

Feliks FINKIER, I. B. KUBYSZKIN
Uniwersytet Politechniczny, St. Petersburg
Czesław SOBCZUK
ENERGOWIR, Warszawa
Janusz KUCHARSKI
Zakłady Azotowe PUŁAWY S.A., Puławy

SPALANIE W WIRZE NISKOTEMPERATUROWYM W KOTŁACH ENERGETYCZNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono sposób modernizacji kotłów z zastosowaniem niskotemperaturowej wirowej technologii spalania węgla energetycznego. Omówiono osiągnięte efekty z zastosowania metody obniżenia emisji NO_x w kotłach WP-120, OP-230 w EC Siekierki i OP-215 w EC Z.A. Puławy S.A.

VORTEX – COAL – COMBUSTION BY POWER BOILERS

Summary. The report presents modernization of boilers with adaptation of vortex – coal – combustion. Received effects of adaptation of low emission NO_x method on boiler WP-120, OP-230 EC Siekierki and OP-215 EC Puławy are discussed.

ВИХРЕВОЕ СГОРАНИЕ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛАХ

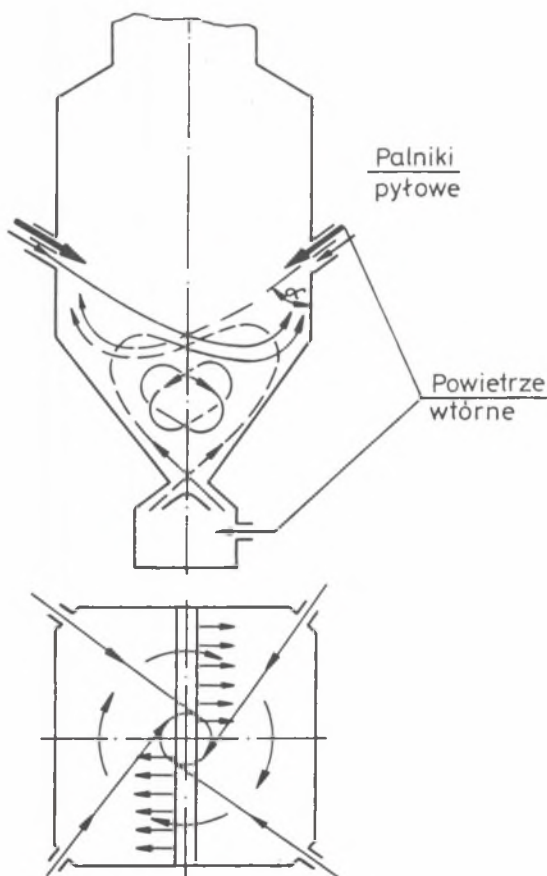
Резюме. В докладе представлено способ модернизации котлов из приспособлением вихревой методы сгорания каменного угля. Обсуждено результаты внедрения методы снижения эмиссии NO_x в котлах. ВП-120, ОП-230 в ЭТС Секерки и ОП-215 в ЭТС Пулавы.

1. WSTĘP

Spalanie węgla w tradycyjnych kotłach rusztowych lub pyłowych wiąże się z dużą emisją szkodliwych dla środowiska naturalnego tlenków siarki i azotu. Współczesne kotły energetyczne wyposaża się w instalacje odsiarczania i odazotowania spalin, co wymaga znacznych nakładów kapitałowych.

Poszukiwanie nowych tzw. czystych technologii spalania węgla doprowadziło m.in. do rozwoju kotłów fluidalnych, w których proces odsiarczania następuje w złożu fluidalnym przy użyciu związków wapnia, a ilość powstających tlenków azotu ze względu na niską temperaturę spalania jest dużo mniejsza niż w kotłach pyłowych. Wymiana istniejących kotłów na kotły fluidalne jest jednak przedsięwzięciem bardzo kosztownym. W niniejszym referacie przedstawiono na podstawie doświadczeń Politechniki Petersburskiej tanią i skuteczną metodę zmniejszenia emisji NO_x oraz poprawę wskaźników techniczno-ekonomicznych.

Metoda ta nazwana została „wirem niskotemperaturowym”. Wdrożeniem tej metody opartej na patencie (P-291682) zajmuje się polsko – rosyjska Spółka „Energowir” we współpracy z rosyjskim Przedsiębiorstwem „Politechenergo” z Petersburga. Dokonano z powodzeniem wdrożeń w EC Siekierki-3 kotły WP-120, w EC Puławy – kocioł parowy OP-215 i następny OP-215 w trakcie przygotowania do realizacji oraz w trakcie realizacji kocioł OP-130 w EC Łódź 2.



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia palników i dysz powietrza wtórnego w zmodernizowanym kotle

Fig. 1. Burners and air nozzles location sketch of modernized boilers

2. OPIS METODY

Technologia spalania węgla w wirze niskotemperaturowym polega na dostarczeniu pyłu węglowego do kotła przez klasyczne palniki pyłowe, nachylone pod odpowiednim kątem w dół komory paleniskowej (rys. 1).

Podobnie doprowadza się do komory paleniskowej część powietrza wtórne-
go. Pozostałą część powietrza wtórnego wprowadza się do komory palenisko-
wej przez odpowiednio ukształtowane dysze, umieszczone w leju komory.
Kierunki wypływu powietrza z dysz umieszczonych w leju są tak dobrane, aby
następowało ich współdziałanie ze strumieniami mieszaniny pyłowo – powie-
trznej wypływającej z palników głównych. Tworzy się wówczas wir śrubowy z
pionową recyrkulacją cząstek paliwa i gazów spalinowych w centralnej części
leja komory paleniskowej.

Przy takiej aerodynamice komory paleniskowej zapłon pyłu węglowego
następuje w strefie obniżonej zawartości tlenu. Dzięki temu zmniejsza się
ilość powstających tlenków azotu, zaś czas przebywania cząstek pyłu w strefie
aktywnego spalania – dzięki recyrkulacji pionowej – wydłuża się w stosunku
do klasycznego paleniska pyłowego, co gwarantuje dobre wypalenie. Zwiększa
się przy tym obciążenie cieplne dolnej części komory paleniskowej (bardzo
słabo wykorzystywanej w klasycznym kotle pyłowym), możliwe jest więc zwię-
kszenie wydajności kotła. Rozciągnięcie strefy spalania w kierunku dolnej
części komory paleniskowej wpływa zarówno na obniżenie maksymalnej tem-
peratury w palenisku, jak i średniej temperatury spalin na wylocie z komory
paleniskowej.

Podstawowymi zaletami technologii spalania pyłu węglowego w wirze
niskotemperaturowym są:

- obniżenie emisji NO_x do poziomu 300 – 500 mg/m_n^3 , co gwarantuje dotrzy-
manie dopuszczalnej emisji 170 g/GJ po roku 1997,
- zwiększenie wydajności kotła od 15% do 20%,
- zwiększenie sprawności kotła od 2% do 6%,
- efektywne spalanie przy niskim nadmiarze powietrza ($\lambda = 1,1 - 1,2$),
- obniżenie temperatury spalin wylotowych,
- zwiększenie dyspozycyjności i obniżenie awaryjności rur kotłowych dzięki
wyrównaniu obciążeń cieplnych ekranów i powierzchni konwekcyjnych,
- możliwość wykorzystania (pozostawienie) istniejących urządzeń młynowo-
paleniskowych i wentylatorów z niewielkimi zmianami w konstrukcji
dolnej części paleniska, palników i niektórych elementów urządzeń pomoc-
niczych, co czyni modernizację stosunkowo taną,
- możliwość zastosowania taniej, suchej metody odsiarczania.

3. MODERNIZACJA KOTŁÓW WP-120 W EC SIEKIERKI

3.1. Stan kotłów przed modernizacją był następujący:

- a) nie osiągnięto znamionowej wydajności kotła z powodu niewystarczającej
ilości powietrza do spalania; max. wydajność 122 MW, min. 93 MW,

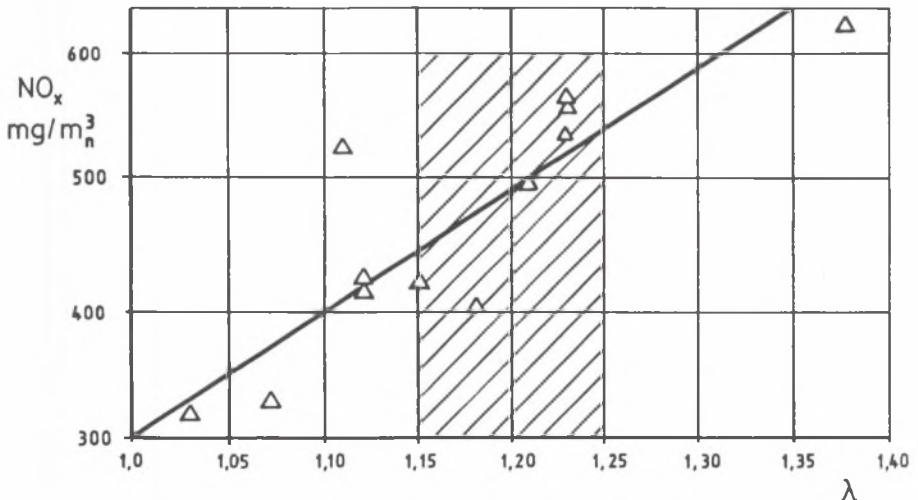
- b) niestabilna praca komory paleniskowej po zmianie ekranów na szczelne – duża pulsacja i gaśnięcie,
- c) szlakowanie komory paleniskowej,
- d) sprawność kotła 78 – 84% (wysoka temperatura spalin wylotowych i duże przecieki powietrza na obrotowych podgrzewaczach powietrza),
- e) koncentracja NO_x – 600 – 800 mg/m_n^3 (w przeliczeniu na 6% O_2).

3.2. Ocena pracy kotła po modernizacji

Kotły nr 5, 6 i 7 WP-120 po modernizacji systemu paleniskowego z zastosowaniem wiru niskotemperaturowego uruchomiono w latach 1991–92.

W efekcie modernizacji uzyskano następujące pozytywne wyniki (patrz rys. 1):

1. Kocioł może bezpiecznie i ekonomicznie pracować w zakresie obciążeń 93 – 140 MW, max. uzyskano 163 MW (kontrolę temperatur ścianek rur ekranowych i temp. wody wykonał Energopomiar).
2. Przy obciążeniu 134 MW sprawność wynosi 88 – 90%, co znacznie przekracza wartości projektowe (84%).
3. Emisja tlenku azotu w spalinach przy obciążeniu 122 MW wynosi średnio wg danych Energopomiaru Gliwice 450 mg/m_n^3 , czyli 159 g/GJ.
4. Emisja SO_2 w spalinach w czasie pomiarów zmieniała się w zakresie 1000 – 1500 mg/m_n^3 .
5. Zawartość części palnych w popiele wynosi 6 – 10% .



Rys. 2. Zależność stężenia emisji NO w spalinach od nadmiaru powietrza w kotle WP-120

Fig. 2. Dependence of concentration of NO in flue gas as a function of air excess on boiler WP-120

Wyniki pomiarów koncentracji tlenków azotu w funkcji nadmiaru powietrza przed obrotowym podgrzewaczem powietrza na podstawie pomiarów wykonanych przez Politechnikę Petersburską i Instytut Energetyki bezpośrednio po uruchomieniu kotłów oraz późniejszych, wykonanych przez Energo pomiar, przedstawiono na rys. 2.

W zalecanym zakresie nadmiaru powietrza 1,15 – 1,25 (rys. 2) stężenie CO nie przekroczyło 0,005%, a koncentracja tlenków azotu w przeliczeniu na $O_2 = 6\%$, wynosi 440 – 540 mg/m_n^3 .

3.3. Podsumowanie

Efekty modernizacji kotłów WP-120 w EC Siekierki potwierdziły w pełni zalety nowej technologii niskotemperaturowego spalania pyłu węglowego (tabl. 1). W stosunku do parametrów projektowych osiągnięto wzrost sprawności kotła o 2 – 8%, wzrost wydajności o ok. 20% oraz efekt ekologiczny w postaci zmniejszenia emisji tlenków azotu o ok. 30% w porównaniu ze średnią wartością emisji NO_x z kotła WP-120.

Tablica 1

Efekty modernizacji kotła WP-120 EC Siekierki

Parametr	Jedn. miary	Przed modernizacją	Po modernizacji
Osiągana wydajność	MW	140	163
Temperatura spalin odlotowych	°C	170–200	130–160
Temperatura spalin przed LUVU	°C	400–440	360–410
Sprawność kotła brutto	%	84	88–90
Emisja NO_x przy $O_2 = 6\%$	mg/m_n^3	600–800	300–500

W czasie kilkunastomiesięcznej eksploatacji kotła po modernizacji nie stwierdzono ani nadmiernego zużycia erozyjnego, ani zanieczyszczenia powierzchni ogrzewalnych. Mimo złej jakości przemiału węgla straty w postaci nie spalonych cząstek w popiele lotnym są stosunkowo małe, przy wysokiej sprawności. Potwierdza się skuteczność działania recyrkulacji cząstek paliwa w komorze paleniskowej.

Osiągnięte bardzo duże efekty ekonomiczne, przy małych kosztach modernizacji kotła, zapewniają szybki zwrot poniesionych nakładów.

3.4. Ocena pracy kotła OP-230 w EC Siekierki po modernizacji

Po uzyskanych efektach na kotłach WP-120 podjęto decyzję modernizacji kotła parowego OP-230 z zastosowaniem technologii wiru niskotemperaturowego.

Kocioł nr 1 OP-230 uruchomiony w roku 1961 posiadał palniki czołowe boczne i nieszczelny ekran. W tej sytuacji należało stworzyć inny układ paleniskowy do wytworzenia zawirowań w leju kotła. Zainstalowano palniki na przedniej ścianie kotła nachylone do dołu. Doprowadzono również powietrze do dolnej strefy chłodnego leja. Uzyskano zmniejszenie NO_x i poprawę sprawności. Wystąpił jedyny problem szlakowania dolnej części komory paleniskowej.

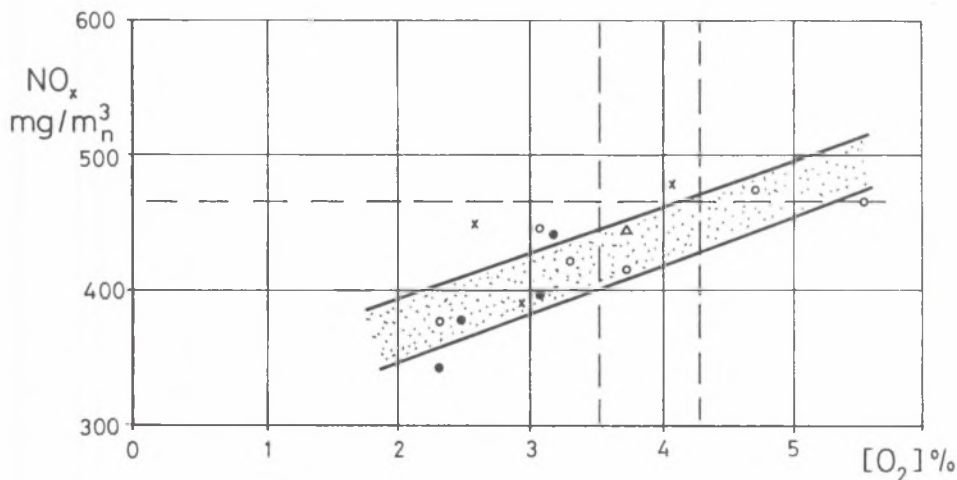
Uważamy, że przy ekranie szczelnym i przy odpowiednim reżimie pracy komory paleniskowej to niekorzystne zjawisko można było opanować. Jednakże dalszych prób zaniechano.

4. MODERNIZACJA KOTŁA W EC Z. A. PUŁAWY

4.1. Opis kotła przed modernizacją

Modernizacji poddano kocioł OP-215 nr 5, o parametrach – $Q = 215 \text{ t/h}$, $p = 9,6 \text{ MPa}$, $t = 540^\circ\text{C}$.

Kocioł posiada w odróżnieniu od kotła OP-230 w ECS szczelną komorę paleniskową z narożnym ustawieniem czterech kolumn palnikowych, w każdej kolumnie po cztery strumieniowe palniki pyłowe. Każdy palnik składa się z dyszy pyłowej o przekroju $220 \times 400 \text{ mm}$ i położonych nad i pod nim dwóch kanałów wtórnego powietrza o przekroju $240 \times 400 \text{ mm}$.



Rys. 3. Zależność stężenia emisji NO_x w spalinach w funkcji zawartości O_2 w spalinach przed podgrzewaczem wody w kotle OP-215

Fig. 3. Dependence of concentration of NO_x in flue gas as a function of oxygen concentration upstream the economizer on the boiler OP-215

Do przygotowania i podania paliwa kocioł wyposażony jest w cztery pyłosy-
stemy, z których każdy pracuje na jedną dyszę kolumny palnikowej.

Przygotowanie paliwa realizowane jest średniobieżnym młynem kulowym,
typu EM-70 ($W = 4,2 \text{ kg/s}$, $Q_{\max} = 5,5 \text{ m}_n^3/\text{s}$), suszenie i transport paliwa
gorącym powietrzem za pomocą wentylatorów młynowych typ GC-145 ($n =$
 1485 obr/min , $Q = 13,5 \text{ m}_n^3/\text{s}$, $H = 8 \text{ kPa}$). Kocioł posiada dwa wentylatory
ciągu typu 2000-1-90 ($Q = 80 \text{ m}_n^3/\text{s}$, $H = 2,05 \text{ kPa}$) i dwa wentylatory podmu-
chu typu DL/2-1600 ($Q = 37 \text{ m}_n^3/\text{s}$, $H = 4,35 \text{ kPa}$).

Przed modernizacją kocioł osiągnął zadowalające parametry techniczne, z
wyjątkiem ilości emitowanych NO_x na poziomie 760 mg/m_n^3 i za wysokiej
temperatury spalin wylotowych.

4.2. Zakres modernizacji

W zakres modernizacji włączone zostały niżej wymienione zmiany konstru-
kcji palników, kanałów powietrza, systemu odzūżlania.

1. Połowa dysz wtórnego powietrza (wszystkie dolne) została zaślepią, a
połowa (górne), podobnie jak dysze pyłowe, została pochylona w dół pod
kątem 40° za pomocą nasadek, bez zmiany przekroju.
2. Celem uzyskania wirowej aerodynamiki procesu paliwowego część gorące-
go powietrza jest wprowadzona w dolną część chłodnego leja za pomocą
czterech kanałów położonych po dwa w jednej połówce komory palenisko-
wej, przy tym węzły w jednej połówce komory paleniskowej skierowano na
przód skosu chłodnego leja, a w drugiej na skos tylnego.
3. Zastosowanie wiru niskotemperaturowego przewiduje w zasadzie niepo-
wstawanie żużla w procesie spalania. Pozwala to znacznie uprościć kon-
strukcję układu odzūżlania, niepotrzebna staje się instalacja spłukiwania
wanien żużla oraz łamacze żużla. Pod lejem zastosowano aparaty spłucz-
ne, które nie sprawiają problemu w eksploatacji i szczelnie zamykają lej
kotła.

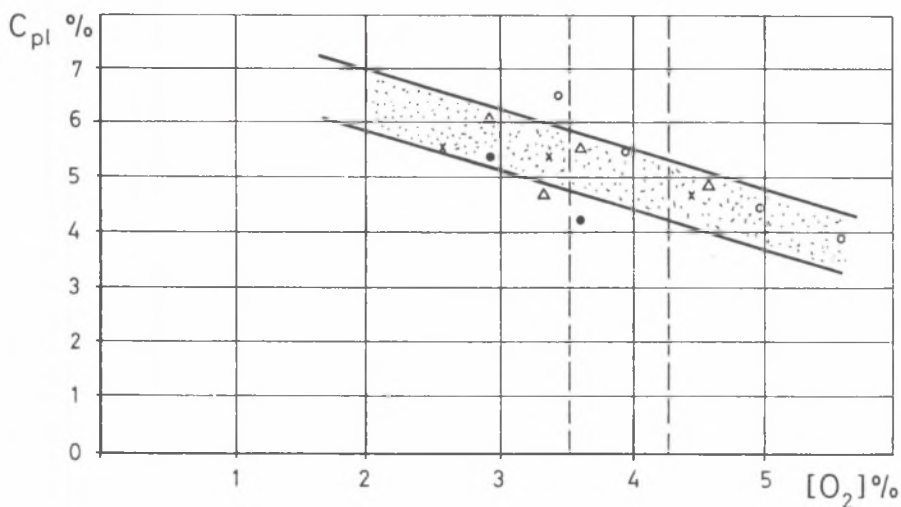
4.3. Ocena pracy kotła po modernizacji

W czasie prowadzenia cieplnych i ekologicznych badań kotła po jego rokon-
strukcji (podobnie jak przed) w kotle spalał się węgiel kamienny z KWK
„Bogdanka” o parametrach: $Q_f^i = (19, 7, 21, 5) \text{ MJ/kg}$, $W^r = (9...13)\%$, $A^r =$
 $(22...26)\%$.

Jak pokazały badania cieplne kotła w ruchu testowym i gwarancyjnym,
maksymalna wydajność kotła po rekonstrukcji przy dowolnym połączeniu tak
dwóch, jak i trzech pracujących młynów zwiększyła się o 20–25 t/h i wynosiła
nawet 250 t/h. Bezpieczna praca kotła z trwałym przeciążeniem została po-
twierdzona pomiarami cyrkulacji i temperatur ścian parownika wykonanymi
przez Energopomiar Gliwice. Minimalnie, bez podtrzymywania gazem uzy-
skano wydajność 140 t/h przy jednoczesnej pracy dwóch młynów.

W przedstawionym zakresie obciążeń proces spalania przebiega spokojnie, pulsacja zbadana w komorze nie przewyższa 2–3 mm H₂O, szlakowania palników, powierzchni ekranowych i przegrzewaczy nie stwierdzono. Należy podkreślić, że przez okres 45 dni nie używano parowych zdmuchiaczy komory paleniskowej, a przed modernizacją zdmuchiaczy używano raz na dobę.

Wystąpiło niewielkie podwyższenie ilości części palnych do 6% (rys. 4), mimo to sprawność energetyczna kotła po rekonstrukcji wzrosła z 89% do (90,0...91,7)%, dzięki obniżeniu temperatury spalin wylotowych. Podstawowe techniczno-ekonomiczne wskaźniki pracy kotła przedstawione zostały w tabl. 2.



Rys. 4. Zależność zawartości części palnych w popiele w funkcji zawartości O₂ w spalinach przed podgrzewaczem wody w kotle OP-215

Fig. 4. Dependence of concentration of carbon in fly ash as a function of oxygen concentration upstream the economizer on the boiler OP-215

W celu bardziej pełnego określenia możliwości schematu wirowego spalania paliwa w części obniżenia emisji NO_x była przeprowadzona seria badań w szerokim zakresie zmian ilości i rozdziału wtórnego powietrza oraz konfiguracji pracy młynów. W czasie tych prób uzyskano nawet emisję NO_x poniżej 300 mg/m_n³.

Na podstawie pomiarów przeprowadzonych przez Energopomiar stwierdza się, że zależność stężenia NO_x od wydajności kotła jest bardziej płaska i dlatego eksploatacyjne wahanie się reżimu pracy kotła słabo wpływa na emisję NO_x. Koncentracja CO w spalinach przy O₂ (2,7...2,8)% nie jest większa niż (35...45) mg/m_n³.

Tablica 2

Efekty modernizacji kotła OP-215 EC Puławy

Parametry	Jedn. miary	Przed modernizacją	Po modernizacji
Osiągana wydajność	t/h	215	220 – 240
Temperatura spalin odlotowych	°C	180 – 220	147 – 160
Temperatura spalin przed LUVUO	°C	400 – 420	300 – 320
Sprawność kotła brutto	%	89	90 – 93
Emisja NO _x przy O ₂ = 6%	mg/m _n ³	550 – 650	340 – 450

WNIOSKI

Rekonstrukcja kotła OP-215 na wirowe spalanie węgla kamiennego dała wymierne korzyści:

1. Podwyższone obciążenie parowe kotła do 250 ton/h bez szlakowania komory paleniskowej, grodzi przegrzewacza pary i konwekcyjnych powierzchni kotła.
2. Uzyskano możliwość obniżenia obciążenia kotła do 140 t/h przy zachowaniu naturalnej cyrkulacji w konturze kotła bez podtrzymywania paliwem stabilizacyjnym (gazem).
3. Sprawność kotła wzrosła o (1,0...3,0)% i w przedziale obciążeń (215...240) t/h osiągnęła 92%.
4. Emisja NO_x w spalinach została obniżona do 300...400 mg/m_n³ (120 g/GJ) i nie przekracza 170 g/GJ w szerokim zakresie zmiany współczynnika nadmiaru powietrza (rys. 3). Zastosowanie „zimnego wiru” przyniosło wymierne efekty w postaci nienaliczania kar przez Zakład Ochrony Środowiska. Można przyjąć, że średnio na jeden kocioł opłata za I kwartał '94 wyniosła 381.072.348 zł. Zastosowanie „zimnego wiru” przy sprawności 60% zmniejszy opłatę na 1 kotle o 229 mln zł/kw, co daje zmniejszenie opłaty rocznej z jednego kotła o ok. 1 mld zł.
5. Obniżenie całkowitej emisji NO_x, SO₂, CO₂ i popiołu na skutek wzrostu sprawności kotła.

Rezultaty modernizacji na kotłach wodnych w EC Siekierki, jak również kotłów parowych w EC ZA Puławy pokazały możliwość rzeczywistego podwyższenia ekonomicznych i ekologicznych parametrów pracy działających urządzeń kotłowych na bazie wirowego niskotemperaturowego spalania bez znacznych kosztów poniesionych na rekonstrukcję.

LITERATURA

- [1] Finkier F.Z., Czamin W.A., Świrski J.: Nowy sposób niskotemperaturowego spalania pyłu węglowego. *Energetyka* 1992, nr 9.
- [2] Opracowania "Energopomiaru" Gliwice i Instytutu Energetyki Warszawa.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ludwik CWYNAR

Wpłynęło do Redakcji 10. 08. 1994 r.

Abstract

The report presents the design of construction of vortex – coal – combustion system.

The system reduces concentration of NO_x in flue gas and additionally increases the efficiency and capacity of boilers. The technology of vortex – coal – combustion system consist in distribution of secondary air into two streams: one of them being blown on the bottom of boiler and the other blown through the powdered fuel burners.

The powdered fuel – burners are directed down in combustion chamber at the angle $35 - 40^\circ$. This system results in NO_x emission reduction down to level conforming with NO_x emission standards to become obligatory after 1997.

The paper presents received effects of adaptation of vortex – coal – combustion system on boilers WP-120 and OP-230 Siekierki power plant as well as OP-215 Puławy power plant.

Costs of the modernization are low because the vortex – coal – combustion uses existing burners and pulverizers.