

Edward TARNÓWKA

Instytut Energetyki
Zakład Procesów Ciepłych

OBLICZENIA CIEPLNE KOMÓR PALENISKOWYCH KOTŁÓW PYŁOWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM WŁASNOŚCI KINETYCZNYCH PALIWA

Streszczenie. W referacie przedstawiono procedurę obliczeń wymiany ciepła w komorach paleniskowych kotłów przy użyciu tzw. rozszerzonej metody strefowej.

Zaprezentowana metoda wykorzystuje elementy klasycznej metody strefowej w części dotyczącej obliczeń współczynników absorpcji. Obliczenia wymiany ciepła w rozszerzonej metodzie strefowej realizowane są przy założonej aerodynamice i uwzględnieniu trójwymiarowej wymiany ciepła przez promieniowanie oraz kinetycznych własności paliwa przy określaniu efektu cieplnego wypełnienia w funkcji drogi. Przedstawiono wyniki obliczeń komory paleniskowej El. Połaniec i El. Dolna Odra. Porównano rezultaty obliczeń z wynikami pomiarów kotła rzeczywistego.

1. Wstęp

W Instytucie Energetyki opracowano metodę i program na EMC obliczeń efektu spalania w komorach paleniskowych kotłów pyłowych, uwzględniającą w maksymalnym stopniu wszystkie dostępne informacje o przebiegu zjawisk składowych, a w tym też charakterystyki kinetyczne paliwa. Powyższa metoda obliczeń wymiany ciepła w komorach paleniskowych kotłów pyłowych nazwana została "rozszerzoną metodą strefową" ze względu na pewne analogie rozwiązań formalnych, stosowanych w klasycznej metodzie strefowej [1].

2. Obliczenia cieplne komór paleniskowych

Program obliczeń jest połączeniem klasycznej metody strefowej [1] z założoną aerodynamiką, w której to metodzie obliczenia wymiany ciepła na drodze promieniowania realizowane są w trzech kierunkach metodą strumieniową oraz uwzględnia się w niej kinetykę reakcji spalania paliwa.

Powyższe podejście, jak i spełnienie dodatkowego warunku, tzn. uzgodnienie bilansu energetycznego wymiany ciepła w komorze z kinetyką reakcji spalania, zwiększa stopień przybliżenia wyników obliczeń do rzeczywistych parametrów pracy. Metoda ta umożliwia ponadto wariantową analizę pracy komór spalania w zależności od zmiany rodzaju spalanego paliwa, układu pracujących palników, bądź zmiany reżimu ich pracy (przebieg, wilgość, nadmiar powietrza, temperatura). Pozwala także ana-

lizować wpływ takich parametrów pracy komory spalania, jak wpływ zażużlowania ścian, nieszczelności komory itp. na jakość spalania i wymianę ciepła w komorze. Wyniki uzyskiwane są w postaci ilości przekazywanego ciepła do poszczególnych powierzchni komory paleniskowej oraz rozkłady temperatur spalin w żądanych przekrojach.

Realizacja toku obliczeń komory paleniskowej pomyślana jest jako cykl obliczeń przeprowadzonych przy użyciu dwóch niezależnych programów.

Pierwszy program główny nazwany "TESTKOMO" realizuje obliczenia związane z uzgodnieniem bilansu energetycznego komory spalania.

W tym celu wprowadzone są do programu informacje dotyczące:

- kształtu i gabarytów obliczanej komory,
- miejsc doprowadzenia paliwa i powietrza,
- ewentualnie - miejsc odprowadzenia spalin,
- ilości wprowadzanych czynników, tzn.:
 - powietrza zimnego,
 - powietrza gorącego,
 - mieszaniny pyłowo-gazowej,
- ilości odprowadzanych spalin,
- parametrów fizycznych poszczególnych czynników takich, jak:
 - temperatura,
 - skład chemiczny,
 - jakość przemiału,
 - wilgoć,
 - kaloryczność, itd.

Ponadto zadaje się wartości temperatur poszczególnych powierzchni ścian oraz wypalenia paliwa na wysokości komory spalania.

Dane dotyczące kształtów i gabarytów komory przed wprowadzeniem do programu są odpowiednio przekształcone, gdyż tok obliczeń realizowany jest dla bryły składającej się z n_1, n_2, n_3 prostopadłościennych elementów.

W trakcie obliczeń realizowany jest bilans energetyczny poszczególnych powierzchni komory spalania związany z wymianą energii przez promieniowanie oraz bilans energetyczny poszczególnych elementów związany z:

- wymianą masy,
- wymianą energii przez promieniowanie,
- wywiązywaniem energii chemicznej w wyniku reakcji spalania paliwa.

Obliczenia ilości przekazywanego ciepła przy wymianie masy, jak i ilości wywiązywanego ciepła przy spalaniu paliwa realizowane są w sposób klasyczny. Ilość energii wymienianej przez promieniowanie pomiędzy poszczególnymi elementami, jak i ścianami komory obliczana jest metodą strumieniową przy zastosowaniu trójwymiarowego modelu wymiany w układzie Eulera [3]. Dodatkowo w obliczeniach współczynników wymiany ciepła uwzględniono wpływ wielkości komory poprzez rozwiązywanie dla

każdego z elementów uwikłanej funkcji zależności między optyczną gęstością ośrodka, efektywną długością promieniowania i gabarytami komory [2], [3]. Obliczone parametry pracy komory paleniskowej programem "TESTKOMO" wraz z danymi dotyczącymi własności kinetycznych paliwa służą jako dane wejściowe do drugiego programu, nazwanego "KINETYKA". W programie tym realizowany jest tok obliczeń wypalenia paliwa na wysokości komory spalania przy zadanych parametrach pracy tej komory. Obliczony program "KINETYKA" rozkład wypalenia danego paliwa na wysokości komory spalania przy zadanych warunkach pracy tej komory porównywany jest z uprzednio przyjętym do obliczeń w programie głównym. W wyniku porównania wartości stopnia wypalenia paliwa przyjętych, jak i obliczonych programem "KINETYKA" przyjmuje się nowe wartości wypalenia i ponownie realizowane są obliczenia programem "TESTKOMO". Tok obliczeń ponawiany jest aż do uzyskania żądanej zgodności. Rozbicie toku obliczeń na dwa osobne i niezależne programy pozwala na analizę wyników pośrednich i uzyskanie szybszej zbieżności do żądanego poziomu dokładności rozwiązania.

3. Wyniki obliczeń i pomiarów komór paleniskowych

Przeprowadzono serię numerycznej symulacji pracy kilku komór paleniskowych, pracujących na różnych węglach. Wyniki obliczeń uzyskane w formie przestrzennych rozkładów parametrów termicznych i masowych porównano z pomiarami kotła rzeczywistego. Na rys.1 zobrazowano w postaci rozkładu temperatur spaliny rezultaty obliczeń powyższym programem kotła OP-650k w El.Pożaniec przy obciążeniu bloku 140 MW przy spalaniu paliwa o parametrach podanych w tablicy 1 węgiel B. Na tle obliczonego poziomu temperatur spaliny (w odległości 0,5 m od ściany i w osi komory) na rys.1 naniesiono wartości temperatur zmierzonych pirometrem. Krzywe c+f na rys.1 obrazują profile temperatur obliczonych i zmierzonych sondą aspiracyjną na głębokości komory. Analogiczne obliczenia wykonano dla kotła OP-650k w El.Dolna Odra przy obciążeniu bloku 200 MW i paliwie jak w tablicy 1 węgiel A. Wyniki zestawiono na rys.2. Krzywa nr 1 obrazuje zarejestrowany w kotle poziom temperatur dla tego wariantu obliczeniowego. Jak widać wartość efektywnej długości promieniowania na wysokości komory ma analogiczny charakter zmian jak odległość od ścian komory, w której poziom obliczonych temperatur odpowiada wartościom zmierzonym (pomiar pirometrem), w której rejestrowano średnią temperaturę z mierzonego obszaru. Na rys.3 przedstawiono przykładowy rozkład obliczonego strumienia ciepła przekazywanego od spaliny do przedniej ściany komory paleniskowej przy parametrach pracy kotła jak na rys.1. Charakter zmian ilości ciepła przekazywanego do ścian na wysokości komory rys.3 śledzi krzywą zmian temperatur spaliny (rys.1), osiągając swoje maksimum w rejonie górnego rzędu palników $430 \frac{kW}{m^2}$ oraz poziom $120 \frac{kW}{m^2}$ na wylocie z komory paleniskowej.

Rys.4 pokazuje wpływ własności kinetycznych spalane go paliwa na jego wypalenie poprzez numeryczną symulację spalania w jednostkowym reżimie trzech rodzajów węgla o własnościach podanych w tabelicy 2. Jak widać różnice w stopniu wypalenia paliwa na wylocie z komory dochodzi do 5%. Wyniki obliczeń pokrywają się w sposób zadowalający z wartościami mierzonymi w obiektach rzeczywistych dopiero na odcinku od pasa palnikowego do wylotu z komory. Nieuwzględnienie rzeczywistej aerodynamiki jest przyczyną rozbieżności wyników obliczeń i pomiarów w dole komory paleniskowej. Niemniej informacje uzyskiwane powyższym programem są w większości wypadków wystarczające dla przeprowadzenia analiz względnych pracy komory paleniskowej w funkcji zmian jej poszczególnych parametrów pracy. Nie jest natomiast możliwa analiza pracy komory spalania wynikająca ze zmian aerodynamiki na procesy zachodzące w komorze paleniskowej. Dalsze prace prowadzone w Instytucie Energetyki mają na celu rozszerzenie niniejszego modelu o obliczenia aerodynamiki przepływających gazów w komorze paleniskowej.

Tabela 1

Parametry techniczne węgla użytych do weryfikacji obliczeń

Lp.	Wielkość	Wymiar	węgiel A	węgiel B
1.	Wilgość całkow.	%	10,40	6,30
2.	Zwart. popiołu	%	27,20	34,70
3.	Zwart. części lotnych	%	38,11	46,30
4.	Ciepło spalania części lotnych	MJ/kg	31,08	23,52
	koksu	MJ/kg	20,58	14,49

LITERATURA

- [1] Тепловой Расчет Котельных Агрегатов. Wydawnictwo Energia - Moskwa 1973 r.
- [2] Beer J.: Method for calculating radiative heat transfer from flames in combustors and furnances. Heat transfer in flames. Washington 1974 r.
- [3] E.Tarnówka: Wykorzystanie strefowego modelu wymiany ciepła przez promieniowanie do optymalizacji kształtu kotła odzysknicowego. Energetyka nr 11, 1983 r.
- [4] E. Tarnówka: Obliczenia wymiany ciepła w komorach paleniskowych kotłów pyłowych. Oprec.IEn 1985 r.

Tablica 2

Kinetyczne charakterystyki paliwa

Nr frakcji	Udział wagi frakcji, %	Średnica, mm	Przedkrotnośny współczynnik		Krotnośny współczynnik		Ekspotencjalny współczynnik		speł. koken ESK/I/ kJ/mol
			KWL/I/ kg/m ²	KSL/I/ kg/m ²	KSK/I/ kg/m ²	wydz.cz.lot. spal.oz.lot. spal.oz. loty	EWL/I/ kJ/mol	ESL/I/ kJ/mol	
1	56,09	60	2,09	11,50	101,70	27,90	61,55	73,85	
2	24	120	16,42	116,60	176,80	40,70	63,42	87,42	
3	17	200	9,59	62,09	114,80	36,17	58,07	85,54	
4	1,93	400	3,27	11,17	153,60	28,64	42,16	97,38	
5	0,07	600	1,62	1,75	126,85	22,94	24,45	104,88	
6	0,01	800	0,52	0,69	89,15	16,79	18,34	112,50	
1	56,09	60	5,73	9,78	0,09	46,13	7,40	4,85	
2	24	120	7,21	0,73	0,09	44,36	7,48	6,93	
3	17	200	10,19	4,26	0,087	43,62	30,31	7,15	
4	1,93	400	13,89	0,041	0,109	42,96	12,68	14,55	
5	0,07	600	7,79	0,296	0,546	37,70	8,32	39,09	
6	0,01	800	5,63	0,244	0,628	35,07	8,59	43,80	
1	56,09	60	1,74	1,53	0,85	24,45	26,27	45,31	
2	24	120	1,67	1,49	0,83	24,24	26,59	46,14	
3	17	200	1,54	1,50	0,59	23,78	27,38	41,57	
4	1,93	400	2,02	2,32	0,74	26,17	34,71	46,85	
5	0,07	600	1,06	0,86	0,53	21,98	26,00	44,63	
6	0,01	800	0,48	0,73	0,39	18,30	29,10	47,02	

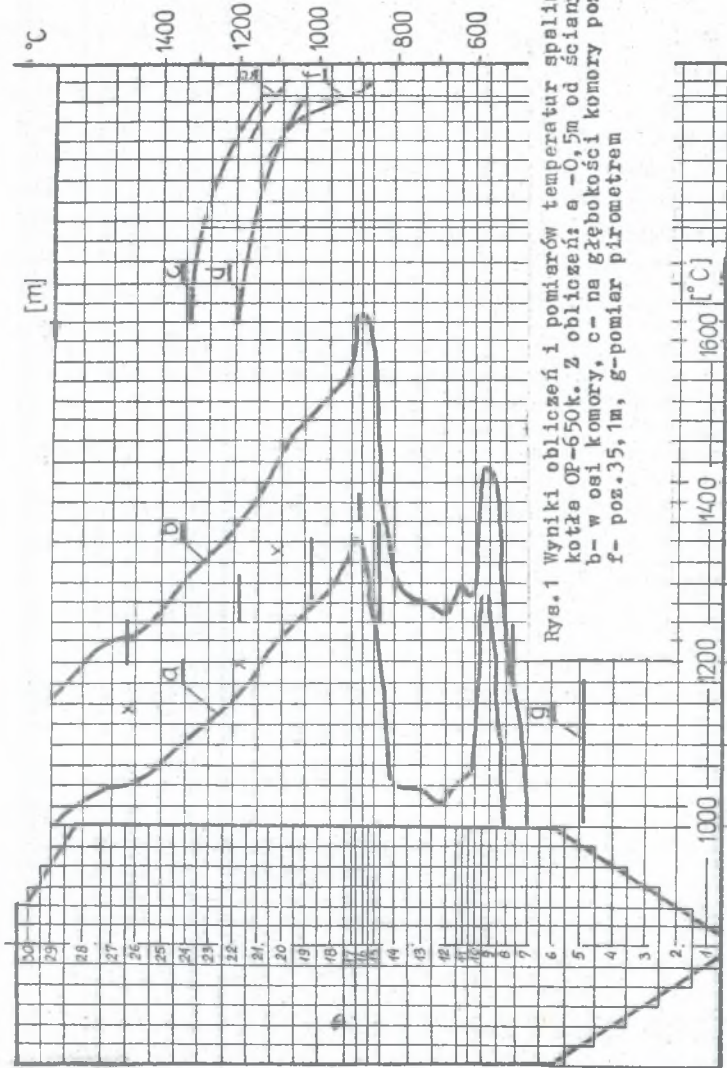
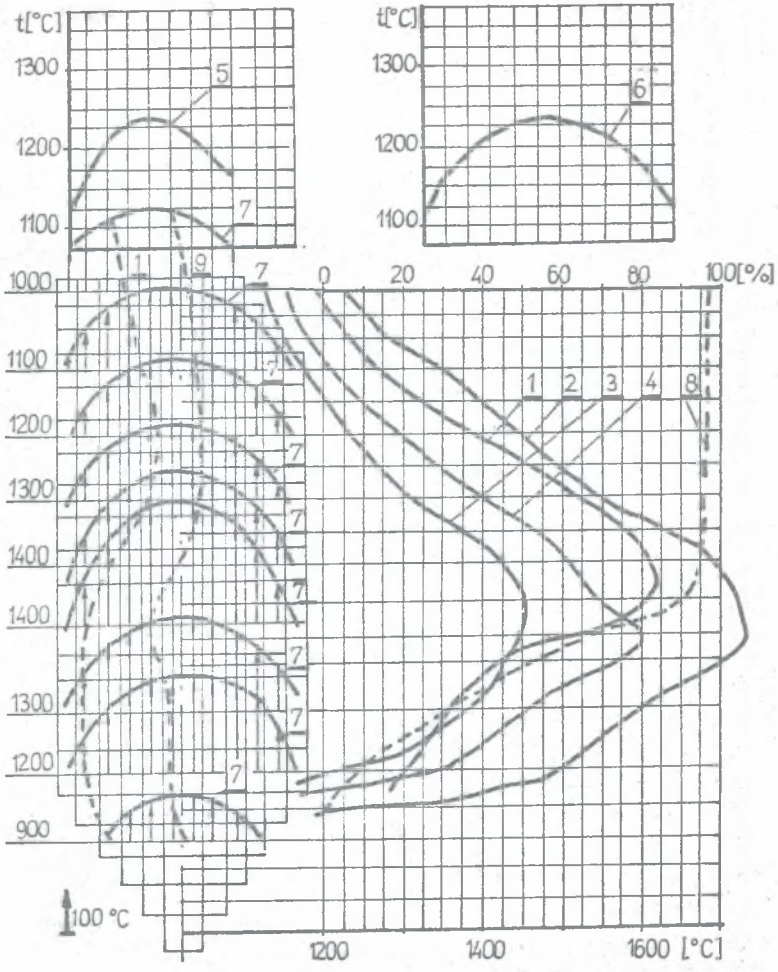
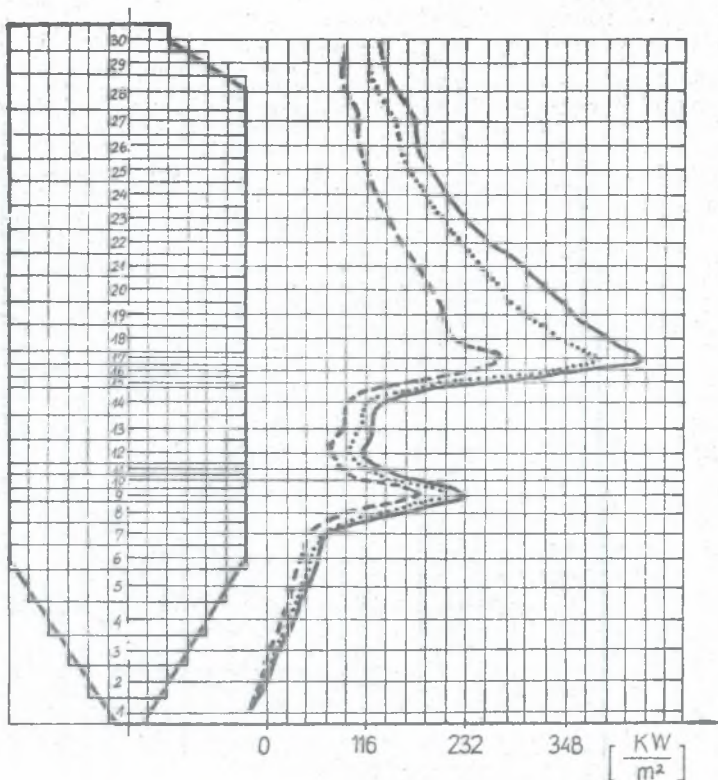


Fig. 1 Illustration of calculated and measured results of gas temperature within combustion chamber of OP-650k. Calculated: curve a - distance 0,5m from the wall, curve b - in the centre line of chamber, c - in horizontal cross-section - level 29,8m, d - level 35,1m measured: curve e - level 29,8m, curve f - level 31,1, g - measured by pirometer



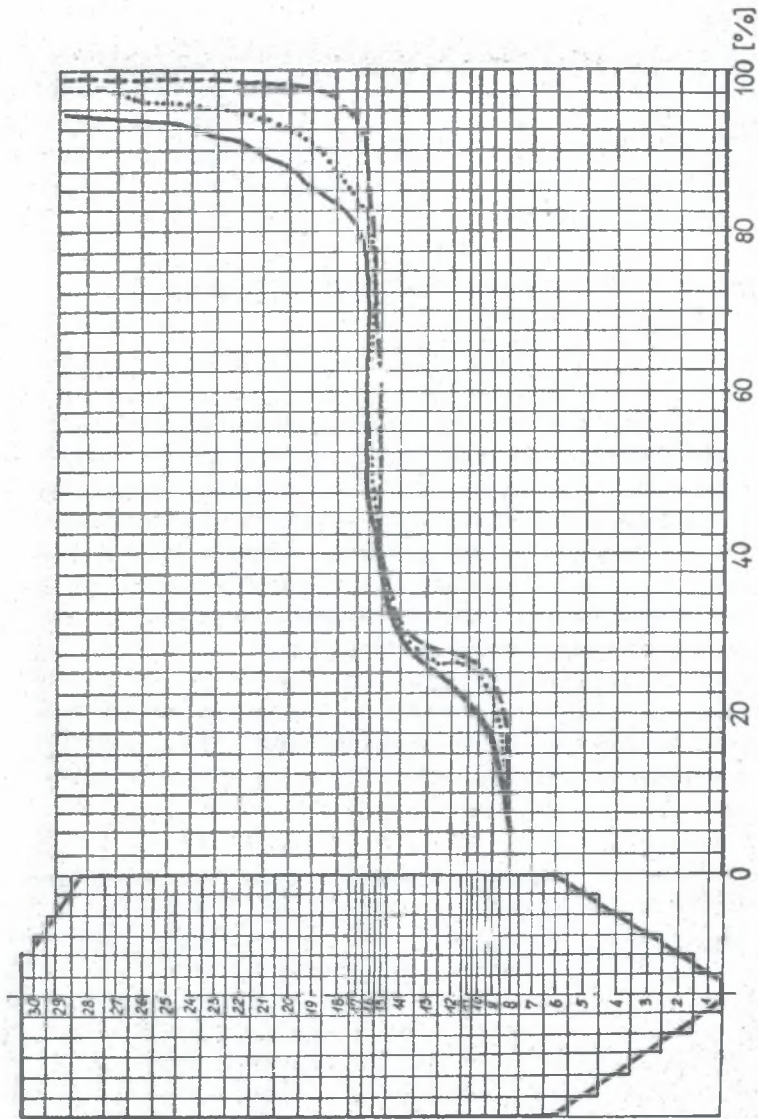
Rys.2 Rozkład temperatur spalin wg pomiarów krzywa 1, z obliczeń krzywe 2+7, 2 - w osi komory, 3- przy lewej ścianie w odle.0,45m, 4- średnie, 5 i 6 w osi komory na wylocie, 7- w przekrojach poprzecznych, 8- stopień wypalenia, 9 - odległość równa efektywnej drodze promieniowania

Fig.2 Temperature distribution of hot gases: measured - curve 1, calculated- curves 2+7 . 2- in the center line, 3- nearby the left wall; distance 0,45m, 4 - average, 5,6- in the center at the top of the chamber, 7- in horizontal cross-section, 8- percentage of burnout, 9- effective optical length



Rys.3 Rozkład strumienia ciepła przekazywanego do przedniej ściany komory spalania
 - - - - - w pobliżu bocznych ścian komory
 ————— w osi komory
 wartości średnie

Fig. 3 Distribution of heat flux to the front wall of combustion chamber
 - - - - - close to the lateral wall
 ————— in the centerline of chamber
 mean values



rys. 4 Wypalenie paliwa w komorze paleniskowej przy obciążeniu bloku 140 MW
 - węgiel z kopalni Nowy Wirek, - węgiel z kop. Siersza, - węgiel z kop. Piasz

Fig. 4 Burnout of coal within combustion chamber for partial heat release (140 MW)
 coal from the mine Nowy Wirek, - - - - - coal from the mine Siersza
 coal from the mine Piasz

ТЕПЛОВЫЕ РАСЧЁТЫ ТОПОЧНЫХ КАМЕР ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ КОТЛОВ
С УЧЁТОМ КИНЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОПЛИВА

Р е з ю м е

В докладе представлен способ расчёта теплообмена в камерной топке котла при использовании т.н. "расширенного позонного метода". Представленный способ расчёта использует элементы классического позонного метода в части, касающейся определения коэффициентов абсорбции. Расчёт теплообмена в расширенном позонном методе реализуется с трёхмерном пространстве при заданной аэродинамике расчёт выгорания ведётся с учётом кинетических свойств топлива. Представлены результаты расчётов топочных камер электростанций Полавец, Дольна Одра и их сравнение с результатами измерений на действующих котлах.

A METHOD OF CALCULATION OF PULVERIZED SOLID FUEL FIRED FURNACES
WITH APPLICATION OF KINETIC PROPERTIES

S u m m a r y

The procedure of calculation of heat transfer within boilers furnaces using "Advanced Zone Method" (AZM) is described in the paper.

The present method converges to the conventional zone method in part calculations of absorption coefficients. Calculations of heat exchange using AZM are fulfilled however, taking into consideration a three-dimensional radiational heat transfer and assumed aerodynamics of flow as well as the kinetic properties of fuel for estimation of thermal effect as a result of burning - out versus time of burning.

The results of calculation for large-scale industrial boilers (power plants Połaniec and Dolna Odra) are presented. Comparison between results of calculations and measurements in boilers (mentioned above) (pulverized coal-fired furnaces) are discussed.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ludwik Cwynar

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1986 r.