

Viola WRÓBLEWSKA, Jan ŚWIRSKI, Jerzy SZYMCZAK

Instytut Energetyki, Warszawa

Feliks SERANT

Sybtchenergo, Nowosybirsk, Rosja

## NOWE ROZWIĄZANIE NISKOEMISYJNYCH PALNIKÓW STRUMIENIOWYCH W KOTLE WP-120

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono nową konstrukcję palników strumieniowych na pył węglowy, umożliwiających obniżenie emisji  $\text{NO}_x$ . Omówiono szczegóły konstrukcyjne rozwiązania i sposób obniżenia tlenków azotu w spalinach. Przedstawiono rezultaty prac pomiarowo-badawczych przeprowadzonych na kotle WP-120.

### NEW LOW-EMISSION JET BURNER DESIGN

**Summary.** The paper presents new design of jet-type coal dust burners with reduced  $\text{NO}_x$  emission. Characteristic features of this design are discussed, as well as principles of operation. Scope and results of tests, performed on a WP-120 boiler with new low-emission combustion system installed, are also described.

### НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ГОРЕЛКИ СО СНИЖЕННОЙ ЭМИССИЕЙ ОКСИДОВ АЗОТА

**Резюме.** В докладе представлена новая конструкция струйных горелок с пониженной эмиссией  $\text{NO}_x$ . Оговорены особенности конструкции и способ снижения оксидов азота в горелке. Представлены результаты тестовых испытаний горелок проведенных на котле WP-120.

### 1. WSTĘP

Modyfikacja procesu spalania w kotłach energetycznych, połączona z wymianą palników pyłowych na niskoemisyjne, jest tanim i skutecznym sposobem zmniejszenia emisji tlenków azotu do atmosfery. Palniki niskoemisyjne mogą zredukować emisję  $\text{NO}_x$  nawet o 50% bez pogorszenia efektów ekonomicznych spalania paliw stałych.

W niniejszym referacie przedstawiono wyniki badań kotła WP-120 w EC Lublin-Wrotków z zainstalowanymi palnikami niskoemisyjnymi strumieniowymi nowej generacji [1]. Badania kotła WP-120 przeprowadzono w ramach projektu celowego, którego wykonawcą jest firma ECOENERGIA.

## 2. OPIS KONSTRUKCJI PALNIKÓW I DYSZ OFA

Koncepcja niskoemisyjnego spalania w kotle WP-120 polega na zastosowaniu niskoemisyjnych palników strumieniowych z regulowanym rozdziałem powietrza w obszarze wydzielania się części lotnych i zapłonu oraz wprowadzeniu dodatkowego powietrza do komory paleniskowej przez dwustopniowy system dysz powietrza górnego (OFA). Szkic wymiarowy palnika oraz rozmieszczenie dysz pyłowych i powietrza wtórnego w przekroju poziomym komory paleniskowej pokazano na rys. 1.

Cechą charakterystyczną tego rozwiązania jest umieszczenie dysz powietrza wtórnego i dysz pyłowych, zasilanych przez jeden młyn, na tym samym poziomie, przy czym powietrze wtórne w każdym palniku rozdziela się na dwa strumienie, z których jeden skierowany jest wzdłuż strumienia paliwa, zaś drugi równoległe do ściany komory paleniskowej. Zarówno dysze pyłowe, jak i dysze powietrza wtórnego mają kształt pionowych szczelin.

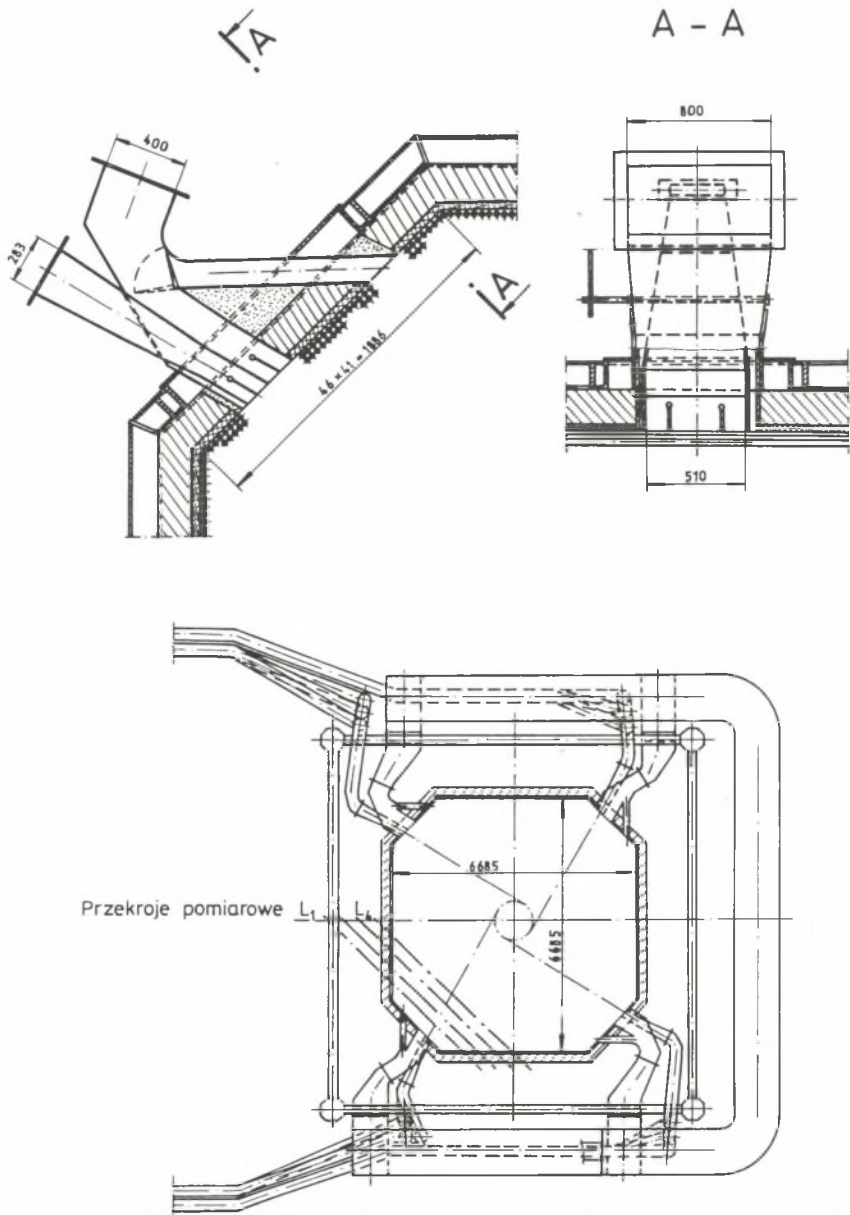
Powietrze OFA doprowadzone jest do komory paleniskowej na dwóch poziomach:

- pierwszy poziom – ok. 3 m powyżej palników głównych,
- drugi poziom – ok. 7,5 m powyżej palników głównych – rys. 2.

Dysze powietrza OFA skierowane są na większe koło wiru i w przeciwnym kierunku aniżeli dysze pyłowe. Konstrukcja dysz OFA umożliwia zmianę wielkości koła wiru dzięki zastosowaniu kłapy sterującej rozdział strumienia powietrza na dwa wyloty usytuowane pod różnymi kątami.

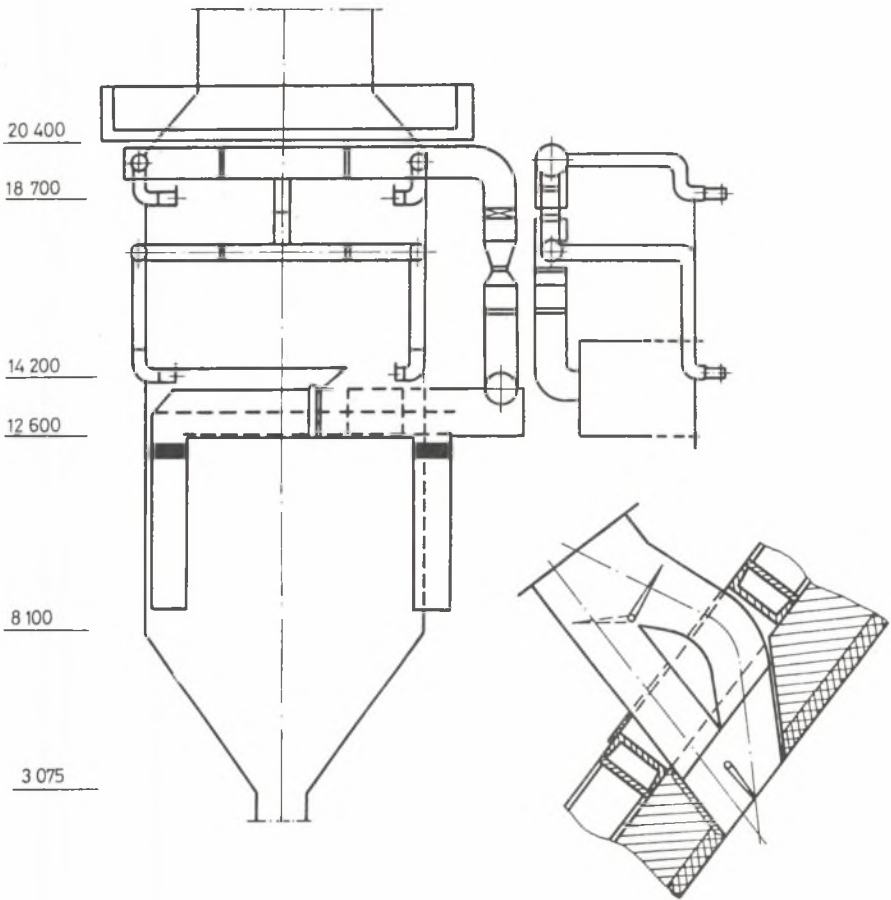
System doprowadzenia powietrza do palników głównych i dysz OFA, wyposażony w zwężki pomiarowe i kłapy regulacyjne, umożliwiające dostosowanie ilości powietrza do obciążenia młynów, włączony jest do układu automatyki kotła [2].

W celu poprawy jakości przemiału zmodernizowano separatory w młynach MWk-16, przy czym podczas prowadzonych badań zmodernizowane były tylko dwa separatory: w młynie A, zasilającym górny rząd palników i młynie C, zasilającym dolny rząd palników. Modernizacja separatorów polegała na wprowadzeniu dodatkowych kierownic przed wlotem pyłu na łopatki separatora oraz zainstalowaniu przysłony na tylnej ścianie separatora.



Rys. 1. Szkic wymiarowy palnika oraz rozmieszczenie palników w komorze paleniskowej

Fig. 1. Dimensional sketch of the burner and burner locations in the combustion chamber



Rys. 2. Konstrukcja dysz OFA oraz rozmieszczenie dysz w kotłach WP-120

Fig. 2. Design of OFA nozzles and their locations in the WP-120 boiler

### 3. ZAKRES BADAŃ KOTŁA

Zakres przeprowadzonych badań ilustruje tablica 1. Podstawowe pomiary bilansowe układu młynowo-paleniskowego wykonano przy pełnej wydajności kotła (pomiary 1 ÷ 18). Celem pomiarów przy niskich obciążeniach kotła (pomiary 20 ÷ 22) było przede wszystkim sprawdzenie minimum technicznego kotła, które przy pracy młynów A i C wynosi poniżej 50% obciążenia nominalnego.

Tablica 1

## Zestawienie pomiarów kotła WP-120

Lp.	Nr pomiaru	Jedn.	1 ÷ 5	7 ÷ 8	9 ÷ 18	20 ÷ 22	
1	moc kotła	MW <sub>t</sub>	130 ÷ 140	130 ÷ 140	120 ÷ 140	60 ÷ 100	
2	czynne młyny	—	A; B	B; C	A; C	A; C	
3	parametry węgla	Q <sub>i</sub> <sup>r</sup>	MJ/kg	21,45	20,3	22,3	21,16
4		W <sub>t</sub> <sup>r</sup>	%	12,0	10,6	11,4	11,2
5		A <sup>r</sup>	%	19,8	23,0	20,1	19,5
6	spaliny przed OPP	O <sub>2</sub>	%	4,4 ÷ 6,6	5,7 ÷ 5,9	4,9 ÷ 6,3	5,6 ÷ 5,7
7		CO	mg/m <sub>n</sub> <sup>3*</sup>	30 ÷ 50	102 ÷ 132	12 ÷ 124	26 ÷ 40
8		NO <sub>x</sub>	mg/m <sub>n</sub> <sup>3*</sup>	405 ÷ 580	360	302 ÷ 496	405 ÷ 450
9	części palne	C <sub>z</sub>	%	15 ÷ 28	33,6	8 ÷ 38	7,1
10		C <sub>p</sub>	%	4,6 ÷ 10,7	7,7	3,6 ÷ 9,1	5,8 ÷ 10,5
11	przemiał młyn	A	R <sub>90</sub> /R <sub>200</sub> %	21,8/3,7			
12		B		37,0/15,0			
13		C		18,5/1,9			

Uwaga: \*) Wartości CO i NO<sub>x</sub> podano w przeliczeniu na 6% O<sub>2</sub>.

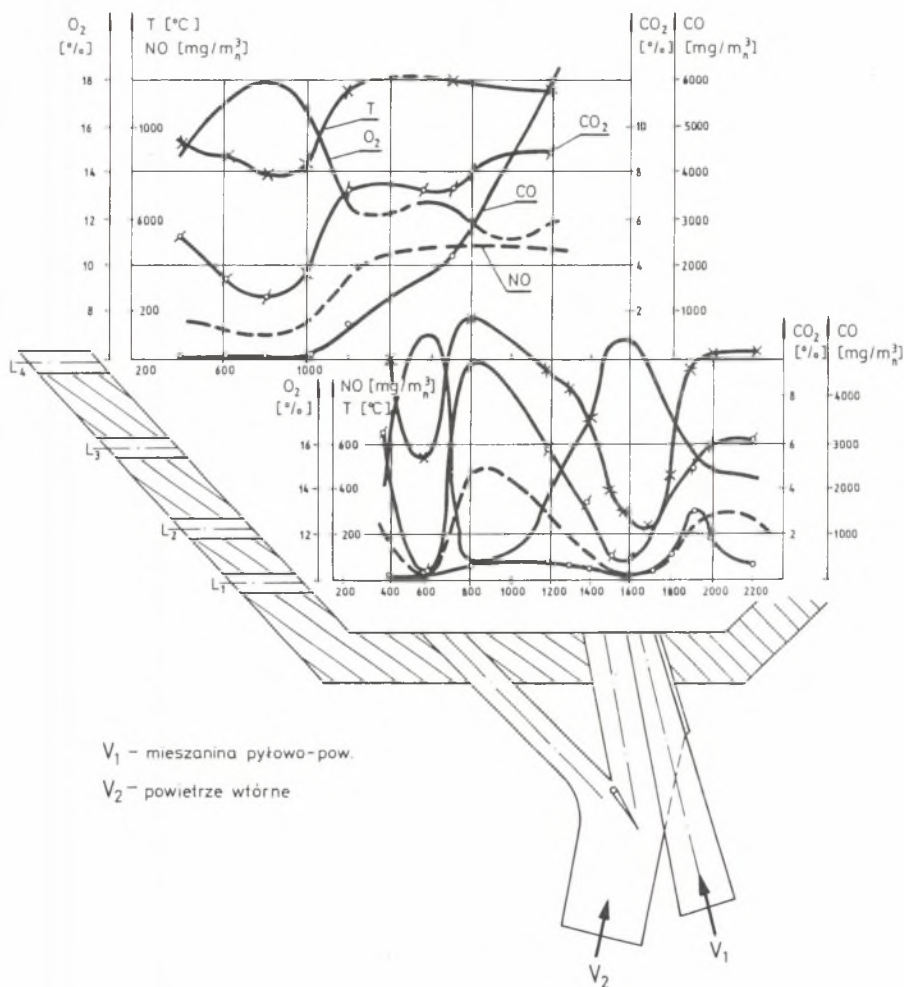
W czasie pomiarów spalany był węgiel z kopalni LZW–Bogdanka o wartości opałowej 20,3 ÷ 22,3 MJ/kg. Pomiary wykonywano przy różnych układach pracujących młynów i przy różnym nadmiarze powietrza w palenisku. Nadmiar powietrza przed OPP zawierał się w granicach  $\lambda = 1,25 \div 1,45$ , zaś udział powietrza OFA w stosunku do wartości stechiometrycznej wynosił 10 ÷ 22%.

Jakość przemiału z młynów A i C była zbliżona do zakładanej w projekcie, zaś z młyna B, który nie został zmodernizowany, udział grubych frakcji pyłu był bardzo duży, co miało wyraźny wpływ na wzrost zawartości części palnych w żużlu i w lotnym popiele.

#### 4. WYNIKI BADAŃ STRUKTURY PŁOMIENIA

Oprócz pomiarów bilansowych układu młynowo–paleniskowego przeprowadzono szczegółowe badania struktury płomienia w prawym przednim narożu kotła za palnikiem zasilanym przez młyn C. W tym celu na przedniej ścianie kotła wykonane zostały cztery otwory usytuowane prostopadle do osi wypływu mieszaniny pyłowo–powietrznej z palnika w odległości  $L_1 = 200$  mm;  $L_2 = 450$  mm;  $L_3 = 800$  mm;  $L_4 = 1200$  mm od wylotu – rys. 1. W przekrojach tych, przy różnych warunkach pracy palnika, wykonano pomiary rozkładu temperatury gazów spalinowych, analizę składu spalin oraz pomiary koncentracji

cząstek stałych w strumieniu pobierając przy tym próbki pyłu do analizy stopnia wypalenia i zawartości azotu w niespalonym pyłe węglowym. Na rys. 3 pokazano przykładowo rozkład temperatur spalin oraz koncentracji  $O_2$ ;  $CO$ ;  $CO_2$  i  $NO$  w dwóch przekrojach za palnikiem, zaś na rys. 4 rozkład koncentracji pyłu węglowego i stopień gazyfikacji azotu  $\Psi_N$  w czterech przekrojach za palnikiem określony wzorem:



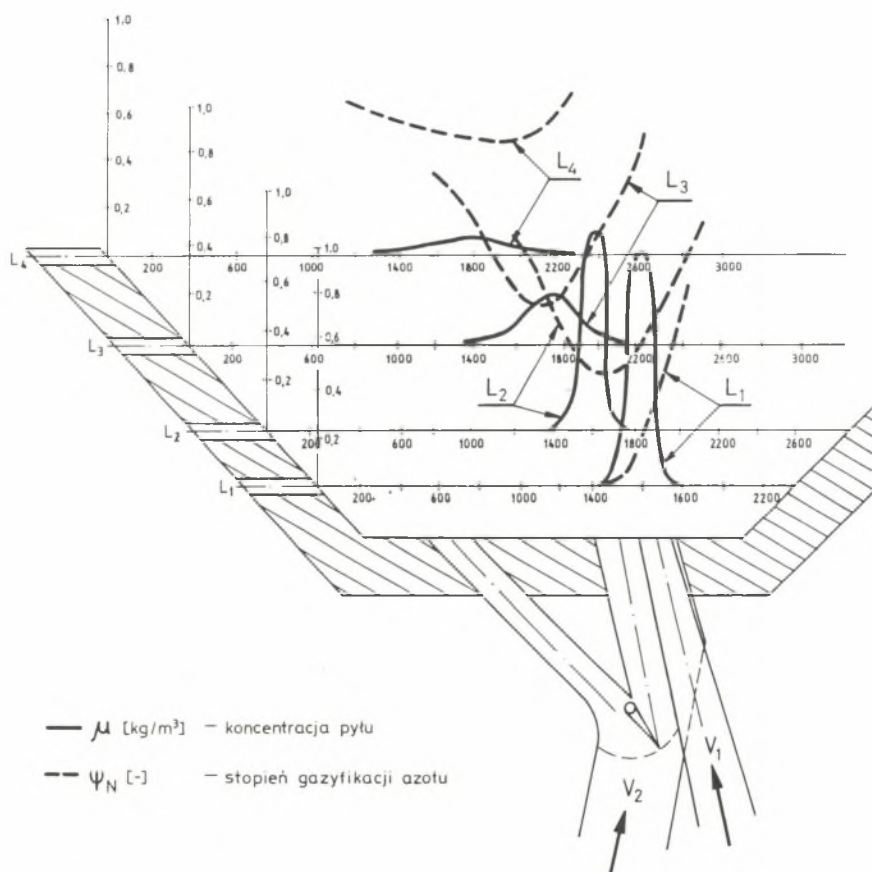
Rys. 3. Rozkład temperatur i skład gazów spalinowych w przekrojach  $L_2$  i  $L_4$

Fig. 3. Temperature distribution and flue gas composition in  $L_2$  and  $L_4$  cross-sections

$$\Psi_N = 1 - \frac{N_{pr}^{daf}}{N_{in}^{daf}} \cdot \frac{U_{pr}}{100 - U_{pr}} \cdot \frac{A^r}{100 - A^r - W^r},$$

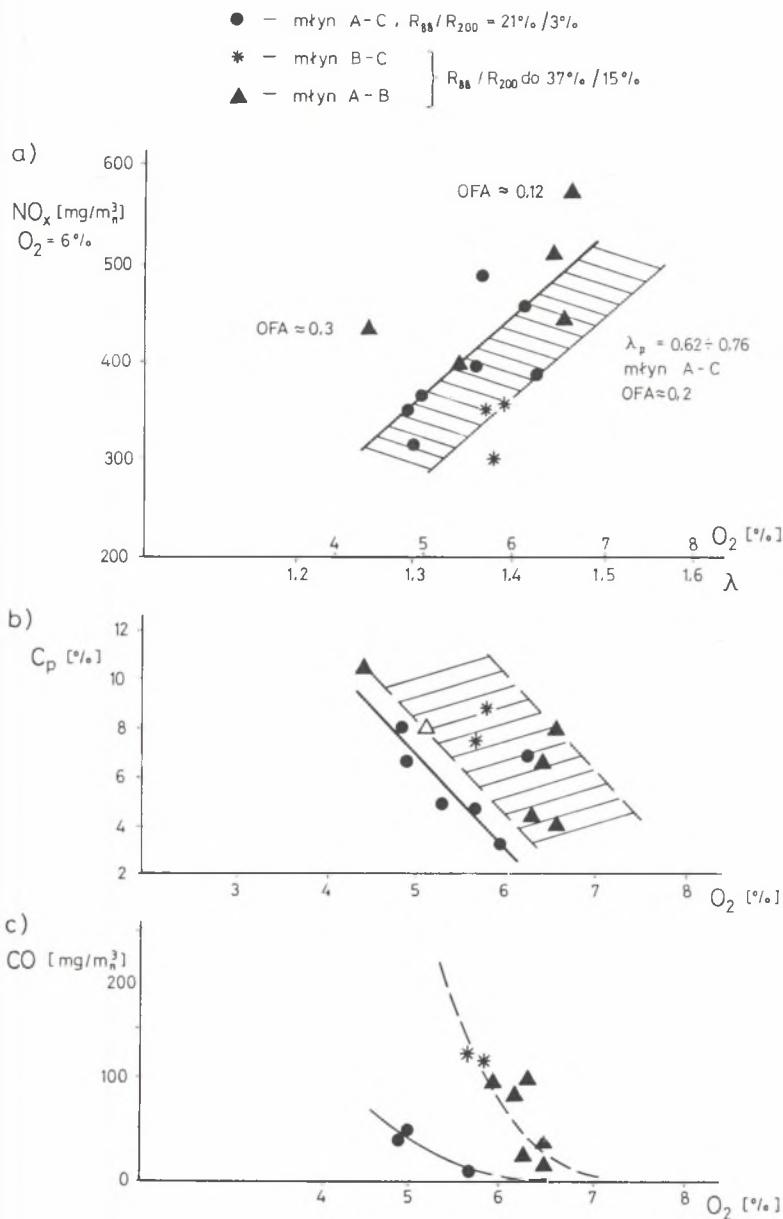
gdzie:

- $N_{pr}^{daf}$  – koncentracja azotu w próbce pobranej z płomienia,  
 $N_{in}^{daf}$  – koncentracja azotu w węglu surowym ( $N_{in}^{daf} = 1,6 \div 1,7$ ),  
 $U_{pr}$  – części palne w próbce pobranej z płomienia,  
 $A^r, W^r$  – popiół i wilgoć w węglu surowym.



Rys. 4. Rozkład koncentracji pyłu węglowego i stopień gazyfikacji azotu w przekrojach L<sub>1</sub> – L<sub>4</sub>

Fig. 4. Distributions of coal dust concentration and nitrogen gasification in the L<sub>1</sub> – L<sub>4</sub> cross-sections



Rys. 5. Stężenie  $\text{NO}_x$  (a),  $\text{CO}$  (c) w spalinach przed Popo oraz niedopał w popiele lotnym (b) w funkcji zawartości tlenu przed Popo

Fig. 5. Concentrations of  $\text{NO}_x$  (a) and  $\text{CO}$  (c) in flue gas upstream the air heater and carbon in flyash (b) as a function of oxygen concentration upstream the air heater



## 5. OPTYMALNE PARAMETRY PRACY KOTŁA

Na rys. 5a, 5c zestawiono wyniki pomiarów emisji  $\text{NO}_x$  i CO oraz zawartości części palnych w lotnym popiele podczas wszystkich przeprowadzonych prób. Przy pracy kotła z włączonym młynem B występuje zawsze zwiększony udział części palnych w żużlu i lotnym popiele oraz wyższa koncentracja CO w spalinach odlotowych. Najniższy poziom emisji tlenków azotu występuje przy niskim nadmiarze powietrza doprowadzonego do palników głównych ( $\lambda_p = 0,62 \div 0,76$ ) przy udziale powietrza OFA  $\approx 20\%$ . Na rys. 5a pokazano wpływ udziału powietrza OFA na poziom emisji  $\text{NO}_x$  i zawartość części palnych w lotnym popiele przy pracujących młynach A i C, zaś na rys. 5b – optymalny zakres pracy kotła z młynami A i C w funkcji nadmiaru powietrza doprowadzonego do palników głównych w warunkach dotrzymania normy emisji  $\text{NO}_x$  po 1997 r. i utrzymania zawartości części palnych w lotnym popiele  $5 \div 8\%$ .

## 6. WNIOSKI

1. Opracowana i zbadana w warunkach eksploatacyjnych nowa konstrukcja palnika niskoemisyjnego typu strumieniowego w pełni potwierdziła zalety rozwiązania osiągając głęboką redukcję emisji tlenków azotu. Kocioł WP-120 wyposażony w ww. palniki spełnia wymagania normy emisji  $\text{NO}_x$  po 1997 r.
2. Ważną zaletą zaprezentowanych palników niskoemisyjnych jest stabilna praca kotła w bardzo szerokim zakresie obciążeń od 45 do 100%.
3. Badania struktury płomienia za palnikiem niskoemisyjnym potwierdziły słuszność założeń konstrukcyjnych, a ich wyniki posłużą do optymalizacji konstrukcji palników z wykorzystaniem metod matematycznego modelowania.
4. Ze względu na złą jakość przemiału z młyna B, zasilającego środkowy rząd palników, nie można było w pełni wykorzystać możliwości nowego systemu niskoemisyjnego spalania, zwłaszcza w odniesieniu do stopnia wypalenia pyłu (obniżenie zawartości części palnych w żużlu i lotnym popiele).

## LITERATURA

- [1] Zgłoszenie patentowe nr P-298186 na „Układ do niskoemisyjnego spalania pyłu węglowego w kotłach”.
- [2] Praca zbiorowa: Obliczenia, założenia i wytyczne do projektu automatyki palników niskoemisyjnych wirowych i strumieniowych. Opracowanie Instytutu Energetyki, Warszawa 1992.

- [3] Wróblewska V., Serant F.: Badania eksploatacyjne prototypów palników niskiej emisji  $\text{NO}_x$  dla kotłów WP-120, OP-230 i analiza wyników w celu doboru optymalnych warunków pracy. Opracowanie Instytutu Energetyki, Warszawa 1993.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ludwik CWCYNAR

Wpłynęło do Redakcji 25.08.1994 r.

### Abstract

The paper presents the new design of pulverized coal jet burner, conceived for reduction of  $\text{NO}_x$  emission from coal-fired boilers. This burner has the characteristic feature of secondary air and coal dust nozzles, fed by one coal mill, being located at the same level, with secondary air, supplied to each burner, split into two streams, one of them being directed along the fuel stream and the other flowing parallel to combustion chamber wall. Both coal dust and air nozzles have a shape of vertical slot. This burner ensures stable boiler operation within broad range of load, from 45% to 100% rated load. Installation of this burner in a WP-120 boiler in Lublin CHP Plant has resulted in emission reduction down to the level conforming with  $\text{NO}_x$  emission standards to become obligatory after 1997. The burner has been subject to extensive operational testing, which has allowed for operational parameters optimization with respect to the lowest possible  $\text{NO}_x$  emission. In measuring cross-sections downstream the burner, with various burner conditions, temperature and flue gas composition distributions have been measured, as well as solid particles concentration in the stream, and samples have been taken in order to analyse coal burn-out and nitrogen concentration in unburnt coal.