

Rudolf ŻAMOJDO

Kazimierz RZEPA

Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów
Politechniki Wrocławskiej

Śławomir KRYSZEK

Wschodni Okręg Energetyczny - Radom

WARUNKI PRACY PRZEGRZEWACZY MIĘDZYSTOPNIOWYCH W KOTŁACH EP-650

Streszczenie. Omówiono, potwierdzone wcześniejszymi pomiarami, spostrzeżenia eksploatacyjne użytkownika kotła o przekraczaniu temperatur dopuszczalnych i przedwczesnym zużyciu się części rur przegrzewacza grodziowego pary międzystopniowej, a także doraźne przedsięwzięcia mające na celu niedopuszczenie do zmniejszenia dyspozycyjności kotła. Z racji konieczności prowadzenia modernizacji przegrzewacza i potrzeby ustalenia przyczyn występowania istniejących trudności, przedstawiono program badań, a następnie wyniki wstępnych pomiarów profilu prędkości i rozkładu temperatury spalin w kanale. Podano również rozkład temperatury pary na wylocie z węzłowic w wytypowanych do pomiaru grodziach.

1. Wstęp

Prawie 5-letnia praktyka eksploatacyjna importowanych i zainstalowanych w Elektrowni Połaniec kotłów EP-650 pozwala przeprowadzić stosunkowo wnikliwą ocenę kotłów tak pod względem konstrukcyjnym, jak również eksploatacyjnym. Jednak ze względu na podjęty w referacie problem, ograniczymy się do ogólnego stwierdzenia, że kotły nie nastroją większych trudności ruchowych, mimo, że jakość spalnego paliwa pogarsza się permanentnie, a różnica wartości opałowej w stosunku do paliwa gwarantowanego sięga 3000÷4500 kJ/kg. Zmiany jakości paliwa oddziałują w znacznym stopniu na pracę kotła i powodują łagodzenie jednych, a narastanie innych problemów. Zamierzeniem naszym jest przedstawić problem, jaki występuje we wszystkich zainstalowanych kotłach, niezależnie od zmian jakości spalnego paliwa, a dotyczący nadmiernego wzrostu temperatury metalu części rur przegrzewacza grodziowego pary międzystopniowej po stronie lewej kotła. O istocie problemu świadczy fakt, iż w obawie przed ewentualnym rozerwaniem rur, w czasie okresowych przeglądów, służby remontowe elektrowni zaślepiają lub wycinają skrajne rury, w których zjawisko zendrowania, spowodowane przekroczeniem temperatur dopuszczalnych metalu, doprowadziło do nadmiernych ubytków grubości ścianek rur.

2. Konstrukcja i lokalizacja przegrzewacza międzystopniowego w kotle

Przegrzewanie pary międzystopniowej następuje w podzielonym na trzy stopnie przegrzewaczu, umieszczonym w kanale międzyciągu, bezpośrednio za

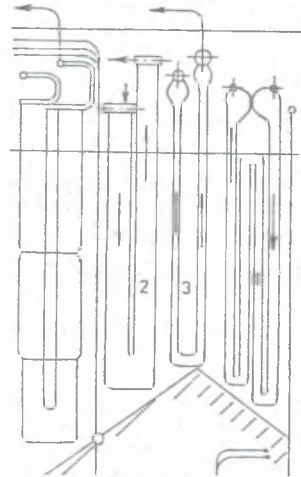
przegrzewaczami grodziowymi pary świeżej (rys.1). Jak widać z rysunku, przepływające spaliny omijają poszczególne stopnie przegrzewacza w następującej kolejności:

- grodziowy (II|stopień)
- konwekcyjny (III|stopień - wylotowy)
- konwekcyjny (I-szy stopień - wlotowy)

W układzie zaś przepływu pary przez poszczególne stopnie przegrzewaczy przewidziano podział pary na dwa równoległe strumienie i jedno ich skrzyżowanie.

Przerzut pary na drugą stronę kotła następuje za II-gim stopniem przegrzewacza, gdzie jest również zainstalowany schładzacz wtryskowy.

Wielkości konstrukcyjne, a także dane obliczeniowe dla poszczególnych stopni dla warunków projektowych podaje, wg [1], tablica 1.



Rys.1. Lokalizacja przegrzewacza w kotle

Fig.1. Location of the reheater in the steam boiler

Tablica 1

Lp.	Wyszczególnienie	Wymiar	S t o p i e ń		
			I	II	III
1.	Materiał	-	12H1MF	12H1MF	12H1MF
2.	Średnica rur	mm	50 x 4	50 x 4	50 x 5
3.	Powierzchnia ogrzewalna	m ²	3370	1010	1640
4.	Podziałka poprzeczna	mm	138	552	138
5.	Podziałka wzdłużna	mm	80	55	80
6.	Temperatura spalin:				
	- przed przegrzewaczem	°C	732	863	804
	- za przegrzewaczem	°C	590	806	734
7.	Temperatura pary:				
	- wlot	°C	328	454	479
	- wylot	°C	454	506	540

3. Uwagi eksploatacyjne i wyniki pierwszych pomiarów

Już w początkowym okresie eksploatacji kotła stwierdzono, że mimo dotrzymania parametrów pary świeżej i międzystopniowej na wylocie z kotła, za II stopniem przegrzewacza pary międzystopniowej, pomiędzy stroną lewą a prawą kotła, występują - w stosunku do wielkości projektowych - różnice w wielkości temperatury pary. Sugestia, iż różnice te mogą być spowodowane asymetrią obciążenia wentylatorów spalin lub nierównomiernym stopniem otwarcia klap przed podgrzewaczami powietrza po obu stronach

kotła i podjęte w tym kierunku próby większego obciążenia wentylatora spalin po stronie prawej kotła, nie przyniosły pożądanych rezultatów. Efektem tych zabiegów było zróżnicowanie temperatury gorącego powietrza i spalin odlotowych bez istotnych zmian w rozkładzie temperatury pary za przegrzewaczem grodziowym.

Przeprowadzone, przy obciążeniu znamionowym bloku - 200 MW, lecz niepełnej regeneracji wysokoprężnej, pomiary kotła Nr 1, potwierdziły spostrzeżenia eksploatacyjne, a ponadto ujawniły znaczne zróżnicowanie temperatury metalu poszczególnych rur w grodziach, a także pomiędzy grodziami [2]. Mimo stosunkowo skromnej ilości wyników pomiarów, autorzy opracowania stwierdzili, iż w przegrzewaczu grodziowym występuje "przekroczenie dopuszczalnych temperatur metalu i pary o rząd 20 K". Jedną z przyczyn tych nieprawidłowości był większy - w stosunku do wartości projektowych - przyrost temperatury pary na stopniu poprzednim /wlotowym/.

4. Koncepcja modernizacji przegrzewacza

Troska o trwałość przegrzewaczy i potwierdzone wynikami pomiarów nieprawidłowości w zakresie temperatury metalu przegrzewacza grodziowego, skłoniły elektrownię do podjęcia prac nad opracowaniem koncepcji modernizacji przegrzewaczy, a także wyjaśnienia przyczyn występowania tych rozbieżności. Jednak ze względu na zaistniałe obawy obniżenia dyspozycyjności bloków, spowodowanej przedwczesnym zużyciem się części rur przegrzewacza, zdecydowano przedsięwziąć kroki, zmierzające w pierwszym rzędzie do wyeliminowania skutków zaistniałych nieprawidłowości. W tym celu zlecono Instytutowi Energetyki opracowanie [3] koncepcji zmian doraźnych, a także przedłożenie propozycji docelowej, którą będzie można realizować w czasie remontów kapitalnych.

Sporządzone, na podstawie dostarczonych przez służby eksploatacyjne elektrowni wyników pomiaru temperatury metalu na wylocie z węzownic przegrzewacza grodziowego, obliczenia rozpięć i maksymalnej temperatury ścianki ogrzewanej części przegrzewacza wykazały, że kryterialną węzownicą do oceny trwałości przegrzewacza jest pierwsza, licząc od kierunku przepływu spalin, węzownica obwiedniowa. We wnioskach wskazano, że w rozwiązaniu doraźnym można, bez uszczerbku dla parametrów pary międzystopniowej, usunąć bądź zaślepić węzownicę skrajną. Sugestia ta - jak powiedziano na wstępie - jest obecnie realizowana przez elektrownię. Rozwiązanie zaś docelowe przewiduje wyrównanie rozpięć przez zmianę sposobu do- i odprowadzenia pary lub skrócenie długości węzownic zewnętrznych.

5. Zamierzenia i kierunki prac badawczych

Uwzględniając fakt, że wyniki obliczeń teoretycznych maksymalnej temperatury metalu rur odnoszą się do warunków występujących na wylocie z przegrzewacza, a zjawisko zendrowania występuje głównie w jego części środkowej /dolna część rur/ oraz w mniejszym stopniu w części wlotowej, należy wnioskować, że przyjęte w opracowaniu [3] współczynniki nierównomierności

rozpływów, a także obciążenia cieplnego są znacznie mniejsze niż w rzeczywistości. Oznacza to, że wszelkie propozycje zmian konstrukcyjnych mogą jedynie łagodzić, a niekoniecznie eliminować występujące obecnie nieprawidłowości.

Wykorzystując dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne, rezultaty pomiarów i opracowań [2], [3], [4], Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej przedstawił i realizuje program badań: etap I:

- pomiary temperatury metalu /w strefie pozaogniowej/ wybranych węzownic w wytypowanych grodziach,
- wyznaczenie profilu prędkości i rozkładu temperatury spalin w przekroju poprzecznym kanału,

etap II:

- pomiar ilości i parametrów pary międzystopniowej dopływającej do obu części przegrzewacza /strona lewa i prawa kotła/.

Program ten, jak łatwo zauważyć, zmierza do ustalenia przyczyn przedwczesnego zużycia się materiału rur części węzownic w grodziach po stronie lewej kotła. W zależności od uzyskanych wyników w I i II etapie, program badań może być rozszerzony o zakres prac, obejmujący badania rozpływów pary do poszczególnych grodzi, a nawet wybranych węzownic.

Prowadzenie tego typu badań wymaga ze strony elektrowni zapewnienia stosunkowo stabilnej pracy kotła, ograniczenia zakłóceń przypadkowych, a także wyposażenia kotła w dodatkową ilość punktów pomiarowych. Z tych też względów jako najdogodniejszy do pomiarów uznano kocioł Nr 2.

6. Pomiary wstępne

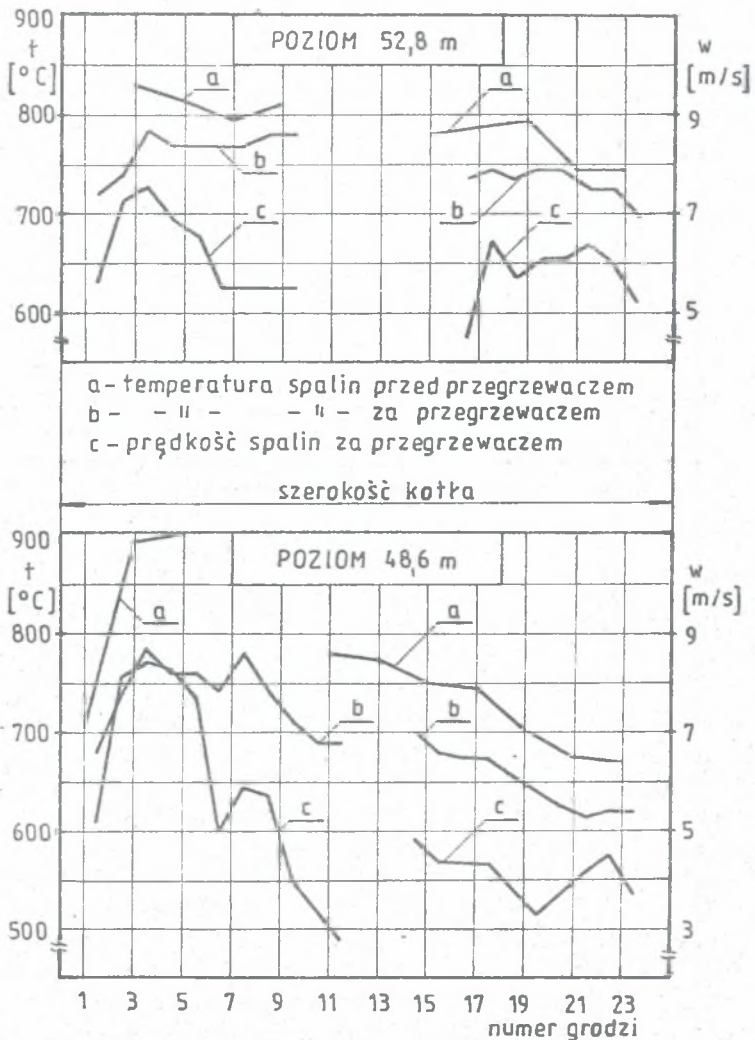
Wstępne pomiary, związane z realizacją I etapu badań, przeprowadzono w czerwcu 1985. Ich celem było ogólne rozpoznanie istoty zagadnień objętych tym etapem prac, tzn. oszacowanie różnic w intensywności wymiany ciepła od spalin do powierzchni przegrzewacza oraz ustalenie różnic temperatury pomiędzy węzownicami intensywnie chłodzonymi, a węzownicami obwiedniowymi /skrajnymi/.

Z uwagi na ograniczony czas postoju kotła zdecydowano, iż wstępne pomiary profilu prędkości i rozkładu temperatury spalin w kanale będą wyznaczane tylko w dwóch przekrojach: na poziomie 48,6 i 52,8 m, tj. w miejscach istniejących wzierników. Na tych poziomach zainstalowano, przepuszczone przez strop kotła, 24 termopary NiCr-Ni, służące do pomiaru temperatury spalin przed nieparzystymi - licząc od strony lewej kotła - grodziami. Temperaturę spalin za przegrzewaczem mierzono termoparą, przymocowaną do wsuwanej do wnętrza kanału spalin sondy, służącej jednocześnie do pomiaru ciśnienia dynamicznego spalin. Przymocowana do rur przegrzewacza odpowiedniej konstrukcji rama, ułatwiała przesuwanie sondy, utrzymanie jej właściwego położenia, a także zapobiegała przeginianiu się sondy. Temperaturę pary ustalano na podstawie pomiaru temperatury metalu w strefie pozaogniowej, a rozmieszczenie punktów pomiarowych /28 termopar

NiCr-Ni/ wykonano zgodnie z sugestiami Działu Ruchu Elektrowni. Po uruchomieniu kotła z 24 termopar, mierzących temperaturę spalin przed przegrzewaczem, 6 było niesprawnych, natomiast przy pomiarze temperatury metalu błędne wskazania pokazywało 5 termopar.

7. Ocena wyników

Z uwagi na znaczne wahania wydajności kotła, spośród dużej ilości wyników, na rys.2 przedstawiono porównywalny rozkład temperatury i prędkości



Rys.2. Profil prędkości i rozkład temperatury spalin w kanale przegrzewacza

Fig.2. Velocity profile and burnt gas temperature distribution in the channel of the reheater

spalin przy wydajności kotła odpowiadającej mocy bloku 187+190 MW. Chociaż - z założenia - uzyskane rezultaty nie dostarczają bezpośredniej odpowiedzi na postawiony problem, to jednak stanowią dostateczną podstawę do oceny wpływu intensywności wymiany ciepła od spalin do powierzchni przegrzewacza na kształtowanie się temperatury metalu rur w strefie ogniowej. Jak widać z rys.2, rozkład temperatury spalin w przekroju poprzecznym kanału ma charakter zróżnicowany i wyższe temperatury występują po stronie lewej kotła, szczególnie zaś w obrębie grodzi 2 + 8 na poziomie 48,6 m, a więc w tym zakresie przegrzewacza, w którym obserwuje się intensywny proces przedwczesnego zużycia się materiału rur.

Średnie temperatury spalin przed i za przegrzewaczem wynoszą 773 i 719 °C i są mniejsze od wartości obliczeniowych [1], określonych drogą interpolacji /temperatura spalin przed przegrzewaczem - 825 °C; za przegrzewaczem - 770 °C; średnia prędkość spalin - 4,5 m/s/. Maksymalny zaś rozrzut temperatury spalin przed przegrzewaczem wynosi: 903 + 671 °C, a w odniesieniu do warunków panujących za przegrzewaczem odpowiednio 786 + 697 °C.

Zróżnicowany jest także profil prędkości spalin /rys.2/ na wylocie z powierzchni przegrzewacza. Średnia prędkość spalin na poziomie 48,6 m wynosi 5,0 m/s i jest o 1 m/s mniejsza niż na poziomie 52,8 m. Średnia zaś prędkość w całym przekroju wynosi 5,47 m/s i jest większa od średniej obliczeniowej - 4,5 m/s. Największe prędkości spalin /ca 8,4 m/s/ występują w tych samych obszarach przekroju poprzecznego kanału, co maksymalne temperatury spalin. Oznacza to, że grodzie 2 + 8, ze względu na większy napór temperatury i intensywniejszą wymianę ciepła, znajdują się w strefie większych obciążeń cieplnych. Z porównania średniej prędkości spalin, ustalonej na drodze pomiarów, z wartością obliczeniową wynika, że współczynnik omywania powierzchni ogrzewalnej całego przegrzewacza wynosi 0,8.

Nierównomierność obciążenia cieplnego przegrzewacza, a także ewentualne różnice w ilości pary przepływającej przez część lewą i prawą kotła sprawiają, że przy mocy bloku 200 MW przyrost temperatury pary po stronie lewej i prawej kotła różni się od wartości obliczeniowej - 52 K i wynosi: strona lewa - 44 K, prawa - 37 K. Pomimo mniejszego przyrostu temperatury pary w przegrzewaczu grodziowym po stronie lewej kotła, na wylocie z przegrzewacza grodziowego temperatura pary przekracza o około 4 + 6 K wartość obliczeniową - 500 °C. Stan taki jest konsekwencją oddziaływania stopnia wlotowego. Po stronie zaś prawej kotła, ze względu na niższą od obliczeniowej temperaturę pary za stopniem wlotowym /wartość obliczeniowa - 448 °C, rzeczywista - 436 °C/, a także mniejszy przyrost temperatury pary w przegrzewaczu grodziowym, na jego wylocie utrzymuje się temperatura 473 °C, tj. niższa od obliczeniowej o 25 K. Po skrzyżowaniu strumieni pary, różnice te praktycznie niwelują się.

Odzwierciedleniem warunków pracy węzownic przy mocy bloku 200 MW są wyniki pomiarów temperatury metalu na wylocie z przegrzewacza, zamieszczone w tablicy 2.

Tablica 2

Nr rurki	Nr grodzi	2	3	4	5	6	21	23
13 - wlot		460 /483/	460 /483/	- -	460 /483/	460 /483/	436 /453/	436 /453/
13 - wylot		499 /528/	- -	511 /536/	- -	505 /528/	467 /487/	467 /487/
3 - wylot		535 /565/	542 /570/	542 /570/	548 /570/	542 /563/	483 /504/	483 /499/
2 - wylot		542 /572/	- -	554 /579/	- -	554 /581/	504 /523/	504 /509/

Uwaga: Wartości podane w nawiasach dotyczą przypadku zakłócenia sygnalizowanego "wysoka temperatura pary świeżej i międzystopniowej"; moc bloku - 181 MW.

8. Uwagi końcowe

Przeprowadzone w ramach etapu I badania profilu prędkości i rozkładu temperatury spalin w kanale przegrzewacza grodziowego potwierdziły spostrzeżenia obsługi kotła, iż najbardziej narażonymi na uszkodzenia węzownicami są węzownice obwiedniowe grodzi 2 ÷ 8. W zakresie tych grodzi, na poziomie 48,6 m, stwierdzono najwyższe temperatury i prędkości spalin. Symetria kanałów odprowadzających spaliny, stan techniczny wentylatorów ciągu i podmuchu, wykluczają praktycznie zakłócenia przypadkowe i wskazują, że różnice te mogą być konsekwencją oddziaływania paleniska /niewłaściwe ustawienie jądra płomienia, wydłużenie drogi spalania po stronie lewej kotła/.

Konieczność wyjaśnienia przyczyn tego niepożądanego zjawiska wymaga prowadzenia dalszych badań ze szczególnym uwzględnieniem oddziaływania pracujących palników, a także ustawienia jądra płomienia.

Obliczenia szacunkowe wskazują, iż przy obliczonym teoretycznie rozplywie pary do poszczególnych węzownic [3] i przy tak zróżnicowanym profilu prędkości i rozkładzie temperatury spalin, jaki stwierdzono w czasie pomiarów, nie powinno występować zjawisko przedwczesnego zużycia się materiału rur. Fakt jego występowania skłania do wniosku, że decydującym czynnikiem zaistniałych trudności w pracy przegrzewacza międzystopniowego jest nierównomierność rozplywu pary do poszczególnych grodzi i rur. Zagadnienia te będą przedmiotem badań w następnych etapach realizacji programu ustalenia przyczyn przedwczesnego zużycia się części węzownic po stronie lewej kotła.

LITERATURA

- [1] Teplovoy rascet kotla - dokumentacja dostawcy kotła.
- [2] Habryka A., Moskal St.J., Nocoń J. - Sprawozdanie Nr 241/80 z pomiaru cyrkulacji czynnika w parowniku, temperatur metalu części ciśnieniowej oraz wstępna ocena cieplnych warunków pracy. Praca Energopomiaru, Gliwice 1980 r.
- [3] Charzyński Wł., Cwynar L., Florkiewicz R., Wronowski B. - Ocena i koncepcja modernizacji 2 przegrzewacza i węża schładzacza pary wtórnej kotłów EP-650-137 w El.Połaniec. Praca Instytutu Energetyki, Warszawa 1981.
- [4] Rodak T. - Ocena stanu rur pobranych z kotła Nr 2 z Elektrowni Połaniec, Radom 1984.

УСЛОВИЯ РАБОТЫ ВТОРИЧНЫХ ПРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ В КОТЛАХ ЕП-650

Р е з ю м е

Проведенные в 1980 г. испытания показали, что в ширмовом вторичном перегревателе пара с левой стороны котла выступает превышение допустимой температуры металла. Многолетние эксплуатационные исследования доказывают, что явление это не случайно, ибо происходит во всех смонтированных котлах. В результате превышения допустимой температуры металла, имеет место преждевременный износ крайних змеевиков. Высекание или заглушка поврежденных труб способствуют увеличению эксплуатационного срока котла, однако не устраняют существующих трудностей. Целью выяснить причины этих трудностей представлено программу исследований, а также результаты первых испытаний, которые выявили, что наибольшие скорости и температуры газов находятся в нижней части канала с левой стороны котла, т.е. в том месте перегревателя, где выступает сильный процесс преждевременного износа металла. Вступительная оценка проблемы разрешает судить, что столь большая разность температуры и скорости в газовом канале перегревателя является следствием воздействия топочной камеры. Воздействие это существенным образом влияет на локальное значение тепловой нагрузки, но не является главной причиной возникших трудностей. Большое значение имеет неравномерное разделение пара в отдельных трубах и ширмах.

OPERATING CONDITIONS OF INTER-STAGE SUPERHEATERS EP-650 BOILERS

S u m m a r y

Measurements carried out in 1980 showed in the inter-stage platten-type superheater on the left side of the boiler the temperature exceeded considerably the temperature permissible for the material pipes were made of. Several years exploitation studies proved that this effect is not of random character and can be observed for all boilers installed. As a consequence of overheating the material pipes were made of a premature wear of side cooling coils occurs. Although the immediate remedy used at present, i.e., cutting out or blanking off pipes prevents too often failures of a boiler, nevertheless this does not remove the immediate causes of failures. In order to examine the causes of overheating a research program together with the results of preliminary measurements have been presented which showed that the highest velocities and temperatures occur at the bottom part of the boiler pass on its left side so, in other words, at this part of the superheater where an intensive premature wear of pipe material is observed. A tentative recognition of the problem suggests that such wide spatial differences of temperatures and velocities across the boiler pass section might be attributed to the influence of the combustion chamber. The effect of combustion chamber largely affects the lo-

cal values of, heat stream but there might be some ether reasons for this.
Of greater importance is a not uniform steam propagation to perticular
pipes and platten.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ludwik Cwyner

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1986 roku,