obmurza do procesu rozgrzewania. Należy w związku z tym w pierwszej kolejności ustalić i zapewnić zarówno sposób i miejsce dostarczania paliwa do jej rozgrzania, jak i miejsce i sposób odprowadzenia spalin.

Najczęściej pierwszy etap rozgrzewania pieców prowadzi się przy pomocy tymczasowych palników gazowych (względnie olejowych) montowanych w miejscu umożliwiającym uzyskanie wymaganego nagrzania jego poszczególnych stref, z równoczesną ochroną elementów wrażliwych na bezpośrednie działanie płomienia. Są to np.: palniki typu „świeczka” (przelotowa rura) lub typu „grzebień” (rura zaślepiona z bocznymi otworami co kilkanaście centymetrów), instalowane w ustalonych otworach użytkowych pieca takich jak wzierniki regeneratorów, z dala od wyłożenia krzemionkowego przy rozgrzewaniu wanny szklarskiej [2], czy wloty do komory koksowniczej przy osłoniętym prostkami szamotowymi ich krzemionkowym obmurzu [3]. W tym drugim przypadku wloty do komory zamurówuje się tymczasowo kształtkami szamotowymi tzw. „lustrem”, za którym umieszcza się ceramiczną kratownicę sprzyjającą rozbiciu płomienia, a tym samym rozprzestrzenieniu spalin na całej długości komory i dodatkowo osłanianiu obmurza krzemionkowego przed bezpośrednim działaniem płomienia (rys. 1 i 2). „Lustra” te wyburza się po rozgrzaniu ceramiki baterii koksowniczej, a komory zamyka się docelowymi drzwiami piecowymi. Ostatnio w Polsce, dla uproszczenia tych operacji, rozważa się umieszczenie tymczasowych palników rozpalowych w specjalnie wykonanych otworach w drzwiach piecowych, co jednak wymagałoby przyspieszenia niektórych prac rozruchowych, rozwiązania sposobu późniejszego zaślepienia otworu w drzwiach i zmiany dotychczas obowiązującej organizacji rozruchu.



Rys. 1 Widok tymczasowego palnika rozpalowego instalowanego w czasie rozgrzewania baterii koksowniczej na wlocie do komory





Rys. 2. „Lustro” zamykające tymczasowo wlot rozgrzewanej ceramiki komory koksowniczej z umieszczoną za nim ceramiczną kratownicą.

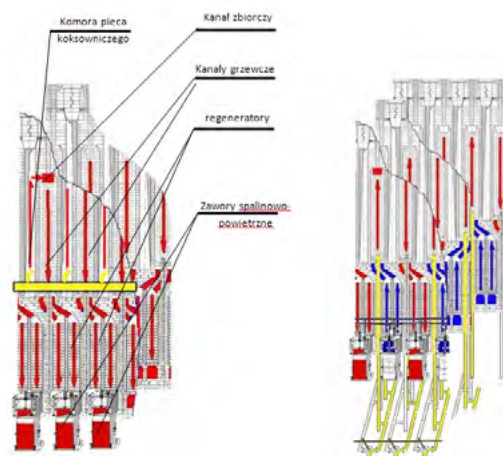
Rozgrzewanie za pomocą palników gazowych wymaga ponadto wykonania całości instalacji doprowadzającej gaz do palników. Z różnych względów, przynajmniej jeśli chodzi o baterię koksowniczą, najczęściej jest to również instalacja tymczasowa. Na instalacji tej winny być zamontowane zasuwy odcinające dopływ gazu oraz regulujące wysokość utrzymywanego ciśnienia oraz odpowiednio dobrane (dla warunków rozruchu) zwężki pomiarowe i króćce do pomiaru ciśnienia, a także odwadniacze do odprowadzania kondensatu, wyduszki i doprowadzenie pary dla wykonania operacji zagazowania rurociągów. Każdy z palników musi być wyposażony w kurek odcinający i odpowiednio dobraną do danego etapu rozgrzewania średnicę otworu diafragmy. Ostatnio, w celu usprawnienia ciągłej wymiany diafragm w miarę konieczności narastania strumienia podawanego do palnika gazu w przeciągu kolejnych etapów rozgrzewania pieca, jako element dławiący stosuje się przesuwną diafragmę z nawierconymi otworami o stopniowo zwiększających się średnicach. Wykorzystywane są też, w miejsce palników do rozgrzewania pieców, automatycznie sterowane piecyki, pozwalające na wtłaczanie do przestrzeni roboczej rozgrzanego pieca gorących spalin o dokładnie kontrolowanej temperaturze (rys.3.) [2, 4, 5].



Rys. 3. Rozgrzewanie baterii koksowniczej dwuproduktowej za pomocą automatycznie sterowanych palników gazowych [5].

Całość instalacji gazowej, niezależnie od przyjętych rozwiązań rozruchowych, należy poddać próbie ciśnieniowej, przy zamkniętych i otwartych (z założonymi w odpowiednich miejscach zaślepkami) kurkach odcinających, zgodnie z obowiązującymi przepisami [6], w oparciu o odpowiednie normy [7].

Odciąg spalin, ale też zaciąganie powietrza koniecznego do spalania gazu dostarczanego palnikiem rozpalowym, powinno być zbliżone do warunków eksploatacyjnych. Choć dla poszczególnych typów pieców realizacja tego celu może się nieco różnić, tym niemniej najczęściej spaliny odciągane są poprzez cały układ grzewczy do komina [2]. W przypadku baterii koksowniczej spaliny, w odróżnieniu od jej warunków eksploatacyjnych, przepływają więc przez celowo w tym celu wykonane tymczasowe otwory w obmurzu pieców koksowniczych do zbiorczego kanału usytuowanego nad kanałami grzewczymi, a stąd poprzez poszczególne kanały grzewcze do regeneratorów i zaworów spalinowo-powietrznych z tymczasowo zamkniętymi wlotami powietrza i otwartym przelotem do kolektorów spalin do komina (rys. 4).



Rys. 4. Organizacja odciążu spalin przy rozgrzewaniu baterii koksowniczej (po lewej stronie) i w warunkach eksploatacyjnych (po prawej stronie); żółtym kolorem oznaczono gaz, niebieskim powietrze, a czerwonym spaliny.

Dla zainicjowania odciążu spalin konieczne jednak jest wstępne rozgrzanie podstawy komina. W tym celu u jego podstawy, a nawet w kolektorach spalin, montuje się dodatkowe tymczasowe palniki, zapalane na kilka dni przed rozpoczęciem rozgrzewania baterii koksowniczej na okres przed rozgrzewaniem i w czasie pierwszych dni samego rozgrzewania baterii.

Bardzo istotnym elementem prac wstępnych przy rozruchu pieca jest ustalenie i zrealizowanie dostatecznego obciążenia jego okotwiczenia, wykluczającego możliwość rozejścia spoin mурowych i zdolnego do przejścia parcia rozszerzającego się masywu ceramicznego w czasie rozgrzewania [2]. Zakładaną funkcję obciążenia w większości pieców, w tym baterii koksowniczej, pełnią odpowiednio dobrane sprężyny montowane w słupach kotwicznych spiętych ściągnięciami. Sprężyny te, po analizie ich charakterystyk ugięcia, należy przed rozgrzewaniem pieca ścisnąć w słupie kotwicznym na ustaloną wartość. Poniżej na rysunku 5 przedstawiono przykładowo ustalone wartości obciążeń i odpowiadające im wymiary po zgnioście dobranych sprężyn dla słupów kotwicznych baterii koksowniczej.

GÓRA (tylko SM) $\Phi 45 - 130 \text{ kN}$	210 mm
F1 $\Phi 25 - 35 \text{ kN}$	148 mm
F2 $\Phi 25 - 35 \text{ kN}$	148 mm
F3 $\Phi 25 - 35 \text{ kN}$	148 mm
M2 $\Phi 25 - 15 \text{ kN}$	153 mm
D1 $\Phi 25 - 20 \text{ kN}$	150 mm
D2 $\Phi 25 - 15 \text{ kN}$	153 mm
D3 $\Phi 25 - 15 \text{ kN}$	153 mm
Dół $\Phi 45 - 150 \text{ kN}$	200 mm
Md $\Phi 25 - 15 \text{ kN}$	153 mm

Rys. 5. Przykład ustalonych wartości obciążeń i odpowiadających im wymiarów po zgnioście dobranych sprężyn dla przykładowych słupów kotwicznych baterii koksowniczej.

Ostatecznie w ramach prac wstępnych należy ustalić zakres i harmonogram wykonania prac niezbędnych do uruchomienia pieca. Nie wszystkie bowiem działania inwestycyjne muszą, a nawet mogą, być wykonane na etapie prac przedrozruchowych. W przypadku baterii koksowniczej niemożliwy przed rozgrzewaniem jest bowiem montaż drzwi piecowych w czasie jej rozgrzewania przy korzystaniu z tymczasowych „luster” ceramicznych murowanych u wlotu komory, oraz ostateczny rozruch mecha-

niczny maszyn piecowych, instalacji grzewczej i odbieralnikowej, których elementy współpracujące z rozgrzwanym masywem ceramicznym muszą być dostosowane do osiągniętych wymiarów po jego całkowitym rozszerzeniu, a więc osiągnięciu temperatur zbliżonych do warunków eksploatacyjnych. Na etapie przedrozruchowym niezbędny natomiast jest montaż i odbiór całości uzbrojenia (bez drzwi piecowych) i okotwiczenia baterii koksowniczej, elementów osprzętu grzewczego koniecznych dla przeprowadzenia rozgrzewania (zawory powietrzno-spalinowe, przewody gazowe doprowadzające gaz do instalacji rozpalowej) oraz zaślepionych podstaw rur odciążowych gazu surowego.

### Rozruch mechaniczny pieca

Rozruch mechaniczny instalacji (obiektów) rozpoczyna się po wykonaniu instalacji (obiektu) i przeprowadzeniu z wynikiem pozytywnym prób montażowych. Jego zasadniczym celem jest kontrola sprawności poszczególnych węzłów instalacji pod obciążeniem w nieprzerwanym kilkudziesięciogodzinnym ruchu i usunięcie ewentualnie zauważonych usterek będących wynikiem tej kontroli. W przypadku pieca, kontroli takiej winny być poddane urządzenia i instalacje na drodze załadunku i wyładunku wsadu oraz odbioru innych produktów realizowanego przez niego procesu technologicznego, a także obsługa różnego rodzaju układów i wyposażenia sterujących procesem technologicznym. Część z nich może być poddana rozruchowi mechanicznemu niezależnie od przebiegu zasadniczych prac rozruchowych (rozgrzewania). Przy rozruchu baterii koksowniczej należy tu m.in.: wymienić [8]:

- próby ruchowe silników (wraz z reduktorami) transporterów na drodze transportu węgla i koksu na biegu luzem i pod obciążeniem, dla ustalenia m.in.: kierunków obrotów i temperatury łożysk, a także regulacji luzowników,
- próby ruchowe mechanizmów stołu obrotowego, wraz z wdrażaniem programu sterowania urządzeń ciągu transportowego i próbą podawania węgla na wieżę węglową oraz kontrolą sygnalizacji jego poziomu,

- kontrola pracy zamknięć szczękowych wieży węglowej i urządzeń do zrywania zawisów w sterowaniu ręcznym i automatycznym,
- próby ruchowe wszystkich urządzeń sortowni na biegu luzem i pod obciążeniem, wraz z wdrażaniem programu ich sterowania,
- ocena pracy poszczególnych mechanizmów wsadnicy (wypycharki), wozu stropowego (zasypowego), przelotowego i gaśniczego w możliwym w danym momencie zakresie (regulacja napędów hydraulicznych, usuwanie wzajemnych kolizji oraz ewentualnych przecieków na siłownikach i silnikach hydraulicznych, próbna praca rozsprężlonych silników jazdy itp.),
- próby ciśnieniowe instalacji wodnych i parowych oraz próby ruchowe pomp je zasilających, wraz z wdrażaniem automatyki sterowania ich pracą,

Rozruch mechaniczny niektórych jednak węzłów pieca, w tym szczególnie węzłów baterii koksowniczej, warunkuje osiągnięty poziom zasadniczych prac rozruchowych (rozgrzewania).

W pierwszej kolejności dotyczy on docelowej instalacji gazu opałowego, koniecznej do zrealizowania końcowego etapu rozgrzewania na docelowych palnikach. Bezpośrednio po zakończeniu jej montażu, który ze względu na możliwe przesunięcia przewodów palnikowych umieszczonych w płycie dyszowej (najczęstszy typ baterii z dolnym doprowadzeniem gazu opałowego) w czasie rozgrzewania jest odsunięty w czasie, należy przeprowadzić stosowne próby szczelności i przystąpić do uruchomienia przestawnicy gazu. Przestawnica ta, mająca na celu okresową zmianę położenia kurków rewersyjnych, najpierw winna być uruchomiona w ruchu ręcznym, a następnie, po wyregulowaniu skoku cięgien i położenia kluczy na kurkach w każdej pozycji rewersji (rys. 6) oraz usytuowania wyłączników krańcowych, w kilkunastogodzinnym ruchu automatycznym.

Równocześnie w ten sam sposób winien być uruchomiony układ rewersyjny zaworów spalinowo-powietrznych. Przy uruchamianiu układu rewersyjnego zaworów spalinowo-powietrznych, oprócz kontroli pracy cięgien i regulacji usytuowania wyłączników krańcowych, należy ponadto po ustawieniu ich w układzie eksploatacyjnym (podłączeniu do układu rewersyjnego



Rys. 6. Widok podłączonych do docelowego kolektora gazu kurka rewersyjnego wraz z mechanizmem (kluczem) jego przestawiania.

go z otwartym przelotem powietrza i zamkniętym przelotem dla spalin na projektowej części z nich w danej rewersji) ujednoczyć w każdej rewersji uniesienie talerzy spalinowych i klap (talerzy) powietrznych.

W tym czasie należy również uruchomić i skontrolować działanie klap regulacyjnych na rurociągach stronowych gazu opałowego oraz sprawdzić i wyregulować poziomy przychodzących sygnałów do szaf AKP, poprawność układów elektrycznych szaf sterowniczych i ich współpracę ze sterownikiem głównym baterii [8].

Ostatecznie, w ramach prowadzonego rozruchu mechanicznego, należy:

- przeprowadzić próby tłoczenia wody do odbieralnika, wraz z regulacją natrysków zamknięć hydraulicznych i jej odpływu, a także kontrolą pracy skrzyń zaworowych, pokryw rur odciągowych i zaworów hydroinżekcji oraz cięgien obsługujących te elementy po ostatecznym zakończeniu montażu osprzętu odbieralnikowego,
- skontrolować działanie klap regulacyjnych na rurociągach gazu surowego oraz funkcjonalność ich sterowania w sterowaniu ręcznym i automatycznym,
- ocenić pracę maszyn piecowych w warunkach ruchowych, wraz z regulacją trolei, pozycjonowania, wysokości mocowania elementów współpracujących z masywem ceramicznym (poziomą drogą wypychowego, podłoga skrzyni naboowej, kosz wozu przelotowego itp.), sterowania, blokad i skoku funkcjonalnych mechanizmów (odźwierniki, czyszczaki, elementy sterujące zaworami itp.),
- przeprowadzić próby ubicia naboju wsado-

wych (bateria pracująca w technologii wsadu ubijanego), wraz z regulacją szerokości skrzyni naboowej, urządzeń dozujących i ubijarek, aż do uzyskania wymaganych wyników tak odnośnie stopnia ubicia, jak również geometrycznych wymiarów naboju.

### Rozruch technologiczny pieca.

Zasadniczym etapem rozruchu technologicznego pieca jest jego rozgrzewanie. Sposób jego przeprowadzenia, niezależnie od typu pieca i przyjętych rozwiązań, wymaga z jednej strony takiego usunięcia wilgoci z obmurza pieca aby szybkość jej dyfuzji i szybkość parowania były do siebie zbliżone (pierwszy etap rozgrzewania), z drugiej zaś strony takiego postępowania aby gradient temperatury w każdym punkcie rozgrzewanej ceramiki nie przewyższał jego bezpiecznego poziomu i nie powodował gwałtownych wzajemnych przemieszczeń zabudowanych kształtek [2]. Generalnie naprężenia powstające w rozgrzewanej wymurówce i ich skutki są tym mniejsze, im powolniejszy i bardziej równomierny jest przyrost ich temperatury. Z tego powodu tempo rozgrzewania (przyrostu temperatur rozgrzewanego masywu ceramicznego) pieca bywa znacznie ograniczone. Ogólnie obmurza z tworzyw o dużej rozszerzalności cieplnej, np.: z wyrobów zasadowych, należy rozgrzewać wolniej. Wolno i równomiernie należy też rozgrzewać obmurza grube i obmurza o dużej objętości przestrzeni roboczej. Przykładowe szybkości rozgrzewania pieców wypoływowych z wymurówką szamotową przedstawiono w tabelicy 1 [2]. Praktyczne szybkości nagrzewania mogą się jednak od nich różnić, w zależności od indywidualnych doświadczeń lub zaleceń producenta materiałów ogniotrwałych.

Szczególne warunki w zakresie rozgrzewania narzucają obmurza zbudowane z wyrobów krzemionkowych, w których, w określonych przedziałach temperaturowych, zachodzą przemiany polimorficzne  $SiO_2$  skutkujące znacznymi zmianami objętości. W takich przypadkach podstawowym wyznacznikiem dla ustalenia szybkości nagrzewania jest przyjęty dopuszczalny przyrost zmian objętościowych masywu ceramicznego w określonej jednostce czasu. Dla wymurówki baterii koksowniczej, ze wzglę-

Wymiary powierzchni trzonu pieca [m <sup>2</sup> ]	Wzrost temperatury [°C/h] w zakresie temperatur [°C]				Czas nagrzewania w zakresie temperatur 20-1200°C
	20-150	150-300	300-700	ponad 700	
4	8	18	35	180	40
15	6	12	22	130	56
35	4	9	15	110	80
60	3	7	12	80	102

Tablica 1. Zalecane szybkości nagrzewania pieców wypoływowych z wymurówką szamotową [2]

du na skomplikowaną konstrukcję oraz użyte do jego budowy materiały ogniotrwałe (krzemionkę), jego wartość przyjmuje się najczęściej na poziomie 0,03%/dobę [9]. Tym samym, dysponując wynikami badań laboratoryjnych zastosowanych do budowy masywu ceramicznego materiałów, można określić czas trwania poszczególnych faz rozgrzewania i dopuszczalny w nich przyrost temperatur. Równocześnie, przynajmniej w przypadku baterii koksowniczej, przy tworzeniu harmonogramu rozgrzewania trzeba uwzględnić rozkład temperatur na całej wysokości masywu. Wprawdzie, ze względów trwałości i szczelności wymurówki, należy ograniczyć do minimum różnicę rozszerzalności pomiędzy poszczególnymi strefami baterii (ściany, trzon, regeneratory), a więc i różnicę temperatur na wysokości masywu, to jednak jednocześnie, z tych samych względów, nie powinno się podnosić temperatur rozgrzewanej strefy masywu powyżej zakresu obowiązującego w czasie eksploatacji. Duże zróżnicowanie temperatur pomiędzy poszczególnymi strefami, szczególnie w początkowej fazie rozgrzewania, kiedy mamy do czynienia z największymi zmianami wymiarów rozgrzewanej wymurówki, prowadzi do rozrywania spoin w części chłodniejszej przez wymurówkę bardziej rozgrzaną, podniesienie zaś temperatury danej strefy powyżej zakresu obowiązującego w czasie eksploatacji skutkuje niekontrolowanym skurczem jej wymurówki i w konsekwencji również do rozerwania spoin [10]. Stąd planowany rozkład temperatur na wysokości masywu ceramicznego w czasie rozgrzewania jest pewnym kompromisem między tym co jest konieczne i tym co możliwe. W praktyce wysokość osiągniętych temperatur na trzonie i u spodu regeneratorów stanowi jedynie pewien procent osiągniętych temperatur w ścianach



grzewczych [11] – Tablica 2.

Zakres temperatur	Ściany grzewcze	Trzon	Spód regeneratorów
0-100	100 %	95 %	55 %
101-200	100 %	92,5 %	55 %
201-300	100 %	91 %	55 %
301-400	100 %	90 %	50 %
401-500	100 %	89 %	47 %
501-600	100 %	88%	43 %
601-700	100 %	87 %	40 %
701-800	100 %	86 %	36 %

Tablica 2. Procentowy rozkład temperatur w poszczególnych strefach masywu ceramicznego rozgrzewanej baterii koksowniczej do czasu włączenia normalnego opalania [11]

Realizacja tak opracowanego harmonogramu rozgrzewania wymaga stosownego postępowania technologicznego. W pierwszej fazie procesu rozgrzewania oprócz planowego wyrównania temperatur na całej wysokości masywu ceramicznego, najważniejsze jest sprawne odprowadzenie z wymurówki kilkaset ton wody zawartej w zaprawie i materiałach ogniotrwałych, tak aby nie dopuścić do jej kondensowania połączonego z rozmywaniem spoin [10]. Temperatura rosy mediów grzewczych zależy jednak głównie od współczynnika nadmiaru powietrza (Tablica 3), gdyż inne czynniki wpływające na stężenie pary wodnej w spalinach, jak skład chemiczny gazu opałowego i zawartość wilgoci w surowym murze, są wartościami stałymi. Jest ona tym wyższa im spalanie gazu bliższe do spalania stechiometrycznego [10]. Wypływający stąd generalny wniosek, dotyczący nie tylko baterii koksowniczej, jest taki, że w pierwszej fazie rozgrzewania, kiedy temperatura spalin ze względu na planowany przyrost temperatury masywu ceramicznego jest stosunkowo niska, konieczne jest spalanie gazu z możliwie wysokim nadmiarem powietrza. W praktyce osiągnięcie postawionego celu uzyskuje się poprzez ustawienie możliwie maksymalnych podciśnień w kolektorach spalin, przy jednoczesnym ograniczeniu do niezbędnego minimum ilości spalnego gazu opałowego, co gwarantuje zaciąganie do piecyków rozpałowych dostatecznych ilości powietrza dla uzyskania spalania gazu z maksymalnie wysokim nadmiarem powietrza

Wyszczególnienie	Współ. nadmiaru powietrza n				
	1,5	5,0	10,0	15,0	20,0
Objętość suchych spalin [m <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup> gazu koksowniczego]	5,8	20,4	41,3	62,1	83,0
Zawartość wilgoci [g/m <sup>3</sup> spalin]	160,6	49,9	27,6	20,2	16,5
Temperatura punktu rosy [°C]	56	36	26	21	18

Tablica 3. Wilgotność spalin i temperatura punktu rosy [10]

(powyżej 20) [11]. Dalsze rozgrzewanie masywu, powyżej 100°C, dla osiągnięcia wymaganego wzrostu temperatur

w rozgrzewanym masywie, jak i wymaganej ich różnicy na wysokości, wymaga stałego ograniczania współczynnika nadmiaru powietrza przy stale wzrastającym zużyciu gazu i nieznacznych ograniczeniach w odciągu spalin [10]. W dotychczasowej praktyce przyrost zużycia gazu osiąga się poprzez naprzemienne zwiększanie jego ciśnienia w kolektorach rozpałowych i wymianę zwężek (diafragm) regulacyjnych na palnikach, tzn.: najpierw dla danego wymiaru zwężki zwiększa się każdorazowo, poprzez uchylanie zasuw lub kłap regulacyjnych, ciśnienie gazu aż do granicy panującego ciśnienia w rurociągu głównym, a następnie zwiększa się wymiar zwężek i ponownie ustawia ciśnienie gazu na niższą wartość zabezpieczającą zadany jego przepływ [11].

Dla kontroli rozkładu temperatur w czasie rozgrzewania pieca najczęściej montuje się

w określonych jego partiach termopary. Na baterii koksowniczej jest to sieć pomiarowa złożona z kilkudziesięciu termopar (rys. 7), obejmująca co szóstą ścianę w wybranych 8 kanałach grzewczych, co drugą ścianę w 2 kanałach kontrolnych, przyległe do tych ścian regeneratory i kanały tokowe na poziomie rusztu [9]. Na podstawie uzyskiwanych wyników można wówczas na bieżąco reagować tak na przyrost temperatur średnich w całości masywu, jak i w poszczególnych jego punktach, poprzez zmiany w ilościach dozowanego gazu i podciśnień w układzie grzewczym. W przypadku baterii koksowniczej ponadto co 10 dni przeprowadza się pomiar temperatur wzdłuż wszystkich ścian grzewczych. Tutaj na wszelkie odchylenia temperatur reaguje się poprzez zmiany ułożenia wkładek regulacyjnych w poziomych kanałach rozpałowych poszczególnych ścian grzewczych. Działania te pozwalają, jak pokazuje praktyka

[9], nie tylko utrzymać założony przyrost temperatur masywu, ale przede wszystkim ograniczyć rozrzut temperatur w całości masywu ceramicznego podczas całego procesu rozgrzewania, do wartości 30-50K.



Rys. 7. Widok sieci pomiaru temperatur w kanałach grzewczych baterii koksowniczej w czasie jej rozgrzewania

Niezależnie od kontroli i regulacji przyrostów temperatur po każdorazowym przyroście średniej temperatury o 25K dla całej baterii kontrolowano rzeczywiste przyrosty liniowe masywu ceramicznego, aby w razie potrzeby odpowiednio regulować przyrosty temperatury. Wynikiem pomiaru rozszerzalności jest w dotychczasowej metodyce określania tego parametru zmiana odległości po obu stronach baterii masywu (trzon, spód regeneratora) lub uzbrojenia (ściany grzewcze) do rozciągniętych wzdłuż baterii drutów (rys. 8) w ciągu kolejnych pomiarów [11].



Rys. 8. Widok drutu pomiarowego do oceny rozszerzalności baterii koksowniczej

Ostatecznym etapem rozgrzewania pieca, przynajmniej w przypadku baterii koksowniczej, jest tzw. przejście na opalanie stałe. Przełączenie opalania rozpoczyna się od wygaszenia palników rozpałowych. Po ich wygaszeniu zamyka się zasuwę w kolektorach spalin po obu stronach baterii, demontuje rurki palnikowe, a otwory do palenisk rozpałowych szczelnie się zamyka.

Po przygotowaniu rurociągów rozpałowych

przystępuje się do zagazowania stałych rurociągów gazowych. W czasie ich zagazowania, tak kurki odcinające, jak też kurki przestawcze muszą być zamknięte. Po napełnieniu rurociągów gazem i ustaleniu w nich ciśnienia na stałym poziomie przystępuje się do podania gazu do poszczególnych ścian grzewczych. W tym celu ustawia się ręcznie kurki rewersyjne w jedno ze skrajnych położen, otwiera zasuwę w kolektorach spalin, usuwa ewentualne zaślepki na otworach powietrznych zaworów spalino-powietrznych i otwiera kolejno kurki odcinające pod otwartymi już kurkami rewersyjnymi. Równocześnie na stropie baterii sprawdza się zapalenie gazu w kanałach grzewczych do których został on w danym momencie podany, w celu natychmiastowego wydania decyzji o zamknięciu kurka odcinającego na ścianach gdzie gaz z jakiegokolwiek powodu się nie zapalił. Ustalenie przyczyny takiego stanu rzeczy i usunięcie ewentualnej usterki odkłada się do czasu podania gazu do wszystkich ścian w obu rewersjach. Po zakończeniu podawania gazu na pierwszej rewersji przestawia się kurki rewersyjne w drugie skrajne położenie i w analogiczny sposób kończy się cała operacja zmiany opalania, a maszynę rewersyjną włącza się na pracę automatyczną [11].

Teoretycznie możliwy do osiągnięcia czas od chwili przejścia na normalne opalanie, do chwili osiągnięcia temperatury bloku ceramicznego ok. 1200°C, w której można przystąpić do obsadzania baterii, wynosi 5-7 dni, a wynika on nie tyle z ograniczeń możliwości wzrostu temperatury i potrzeby wyrównania naprężeń termicznych w zabudowanych materiałach, co z ilości prac porzpałowych, które należy wykonać.

Przyrosty temperatury po przejściu na normalne opalanie uzyskuje się głównie poprzez regulację ciśnień w kolektorach gazu. Ostatnimi czasu wprowadzono jeszcze jedną możliwość regulacji przyrostu temperatur w czasie normalnej eksploatacji układu grzewczego. Jest to stała, w zależności od planowanego i uzyskiwanego przyrostu temperatur w kontrolnych kanałach ścian grzewczych, przerwa w opalaniu w każdym cyklu rewersyjnym przy utrzymaniu stałych ciśnień gazu.

Po zakończeniu prac porzpałowych (takich m.in.: jak rozruch mechaniczny osprzętu

Literatura:

1. A.Karcz i inni: „Monitoring stanu technicznego i technologicznego baterii koksowniczych oraz wynikające z niego działania profilaktyczne i remontowe”, IChPW, Zabrze 2012.
2. J.Piech: „Piece ceramiczne i szklarskie”, AGH, Kraków 2001.
3. A.Szpilewicz: „Budowa koksowni”, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1965.
4. M. Farrenkopf: „Koks – Die Geschichte eines Wertstoffes”, Die Deutsche Bergbau-Museum, Bochum 2003.
5. www.hotwork.com, maj 2017
6. Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 30 lipca 2001 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać sieci gazowe (Dziennik Ustaw nr 97).
7. PN-92/M-34503.
8. „Sprawozdanie z przebiegu rozruchu baterii wielkokomorowej nr 1 Huta im. T.Sendzimira”, Kraków 1999, materiały niepublikowane.
9. L.Koszyrzyk, Z.Figiel: „Rozgrzewanie masywu ceramicznego baterii koksowniczej WK-1 w Hucie im.T.Sendzimira w Krakowie”, Karbo 1999, t.44, nr 8-9, s.280-284.
10. K.I.Lgalov, G.S.Halabazar, S.I.Kaftan: „Pusk koksovnyh pečej”, Gosudarstvennoe Naučno-tehničeskoe izdatel'stvo literatury po černoj i cvetnoj metallurgii, Charków 1954
11. „Instrukcja rozgrzewania masywu ceramicznego baterii nr 5”, IChPW (praca niepublikowana), (2006).
12. „Sprawozdanie z regulacji baterii nr 11 w Zakładach Koksowniczych Dziedzowice”, Zabrze 2006, materiały niepublikowane.



odbieralnikowego i maszyn piecowych), usunięciu wszelkich zauważonych usterek i osiągnięciu temperatur obmurza umożliwiających rozpoczęcie normalnej eksploatacji pieca przystępuje się do załadunku wsadu. Ten pierwszy załadunek, podobnie jak cały rozruch, musi się odbywać według ściśle przyjętych konwencji, gwarantujących bezpieczne i bezawaryjne uruchomienie produkcji.

W przypadku np.: baterii koksowniczej konieczne jest obsadzenie wsadem ich poszczególnych pieców w kolejności umożliwiającej jak najszybsze zagazowanie odbieralnika gazu surowego na całej jego długości. Ponadto samo włączenie najpierw obsadzonych pieców, a później odbieralnika do zakładowego systemu odbioru produkowanego gazu surowego następuje dopiero po obsadzeniu przynajmniej 8-12 pieców (gwarantuje to uzyskanie ilości produkowanego gazu surowego niezbędnej do zagazowania całości instalacji odbieralnikowej). W czasie tego pierwszego obsadzania istotnym zadaniem rozruchu jest utrzymanie wymaganych parametrów opalania poszczególnych pieców baterii, mając na uwadze zróżnicowany wówczas na nich pobór ciepła.

Wstępna eksploatacja baterii koksowniczej na znacznie wydłużonych czasach koksowania (średni poziom produkcji 50-60%), prowadzona przez okres kilku dni, jest okazją do unormowania wszystkich warunków jej pracy, usunięcia wszystkich niedomagań oraz niedociągnięć w pracy maszyn i osprzętów baterii oraz całkowitego opanowania technologii jej eksploatacji. Dopiero wówczas przystępuje się do stopniowego zwiększania jej mocy produkcyjnej.

Na każdym etapie uzyskanego poziomu produkcji, w pierwszym rzędzie ustalany jest

zakres obowiązujących temperatur i ciśnień, a następnie drogą kolejnych prób ich weryfikacja, na bieżąco, przyjętych założeń. Odbywa się to w oparciu zarówno o założenia projektowe i teoretyczne obliczenia układu hydrauliczno-temperaturowego, jak i wyniki rzeczywiście uzyskiwanych parametrów eksploatacyjnych (takich jak np.: Indeks Koksowania, uzyskiwana temperatura w osi wsadu węglowego pod koniec okresu koksowania, rozkład temperatur wzdłuż warstwy przyściennej wypychanego koks, stężenia tlenu i zanieczyszczeń w produktach spalania itp.). Niezależnie od powyższego, istotnego z punktu widzenia całości obiektu, prowadzone są prace normujące układ opalania poszczególnych ścian, drogą doboru przy należnych im elementów regulacyjnych, takich jak diafragmy ograniczające przepływ gazu do poszczególnych ścian grzewczych przy zadanej wysokości ciśnień na rurociągach gazu opałowego, dysz ograniczających przepływ gazu do poszczególnych palników danej ściany, umożliwiające uzyskanie wyrównania temperatur na całej ich długości, ustawienia przepustnic na zaworach spalinowo-powietrznych, warunkujących uzyskanie wymaganego rozkładu ciśnień w poszczególnych ciągach grzewczych i spalanie w nich gazu opałowego z minimalnie możliwym współczynnikiem nadmiaru powietrza [12]. Końcowym etapem tych prac dla wszystkich rodzajów pieców jest ustalenie granicznych poziomów produkcji obowiązujących dla nich warunków opalania, instrukcji technologicznych ich obsługi, postępowania w przypadku przerw w dopływie paliwa, energii elektrycznej lub awarii osprzętu, bieżącej konserwacji i monitorowania jego stanu techniczno-technologicznego.