

Kazimierz RZEPA, Jan WALUS
Zespół Elektrociepłowni, Wrocław

OCENA PRACY KOTŁA WODNEGO WP-120 ZAINSTALOWANEGO W ELEKTROCIEPŁOWNI WROCŁAW I WYPOSAŻONEGO W INSTALACJE PROEKOLOGICZNE

Streszczenie. W kotle WP-120 zainstalowano palniki niskoemisyjne i układ do półsuchego odsiarczania spalin. Z pomiarów wynika, że zmniejszenie NO_x jest związane ze wzrostem emisji CO lub zawartością części palnych w popiele lotnym. Używanie w instalacji odsiarczania gorącego powietrza do podgrzewania spalin za reaktorem ogranicza wydajność kotła. Pomiary emisji SO_2 wykazały, że metoda WAWO spełnia obecne wymagania w zakresie ochrony środowiska.

APPRECIATION OF WP-120 WATER BOILER EXPLOITATION IN WROCŁAW HEAT-AND POWER-PLANT WITH ENVIRONMENTAL PROTECTION INSTALLATION

Summary. In a water boiler with membrane walls has been installed a low- NO_x burners and a SO_2 -removing plant. Surveying shows, that decrease of the NO_x emission cause increase of the CO emission or C in the fly ash. Use warm air to heat up flue gas behind the reactor demands the decrease of the load of the boiler. The WAWO method keeps SO_2 emission within the bonds of the up-to-date regulations.

BETRIEBSMÄßIGE BEGUTACHTUNG VON WP-120-WASSERKESSEL DES HKW WROCŁAW MIT EMISSIONSMINDERUNGANLAGEN

Zusammenfassung. Am Wasserkessel wurden NO_x -arme Brenner und eine semitrockene Entschwefelungsanlage eigebaut. Es wurde nachgewiesen, dass NO_x - Minderung eine CO-Emission oder den C-Gehalt in der Flugasche erhöht. Die Anwendung der Wärmeluft zur Vorwärmung in Reaktor abgekühlten Rauchgasen bringt eine Kessellastbegrenzung. SO_2 -Emission überschreitet bisher die zulässige Grenzwerte nicht.

1. WSTĘP

Usytuowanie Elektrociepłowni Wrocław i zaostrożenie warunków ochrony środowiska spowodowały, że już w 1990 roku podjęto dyskusję nad realnymi możliwościami zastosowania stosunkowo tanich a jednocześnie w miarę skutecznych technologii, zmierzających do ograniczenia emisji tlenków azotu i siarki. Wstępne rozpoznanie ujawniło, że w warunkach EC–Wrocław mogą być zastosowane, jeszcze nie sprawdzone pod względem eksploatacyjnym, ale tanie rozwiązania krajowe. I tak w odniesieniu do ograniczenia emisji tlenków azotu zdecydowano się na zastosowanie jednej z tzw. metod pierwotnych, tj. palników niskoemisyjnych, a w odniesieniu do ograniczenia emisji tlenków siarki – metodę półsuchą, zaproponowaną przez Instytut Inżynierii i Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, zwaną obecnie WAWO (wapno – woda).

Niezależnie od wyboru technologii ważnym problemem była wielkość ryzyka związana z ewentualnymi postojami kotła wytypowanego do eksperymentu. Z tych też powodów uznano, że najbardziej dogodny do tego celu będzie szczytowy kocioł WP–120, który z racji wykorzystania nie ma większego wpływu na efekty ekonomiczne elektrociepłowni. W odniesieniu zaś do zabudowy palników niskoemisyjnych dodatkowym argumentem przemawiającym za takim wyborem był fakt, iż kotły wodne WP–120 charakteryzują się małymi komorami paleniskowymi (wskaźnik $q_v \approx 0.237 \text{ MW/m}^3$). Uzyskanie pozytywnych rezultatów na tych kotłach powinno stanowić gwarancję powodzenia tego rozwiązania w odniesieniu do zainstalowanych w EC–Wrocław kotłów parowych OP–430 i kotła OP–230.

2. OGÓLNA OCENA PRACY KOTŁA WP–120 PRZED ZAINSTALOWANIEM TECHNOLOGII PROEKOLOGICZNYCH

Na podstawie badań [1], a także opinii służb eksploatacyjnych można przedstawić następującą ocenę pracy kotłów WP–120 przed zainstalowaniem technologii proekologicznych.

Każdy z kotłów wodnych WP–120 tak przed, jak i po modernizacji nie uzyskiwał wydajności maksymalnej trwałej. Największa wydajność, jaką uzyskano w czasie pomiarów bilansowych, wynosiła 125 MW. Przyczyną obniżenia wydajności był brak powietrza w kotle. Traktując powietrze dostane w układach młynowych jako powietrze doprowadzone do kotła w sposób zorganizowany, przy najczęściej uzyskiwanych wydajnościach cieplnych kotłów 108 + 115 MW, współczynnik nadmiaru powietrza za pęczkiem konwekcyjnym wynosił 1,06 – 1,07 i – jak wynika z pomiarów – w spalinach występował tlenek węgla.

Przyczyną niedoboru powietrza w kotle były duże nieszczelności obrotowych podgrzewaczy powietrza. Pomimo częstej wymiany i uzupełniania zde-

formowanych oraz uszkodzonych uszczelnień promieniowych dosłanie powietrza wynosiło $\Delta n_{p, pow} = 0,6 \div 0,8$. Nadmienić jednak należy, że przy tak dużym dosłaniu powietrza do spalin nie obserwowano braku ciągu w kotle.

Obserwacja procesu spalania ujawniła, że w zakresie mniejszych wydajności kotła, gdy współczynnik nadmiaru powietrza wynosi $1,2 \div 1,3$, spalanie paliwa było stabilne. zmniejszenie współczynnika nadmiaru lub praca przy obciążeniu maksymalnym powodowały, iż proces spalania przebiegał pulsacyjnie. Duże pulsacje płomienia były przyczyną wybijania spalin na kotłownię; mało efektywne okazało się rozwiązanie polegające na zwiększeniu kąta pochylecia klap eksplozyjnych.

W zakresie najczęściej występujących obciążeń sprawność kotła wahała się w granicach $82 \div 84\%$ i była zbliżona do gwarantowanej. Decydujący wpływ na sprawność miała i ma strata wylotowa, która wynosi $\approx 11\%$. Jej wartość jest konsekwencją wysokiej temperatury spalin, a także wysokiego współczynnika nadmiaru powietrza za kotłem ($n_{wyl} = 1,9 \div 2,1$). Strata niecałkowitego spalania kształtowała się w granicach $3 \div 4\%$. Pył węglowy uzyskany w młynach MWK-16 był stosunkowo gruby ($R_{88} = 18 \div 30\%$ a $R_{200} = 4 \div 8\%$). Zawartość części palnych w żużlu wynosiła $4 \div 7\%$, a w popiele lotnym $5 \div 8\%$.

Z punktu widzenia eksploatacji należy stwierdzić, że kotły wodne opalane paliwem zbliżonym do gwarantowanego, tj. $Q_f = (22 \div 23) \cdot 10^3$ kJ/kg i zawartość popiołu $A^f < 20\%$ nie nastęrczały trudności eksploatacyjnych. W wyniku zwiększenia podziałki poprzecznej w pęczkach konwekcyjnych i zmniejszenia zawartości popiołu w paliwie zmniejszyła się intensywność erozji. Nie w pełni natomiast potwierdziły się założenia odnośnie do zmniejszenia korozji siarkowej ekranów. Jak wykazała praktyka, duży wpływ na korozję postojową ekranów ma praktykowany dotychczas sposób oczyszczania i konserwacji kotłów po stronie spalin. Miejsca zawilgocone i niedostatecznie oczyszczone z popiołu są ogniskami korozji. Analiza wycinków rur potwierdza występowanie wżerów punktowych.

3. OPIS ZAINSTALOWANYCH TECHNOLOGII PROEKOLOGICZNYCH

Uzgodnienia w zakresie niezbędnych zmian stanu istniejącego, dokumentacji projektowej, automatycznej regulacji, monitoringu i wykonawstwa prowadzono w 1991 roku. Podział prac związanych z wprowadzeniem technologii proekologicznych przedstawiał się następująco:

- dostawa palników niskoemisyjnych, zmiany w układzie doprowadzania i regulacji powietrza – RAFAKO-Racibórz,
- projekt instalacji odsiarczania – Politechnika Wroclawska, „Energoprojekt” – Gliwice,

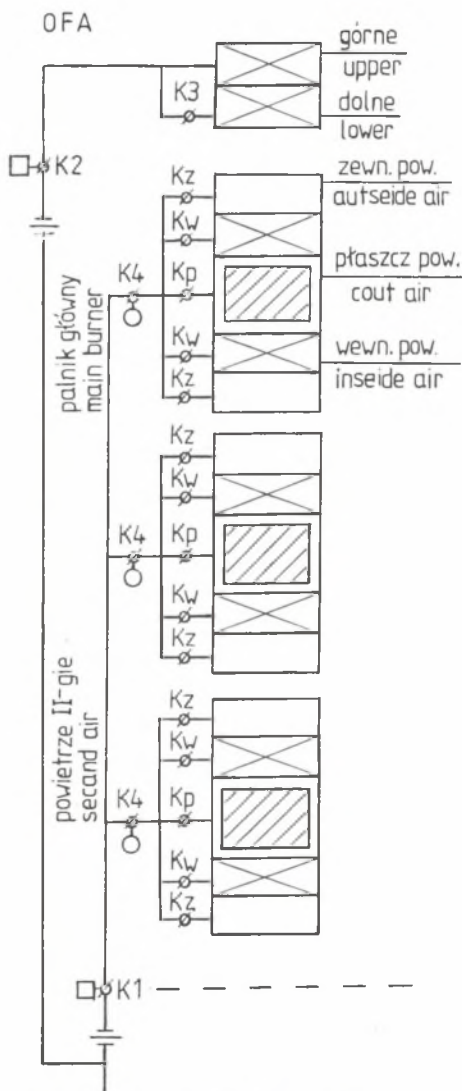
– układ automatycznej regulacji i monitoringu – Centrum Naukowo-Produkcyjne Automatyki Energetycznej „Centrum” Wrocław.

Prace montażowe wykonały specjalistyczne firmy obce, a także własny wydział remontowy.

3.1. Modernizacja układu paleniskowego

Celem modernizacji układu paleniskowego było zwiększenie kontroli i organizacji procesu spalania, tj. takie sterowanie procesem spalania, aby ograniczyć wpływ nadmiaru powietrza i wielkości temperatury na możliwości powstawania tlenków azotu. W praktyce oznacza to rozdzielnie proces spalania na dwie strefy. W strefie pierwszej, obejmującej pas palników, proces spalania przebiega przy współczynniku nadmiaru powietrza $n < 1$. W strefie drugiej zaś, usytuowanej nad strefą zabudowy palników, zachodzi proces dopalania paliwa przy współczynniku nadmiaru powietrza $1 < n < 1,2 \div 1,25$, a przemieszanie powietrza z niespalonymi produktami zapewniają dysze OFA, z których prędkość wypływu wynosi około 40 m/s.

Spełnienie takich warunków spalania – wg opinii RAFAKO [2] – jest możliwe przy zapewnieniu „drobnego” przemiału ($R_{88} < 20\%$ i $R_{200} < 2\%$) i zastosowaniu palnika nowej konstrukcji, wyposażonego w układ sprawnej regulacji i pomiaru powietrza II w zależności od obciążenia kotła i konfiguracji pracy młynów. Schemat bloku palnika wraz z przynależnym układem klap regulacyjnych pokazano na rys. 1. Z rys. widać, że



Rys. 1. Schemat bloku palników

Fig. 1. Diagram of the burners block

podział powietrza II w palniku kotła jest skomplikowany. Powietrze II przynależne do jednej dyszy mieszanki pyłowo-powietrznej jest podzielone na tzw. powietrze płaszczowe, chłodzące dyszę mieszanki i powietrze wewnętrzne oraz zewnętrzne. Taki podział powietrza uzasadniony był przyjętym założeniem, że pełną wydajność kotła można uzyskać przy pracy dwóch młynów.

W takich przypadkach przez wszystkie dysze powietrza przynależne do pracujących młynów przepływa taka ilość powietrza, aby w strefie palników proces spalania przebiegał w warunkach zbliżonych do stechiometrycznych. Przez dysze powietrza II przynależne do nie pracującego młyna przepływa minimalna ilość powietrza, zapewniając ich chłodzenie.

W przypadku pogorszenia jakości paliwa i konieczności pracy kotła przy trzech młynach zamyka się przepływ powietrza przez dysze zewnętrzne (dysze te są chłodzone minimalną ilością powietrza), a powietrze wypływa dyszami wewnętrznymi.

Dysze OFA, zabudowane w odległości 5000 mm od palników środkowych, można regulować zarówno w płaszczyźnie poziomej, jak i pionowej i – podobnie jak dysze powietrza II – są podzielone na dwie części: górną i dolną. Wyłączenie dysz dolnych przy obciążeniach mniejszych pozwala uzyskać prawidłową prędkość wypływu z dysz pracujących.

W celu zapewnienia dostatecznej kontroli nad rozdziałem powietrza w kotle zmodernizowano kanały gorącego powietrza. Zapewniono w ten sposób warunki do pomiaru ilości i parametrów powietrza oraz – stosując układ siłowników – możliwość ich zdalnego sterowania. Ponadto kocioł wyposażono w nowoczesną technikę komputerową, obejmującą nie tylko pomiary wielkości eksploatacyjnych, lecz także automatyczne sterowanie pracą kotła i układu odsiarczania spalin.

Uznając wymagania dostawcy palników odnośnie do jakości przemiału w 1992 r. tytułem eksperymentu na młynie zasilającym górne piętro palników zabudowano grawitacyjno-bezwładnościowy separator produkcji Fabryki Palenisk w Mikołowie. W czasie postoju kotła w 1993 r. rozwiązanie to powielono na pozostałych młynach.

Uwzględniając zaś dotychczasowe trudności spowodowane brakiem powietrza w kotle, przewidywane zwiększenie oporów aerodynamicznych nowego układu doprowadzania powietrza, a także wymaganą wielkość ciśnienia statycznego zwiększono – na skutek zastosowania silników napędowych o większych obrotach – sprzęż i wydatek wentylatorów poddmuchu. Za taką koncepcją przemawiał stosunkowo krótki czas pracy kotła.

3.2. Układ do odsiarczania spalin

Istota instalacji do odsiarczania spalin polega na doprowadzaniu sorbentu (wapna hydratyzowanego) do górnej części komory paleniskowej, gdzie jest zakończony proces spalania i temperatura spalin jest niższa. Do dozowania

wapna służą zdalnie sterowane podajniki komórkowe; czynnikiem transportującym jest sprężone powietrze.

W wyniku relacji chemicznych w kanałach spalin kotła zachodzi stosunkowo wolny proces wiązania dwutlenku siarki z sorbentem. Sprawność tak prowadzonego procesu nie jest duża i – zależnie od stosunku Ca/S oraz przemieszania sorbentu ze spalinami – waha się w granicach $15 \div 25\%$.

W celu zwiększenia efektywności odsiarczania wykorzystuje się tzw. drugi zakres temperatury ($80 \div 90^\circ\text{C}$), w którym proces wiązania SO_2 z sorbentem jest zdecydowanie większy. Zapewnienie tak niskich temperatur wymaga jednak dodatkowego schładzania wodą spalin wylotowych z kotła. Proces schładzania spalin wylotowych następuje w pionowym reaktorze, usytuowanym poza budynkiem kotłowni. Wysokość reaktora jest uzależniona od czasu pobytu spalin w celu ich odsiarczenia, a także koniecznością ponownego ich podgrzania do temperatury $100 \div 110^\circ\text{C}$ przed ich wlotem do elektrofiltra. Do podgrzewania spalin za reaktorem jest obecnie używane gorące powietrze.

Wtryskiwana do spalin woda jest pobierana z układu hydraulicznego odzulfania i musi być odpowiednio filtrowana. Do filtracji wody używane są filtry mechaniczne. Czynnikiem rozpylającym wodę jest sprężone powietrze. Ilość wtryskiwanej wody zależy od wydajności kotła. Nominalne zużycie wody dla kotła WP-120 wynosi 24 t/h.

W celu uniknięcia zarastania produktami odsiarczania kanałów reaktora na jednym z dwóch reaktorów kotła WP-120 – na zasadzie eksperymentu – zainstalowano pyłofon produkcji Zakładów Naukowo-Technicznych PROTEKO – Kraków. Zasada działania polega na wytwarzaniu rezonansu akustycznego w zakresie infradźwięków.

4. OCENA PRACY KOTŁA

Oddany, po modernizacji układu paleniskowego, do eksploatacji w grudniu 1991 r. kocioł nie był wyposażony jeszcze w kompletną instalację do odsiarczania spalin, komputerowy system sterowania kotłem; niesprawny był także monitoring firmy Westinghouse.

Po uzgodnieniach EC-Wrocław z RAFAKO ustalono, że w początkowym okresie kocioł będzie eksploatowany w warunkach zbliżonych do stanu przed modernizacją.

Eksploatując kocioł przy zachowaniu:

- minimalnego przepływu powietrza przez dysze OFA,
 - nadciśnienia powietrza gorącego $1000 \div 1300$ Pa,
 - podciśnienia w komorze paleniskowej $80 \div 100$ Pa,
 - temperatury mieszanki pyło-gazowej za młynami $85 \div 100^\circ\text{C}$,
- jego wydajność wynosiła $100 \div 110$ WM, a temperatura spalin na wylocie z komory paleniskowej $1150 \div 1200^\circ\text{C}$ i była zbliżona do wartości przy obciąże-

niu maksymalnym -1205°C . Temperatura spalin wylotowych przekraczała wartość projektową o $10 \div 30 \text{ K}$, a temperatura gorącego powietrza osiągała wartość $410 \div 430^{\circ}\text{C}$. Przy zawartości tlenu w spalinach, mierzonej analizatorami cyrkonowymi zabudowanymi przed podgrzewaczami powietrza, $\text{O}_2=3,5 \div 4,3\%$, zawartość części palnych w żużlu wzrosła do $10 \div 16\%$ a w popiele do $8 \div 12\%$. Obserwacja procesu spalania ujawniła znaczne pulsacje płomienia i tendencje do szlakowania komory paleniskowej. Spadający do wanny żużel był silnie spieczony.

Wstępna ocena tych skromnych doświadczeń eksploatacyjnych nasuwała poważne obawy nie tylko z uwagi na możliwość znacznego zanieczyszczenia się kotła przy pracy instalacji do odsiarczania spalin, lecz także z uwagi na duże zamrożenie mocy zainstalowanej.

W styczniu 1992 r., po uruchomieniu komputerowego systemu kontroli i sterowania kotłem, monitoringu firmy Westinghouse i po wymianie części zużytych uszczelnień promieniowych podgrzewaczy powietrza, RAFAKO przeprowadziło wstępną regulację przepływu powietrza na „zimno” i na „gorąco”. Na podstawie pomiarów RAFAKO ustaliło, że najmniejszą emisję uzyskuje się przy poziomym ustawieniu dysz, a odchylenie – w kierunku zewnętrznym od hipotetycznego koła wiru – powinno wynosić $12,5^{\circ}$. Ograniczając przepływ powietrza przez dysze OFA do niezbędnego minimum, podyktowanego warunkiem ich chłodzenia, wyznaczono wielkość tła, które oceniono na około $700 \text{ mg NO}_2/\text{m}_n^3$.

Efektem zmian rozplywu powietrza w kotle przy wydajnościach zbliżonych do 120 MW było zmniejszenie się temperatury spalin na wylocie z komory paleniskowej do 1150°C oraz temperatury spalin za kotłem do $\approx 200^{\circ}\text{C}$. W dalszym jednak ciągu doszanie powietrza w podgrzewaczu powietrza było duże, a współczynnik nadmiaru przed podgrzewaczami powietrza wynosił $1,06 \div 1,09$ i był mniejszy od zalecanego ($n = 1,2 \div 1,25$). Przy stosunkowo grubym przemiele: $R_{88}=16 \div 28\%$ i $R_{200}=2 \div 8\%$ i tak małym współczynnikiem nadmiaru powietrza stwierdzono, że zawartość części palnych w popiele lotnym wynosiła tylko $5 \div 7\%$.

Oceniając efektywność pracy palników, autorzy opracowania [3] uznali, że w zakresie wydajności kotła $90 \div 130 \text{ MW}$ emisja tlenków azotu wynosiła $300 \div 450 \text{ mg}/\text{m}_n^3$, co odpowiada redukcji w granicach $33 \div 50\%$. Wyniki takie – jak wykazały dalsze pomiary [4] – uzyskano przy dużej zawartości tlenku węgla w spalinach (obliczona dla warunków umownych zawartość tlenku węgla w spalinach wynosiła $250 \div 260 \text{ mg}/\text{m}_n^3$ i była ponad trzykrotnie większa od dopuszczalnej). Przy nieczynnej jeszcze instalacji do odsiarczania stężenie dwutlenku siarki w spalinach wynosiło $2200 \div 2300 \text{ mg}/\text{m}_n^3$.

Drugi etap pomiarów [4] przeprowadzono tuż przed odstawieniem kotła do rezerwy. Przed pomiarami przekazano do eksploatacji instalację do odsiarczania spalin, wymieniono wszystkie uszczelnienia promieniowe podgrzewaczy

powietrza oraz skorygowano wskazania analizatora cyrkonowego. Pomiar przeprowadzono przy odciętym przepływie powietrza gorącego, używanego do podgrzewania spalin za reaktorem.

Na podstawie pomiarów, a także opinii służb eksploatacyjnych można stwierdzić, że przy dostaniu powietrza do spalin w podgrzewaczu powietrza $\Delta n_{p, pow} = 0,21 \div 0,27$ i współczynnika nadmiaru za pęczkiem $n_k \approx 1,1$ kocioł uzyskiwał, a nawet przekraczał wydajność znamionową 140 MW. Temperatura spalin wylotowych była zbliżona do projektowej, a temperatura gorącego powietrza $\approx 400^\circ\text{C}$. Przy pracy trzech młynów i paliwie o wartości opałowej 22500 kJ/kg, zawierającym 23,7% popiołu i 5,9% wilgoci, uzyskano stosunkowo drobny – jak dla młynów wentylatorowych – przemiał: $R_{88} = 16 \div 18,8\%$ i $R_{200} \div 1\%$. Pomimo drobnego przemiału zawartość części palnych w popiele lotnym wzrosła do 11%, a w żużlu do 6,5%. Biorąc pod uwagę jakość przemiału, współczynnik nadmiaru powietrza w kotle oraz dobrą szczelność kotła $\Delta n_{k+up} = 0,12$ uznano, że jedną z przyczyn zwiększenia się zawartości części palnych w popiele lotnym może być błąd metody wyznaczania części palnych w próbkach zawierających produkty odsiarczania, np. węglany i nie przereagowane wapno hydratyzowane, które związało wodę konstytucyjną.

Traktując dostane w kotle powietrze jako powietrze biorące udział w procesie spalania obliczono, że współczynnik nadmiaru w strefie palników wynosił 0,913. W rzeczywistości jednak niedomiar ten mógł być większy. Udział zaś OFA wynosił 0,18 i był mniejszy od zakładanego.

W takich warunkach organizacji procesu spalania emisja NO_x wynosiła około $350 \div 400 \text{ mg/m}_n^3$ i była mniejsza od dopuszczalnej. Efekt ten uzyskano jednak kosztem znacznego przekroczenia emisji tlenu węgla i zwiększenia części palnych w popiele lotnym. Emisja natomiast SO_2 po schłodzeniu spalin w reaktorze do $90 \div 94^\circ\text{C}$ wynosiła $950 \div 1350 \text{ mg/m}_n^3$. Ze względu na brak możliwości pomiaru ilości wapna podawanego do kotła nie jest możliwe dokładne ustalenie stosunku Ca/S. Z danych średniodobowych można przyjąć, że Ca/S waha się granicach $2,8 \div 3,7$. Zaznaczyć także należy, że dozowanie wapna do kotła wymaga ze strony eksploatacji szczególnego nadzoru nad szczelnością układu ciśnieniowego kotła; nie wykryta w porę nieszczelność jest przyczyną szybkiego „cementowania” powierzchni ogrzewalnych.

Dalsze prace nad optymalizacją procesu spalania prowadziła „RAFAKO – ENERGO” Oddz. Wrocław wspólnie z ekipą pomiarową EC–Wrocław. W sezonie grzejmym 92/93 ponownie przebadano wpływ ustawienia dysz OFA i powietrza II na wielkość emisji NO_x i CO. Na podstawie pomiarów ustalono, że optymalnym rozwiązaniem jest pochylenie dysz OFA pod kątem 10° w dół, a odchylenie w płaszczyźnie poziomej -8° od hipotetycznego koła wiru. Odchylenie zaś dysz powietrza II -12° na zewnątrz koła wiru. Nie badano natomiast wpływu tych parametrów na zawartość części palnych w żużlu i lotnym popiele.

Przeprowadzone pod koniec sezonu grzejnego pomiary cieplne [5] ujawniły, że przy stosowaniu gorącego powietrza do podgrzewania spalin za reaktorem i czynnej recyrkulacji kocioł uzyskuje 96,5% wydajności znamionowej, a udział gorącego powietrza do podgrzewania spalin wynosił 12% zapotrzebowania teoretycznego. W zakresie mniejszych obciążeń, z uwagi na temperaturę powietrza, udział zwiększał się do 22%. Udział zaś recyrkulacji wynosił odpowiednio $\Delta n_{\text{rec}} = 0,05 \div 0,08$. W porównaniu z wynikami poprzednimi wzrosła ilość powietrza zimnego dostana do kotła ($\Delta n_{\text{k+up}} = 0,2$).

Obserwacja komory paleniskowej ujawniła, że przy takim ustawieniu palników i dysz OFA zmniejszyła się skłonność do szlakowania komory (niewielkie narosty żużla występują w strefie dysz OFA). Wprawdzie przy małym współczynniku nadmiaru powietrza w kotle uzyskano bardzo dobre wyniki w zakresie ograniczenia emisji NO_x przy zachowaniu małej zawartości tlenu w spalinach ($\text{NO}_x = 350 \div 400 \text{ mg/um}^3$, $\text{CO} = 30 \div 50 \text{ mg/m}_n^3$), jednak zaobserwowano bardzo wyraźny wzrost części palnych w popiele lotnym ($c_{\text{pl}} = 16 \div 20\%$), a także w żużlu ($c_z \equiv 20\%$). Z obliczeń wynika, że w strefie palników współczynnik nadmiaru powietrza był zbliżony do wartości, jakie występowały przy innym ustawieniu palników i wynosił 0,9. Podobnie kształtował się udział powietrza doprowadzanego przez dysze OFA.

Analiza przyczyn tak dużego wzrostu części palnych w żużlu i w popiele wskazywała, że nie może to być jedynie błąd metody oznaczania części palnych. Duży wpływ miała tu jakość przemiału, oceniana na podstawie pozostałości na sitach o oczkach 200 μm .

Z analiz wynikało, że $R_{200} = 6,8 \div 8,2\%$. Tak gruby przemiał uzyskano zarówno w młynach z dotychczasowym układem separacji, jak i w młynie wyposażonym w separator grawitacyjny-bezwładnościowy. Wydaje się jednak, że jedną z głównych przyczyn wzrostu zawartości części palnych, oprócz grubego przemiału, jest zbyt duże odchylenie dysz powietrza II od hipotetycznego koła wiru. Takie odchylenie sprawia, że zewnętrzna powłoka bryły płomienia charakteryzuje się atmosferą utleniającą, co ogranicza szlakowanie komory, a w rdzeniu płomienia występuje duży niedomiar tlenu. Grubsze cząsteczki paliwa nie spalają się, lecz tylko odgazowują. Przy współczynniku nadmiaru $n_k = 1,219$, a więc przy wartości zalecanej przez RAFAKO, wydajność kotła zmniejszyła się o 10%. Emisja tlenu węgla osiągnęła wartość najmniejszą spośród zmierzonych ($\text{CO} = 27 \text{ mg/m}_n^3$, a emisja tlenków azotu wzrosła aż do 528 mg/m_n^3 , co odpowiada około 25% redukcji. Zawartość części palnych w żużlu nie uległa zmianie. Zmniejszyła się natomiast zawartość części palnych w popiele lotnym o około 4%.

Równoległe z pracami nad optymalizacją procesu spalania prowadzono także badania nad ograniczeniem emisji SO_2 . Za główny kierunek prac uznano dalsze obniżenie temperatury w reaktorze. Przy wykorzystaniu istniejących urządzeń nastroczało to wiele kłopotów eksploatacyjnych. Z jednej strony

obniżenie temperatury spalin w reaktorze wymagało zwiększenia ilości wtryskiwanej wody, co powodowało przeciążenie dysz wtryskowych, pogorszenie jakości rozpylania, a także zwiększenie zasięgu oddziaływania strugi rozpylonej wody. W efekcie na przeciwległych ścianach obserwowano intensywne zarastanie reaktora. Z drugiej zaś strony należy zaznaczyć, że używanie gorącego powietrza do podgrzewania spalin za reaktorem powoduje zmniejszenie temperatury gorącego powietrza, zwiększenie udziału powietrza potrzebnego do podgrzewania spalin, a w konsekwencji ograniczenie wydajności kotła. Dostosowanie ilości wtryskiwanej wody do obciążenia kotła wymusiło zmianę układu regulacji. W początkowym okresie pracy instalacji ilość wtryskiwanej wody regulowano parametrami wody i powietrza, obecnie zaś ilością czynnych dysz.

W wyniku przeprowadzonych prób ustalono, że chcąc osiągnąć wydajność kotła, zbliżoną do maksymalnej, w reaktorze należy utrzymywać temperaturę nie niższą niż 80°C. Temperatura zaś spalin przed elektrofiltrem osiąga wartość ca 100°C. W takich warunkach skuteczność odsiarczania kształtuje się w granicach 55 ÷ 65% i zależy w dużej mierze od zawartości siarki w węglu. Należy jednak zaznaczyć, że skuteczność odsiarczania jest pojęciem mało precyzyjnym. W efekcie liczy się bowiem wielkość emisji. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można stwierdzić, że osiągnięta emisja 300 ÷ 320 g/GJ spełnia obecnie obowiązujące wymagania. Ten poziom emisji jest jednak za duży w porównaniu z wymaganiami po 1997 roku.

6. PODSUMOWANIE

Z przedstawionego opisu przedsięwzięć proekologicznych, wdrożonych na jednym z kotłów WP-120, charakteryzującym się dużym q_v komory paleniskowej, wynika, że:

- Zastosowane palniki niskoemisyjne wraz z układem kontroli rozplywu powietrza w kotle mogą, i to w znacznym stopniu, ograniczyć emisję NO_x . Zmniejszenie emisji NO_x jest jednak zawsze okupione kosztem zwiększonej emisji tlenku węgla lub nadmiernego wzrostu części palnych, głównie w lotnym popiele. Ustalenie optymalnych warunków pracy jest trudne i wymaga dalszych badań nad rozwiązaniem problemu jakości przemiału, wyeliminowania nierównomierności rozplywu mieszanki pyłowej – ważnych przyczyn zwiększenia się zawartości części palnych w popiele i pulsacji płomienia. W świetle nie omawianych tu wyników pomiarów kotła WP-70 można twierdzić, że duży wpływ na pulsacje płomienia ma także stan czystości podgrzewaczy powietrza i ich uszczelnień. Intensywne prace nad rozwiązaniem tych zagadnień, a także nad poprawą jakości przemiału będą prowadzone w sezonie grzejnym 94/95.

- Instalacja do odsiarczania spalin WAWO spełnia obecne wymagania odnośnie do emisji SO_2 . Technologię tę, mimo początkowych trudności eksploatacyjnych, należy uznać jako opanowaną. Jej skuteczność zależy w dużej mierze od warunków temperaturowanych panujących w reaktorze oraz w stosunku Ca/S.

Obydwie technologie proekologiczne oddziałują na warunki eksploatacji kotła. Palniki niskoemisyjne powodują zwiększenie części palnych w popiele, którego obecnie nie można traktować jako odpad, lecz produkt handlowy. Podgrzewanie zaś gorącym powietrzem spalin za reaktorem jest jedną z przyczyn ograniczenia wydajności kotła. Zastąpienie powietrza spalinami pobieranymi z za pęczka sprawi, że instalację odsiarczania można będzie traktować jako wydzieloną, nie wpływającą istotnie na pracę kotła.

LITERATURA

- [1] Rzepa K.: Ocena pracy kotłów WP-120. Raporty Inst. Tech. Ciepl. i Mech. Płynów PWr seria SPR Nr 15/85.
- [2] Rostkowski Z.: Charakterystyka zmodernizowanej instalacji paleniskowej kotła WP-120 Wrocław dla potrzeb obniżenia NO_x . Opracowanie RAFAKO Nr K-01/364 Racibórz 91.
- [3] Wala T., Tomas D.: Ocena efektów modernizacji układu paleniskowego kotła WP-120 Wrocław w celu obniżenia emisji NO_x . Opracowanie RAFAKO Racibórz 92.
- [4] Rzepa K.: Ocena pracy kotła wodnego WP-120 z palnikami niskoemisyjnymi, zainstalowanego w EC Wrocław. Opracowanie ENPOL-u Wrocław 92.
- [5] Rzepa K.: Ocena pracy kotła WP-120 oraz propozycja koncepcji jego modernizacji. Opracowanie ENPOL-u Nr 15/93. Wrocław 93.

Recenzent: Dr hab. inż. Marek PRONOBIS

Wpłynęło do Redakcji 28.08.1994 r.

Abstract

The retrofitted WP-120 water boiler with membrane walls was equipped with low- NO_x burners and desulphurization plant. Additionally the capacity and compression of force draft fans were increased. Exploitation of the boiler

without proecological installations showed that it was not possible to achieve the maximum output and carbon content in fly ash $5 + 8\%$. The results of these tests showed the necessity of further research to optimize the grinding fitness of the coal in MWK 16 mills.

In applied methods of desulphurization, called WAWO, the enhanced utilization of the sorbent injected into the boilers is achieved by past furnace treatment of the flue gases in the reactor in which temperature is about 80° . In the process $\text{Ca}(\text{OH})_2$ is used as a sorbent. This method assure sulphur capture efficiencies in the range of $300 + 320 \text{ g/GJ}$ which fulfil the environmental protection requirements.