

Ferdynand DEMBECKI  
Marek JUSZCZAK  
Grzegorz KRZYŻANIAK  
Krzysztof BOBER

## PRĘDKOŚĆ WYLOTOWA SPALIN Z KOMINA KOTŁOWNI PRACUJĄCEJ Z NIEPEŁNYM OBCIĄŻENIEM CIEPLNYM

Streszczenie. W referacie przedstawiono sposób obliczeń temperatury i prędkości wylotowej spalin z nieizolowanego komina stalowego z uwzględnieniem:

- rozkładu prędkości wiatru w funkcji wysokości komina,
- stanu równowagi atmosfery.

Obliczenia zilustrowano przykładem liczbowym dla kotłowni o mocy docelowej 25 Gcal/h.

Porównano wartości maksymalnych stężeń zanieczyszczeń na poziomie terenu od wydmuchów z komina w dwóch przypadkach obliczeń:

- wg danych literaturowych spadku temperatury w funkcji wysokości komina,
- wg sposobu przedstawionego w referacie.

### 1. WSTĘP

Otrzymane z obliczeń maksymalne wartości imisyjnych stężeń zanieczyszczeń na poziomie terenu wywołane emisją zanieczyszczeń z komina, decydują najczęściej o uzyskaniu zgody na budowę i eksploatację kotłowni. Prędkość wylotowa spalin z komina dobierana jest tak, aby dla zmieniającego się w czasie sezonu grzewczego obciążenia cieplnego kotłowni, była znacznie większa od prędkości granicznej, przy której wyniesienie spalin ponad komin równe jest zeru. Maksymalne wartości stężeń zanieczyszczeń na poziomie terenu uzyskuje się wtedy dla maksymalnej mocy cieplnej, przy której emisja zanieczyszczeń jest największa.

W przypadku gdy kotłownia budowana jest etapami, już w I etapie powstaje komin o średnicy odpowiadającej docelowej mocy kotłowni. Uzyskuje się wtedy często największe wartości imisyjnych stężeń zanieczyszczeń na poziomie terenu dla prędkości wylotowej spalin zbliżonej do wartości granicznej. Dla ciepłowni, im większe jest schłodzenie spalin w kominie, tym większa emisja zanieczyszczeń odpowiada prędkości granicznej, gdyż większa moc cieplna pracujących kotłów potrzebna jest do uzyskania tej prędkości granicznej.

Zmiana temperatury spalin  $t_g$  i ścianki wewnętrznej  $t_w$  w funkcji wysokości komina hObciążenie cieplne  $\dot{Q} = 29.05 \text{ MW}$  $t_{s0} = 190 \text{ C}$   $t_1 = 180 \text{ C}$   $t_{zw} = -18 \text{ C}$   $m_s = 24.10 \text{ kg/s}$   $q_{12} = 0.000m$ 

Stan równowagi atmosfery = 4

h-m	wa = 1		wa = 2		wa = 3		wa = 4		wa = 5		wa = 6		wa = 7		wa = 8		wa = 9		wa = 10		wa = 11	
	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C
5	178.9	158.8	178.6	128.7	178.3	119.9	178.1	112.1	177.9	105.1	177.7	98.8	177.7	98.7	177.6	94.1	177.5	90.0	177.4	86.3	177.3	82.9
10	177.6	135.6	176.9	123.8	176.4	113.7	175.9	104.9	175.5	97.2	175.4	96.2	175.1	90.8	174.9	86.0	174.6	81.9	174.4	78.1	174.2	74.7
15	176.3	133.1	175.2	120.1	174.3	109.2	173.6	99.9	172.9	91.8	172.9	90.9	172.4	85.4	172.0	80.7	171.7	76.5	171.4	72.8	171.1	69.4
20	174.9	131.0	173.5	117.0	172.2	105.5	171.2	95.7	171.0	93.2	170.3	86.7	169.7	81.2	169.2	76.5	168.7	72.3	168.3	68.6	168.0	65.3
25	173.6	129.0	171.7	114.3	170.1	102.2	168.8	92.2	168.5	89.7	167.6	83.2	166.9	77.7	166.3	72.9	165.8	68.8	165.3	65.1	164.8	61.8
30	172.2	127.2	169.8	111.8	167.9	95.3	166.4	89.0	166.0	86.6	165.0	80.0	164.2	74.5	163.4	69.8	162.8	65.7	162.2	62.0	161.7	58.7
35	170.8	125.4	168.0	109.4	165.8	96.6	163.9	86.1	163.5	83.7	162.4	77.2	161.4	71.7	160.6	67.0	159.8	62.9	159.2	59.2	158.6	56.0
40	169.4	123.8	166.1	107.2	163.6	94.0	162.6	89.1	161.0	81.1	159.7	74.5	158.7	69.1	157.7	64.4	156.9	60.3	156.2	56.7	155.5	53.5
45	167.9	122.1	164.3	105.0	161.4	91.5	160.3	86.6	158.6	78.6	157.1	72.1	155.9	66.6	154.9	62.0	154.0	57.9	153.2	54.4	152.5	51.2
50	166.5	120.6	162.4	103.0	159.2	89.3	158.0	84.3	156.1	76.3	154.5	69.8	153.2	64.3	152.1	59.7	151.1	55.7	150.3	52.2	149.5	49.1
55	165.1	119.0	160.6	101.0	157.0	87.1	155.7	82.1	153.7	74.1	152.0	67.6	150.6	62.2	149.4	57.6	148.3	53.6	147.4	50.1	146.6	47.1
60	163.7	117.5	158.7	99.1	154.9	85.0	153.5	80.1	151.2	72.0	149.4	65.5	147.9	60.1	146.6	55.6	145.5	51.6	144.5	48.2	143.7	45.2
65	162.2	116.0	156.8	97.2	152.7	83.0	151.2	78.0	148.8	70.0	146.9	63.5	145.3	58.2	143.9	53.6	142.7	49.7	141.7	46.4	140.8	43.4
70	160.8	114.6	155.0	95.4	150.5	81.0	149.0	76.1	146.5	68.0	144.4	61.6	142.7	56.3	141.3	51.8	140.0	48.0	138.9	44.6	138.0	41.7
75	159.4	113.2	153.1	93.7	148.4	79.1	146.8	74.2	144.1	66.2	141.9	59.8	140.2	54.5	138.7	50.0	137.4	46.2	136.2	42.9	135.2	40.0
80	158.0	111.8	151.3	92.0	146.3	77.3	144.6	72.4	141.8	64.4	139.5	58.0	137.6	52.8	136.1	48.4	134.7	44.6	133.5	41.3	132.5	38.5
$w(h=5)$ (m/s)	20.50		20.49		20.48		20.48		20.48		20.47		20.47		20.47		20.47		20.46		20.46	
$w(h=80)$ (m/s)	20.02		19.87		19.76		19.72		19.66		19.61		19.56		19.53		19.50		19.47		19.45	
$Al-w$ (W/m <sup>2</sup> K)	33.81		33.70		33.62		33.58		33.54		33.50		33.47		33.44		33.42		33.40		33.38	
$Al-2$ (W/m <sup>2</sup> K)	10.66		15.52		20.37		23.43		26.78		30.18		33.56		36.95		40.22		43.39		46.47	
$k_L$ (W/mK)	35.44		46.32		55.17		60.10		64.77		68.94		72.66		76.08		79.07		81.73		84.11	

Zmiana temperatury spalin  $t_g$  i ścianki wewnętrznej  $t_w$  w funkcji wysokości komina hObciążenie cieplne  $Q = 5,81 \text{ MW}$  $t_{so} = 155 \text{ C}$   $t_1 = 145 \text{ C}$   $t_{zw} = -18 \text{ C}$   $m_s = 4,82 \text{ kg/s}$   $g_{iz} = 0,0004$ 

Stan równowagi atmosfery = 4

h-m	ma = 1		ma = 2		ma = 3		ma = 4		ma = 5		ma = 6		ma = 7		ma = 8		ma = 9		ma = 10		ma = 11		
	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	
5	142.0	62.4	141.6	50.9	141.3	42.3	141.1	35.6	140.9	30.3	140.7	25.9	140.7	25.8	140.6	22.8	140.5	20.3	140.4	18.1	140.4	16.2	
10	138.9	58.2	138.0	45.6	137.4	36.6	136.9	29.8	136.5	24.5	136.5	25.8	136.2	20.5	136.1	17.7	135.9	15.4	135.7	13.5	135.6	11.8	
15	135.8	54.9	134.4	41.8	133.5	32.6	132.8	25.9	132.2	20.8	132.2	20.3	131.9	17.1	131.6	14.5	131.4	12.4	131.2	10.6	131.0	9.0	
20	132.7	52.2	130.9	38.7	129.6	29.5	128.7	22.9	128.5	21.3	128.0	17.5	127.6	14.6	127.2	12.1	126.9	10.1	126.7	8.4	126.5	6.9	
25	129.6	49.7	127.4	36.0	125.8	26.9	124.7	20.4	124.5	19.0	123.9	15.3	123.4	12.5	123.0	10.2	122.6	8.2	122.4	6.6	122.1	5.2	
30	126.6	47.4	123.9	33.6	122.1	24.6	120.8	18.3	120.6	16.9	119.9	13.4	119.3	10.7	118.8	8.5	118.5	6.7	118.2	5.1	117.9	3.8	
35	123.6	45.3	120.5	31.4	118.5	22.6	117.0	16.4	116.7	15.1	116.0	11.7	115.5	9.1	114.8	7.0	114.4	5.3	114.1	3.8	113.8	2.5	
40	120.7	43.3	117.2	29.5	114.9	20.7	114.1	17.8	113.0	13.5	112.2	10.2	111.5	7.7	111.0	5.7	110.5	4.0	110.2	2.6	109.8	1.4	
45	117.8	41.5	113.9	27.6	111.4	19.0	110.6	16.2	109.4	12.0	108.5	8.9	107.8	6.5	107.2	4.5	106.7	2.9	106.3	1.6	106.0	0.4	
50	115.0	39.7	110.7	25.9	108.0	17.4	107.2	14.7	105.9	10.6	104.9	7.6	104.2	5.3	103.6	3.4	103.1	1.9	102.7	0.6	102.3	-0.5	
55	112.2	38.0	107.6	24.3	104.7	15.9	103.8	13.3	102.5	9.4	101.5	6.5	100.7	4.2	100.1	2.5	99.5	1.0	99.1	-0.3	98.7	-1.3	
60	109.4	36.4	104.5	22.7	101.5	14.5	100.6	12.0	99.2	8.2	98.1	5.4	97.3	3.3	96.6	1.5	96.1	0.1	95.6	-1.1	95.2	-2.1	
65	106.7	34.8	101.5	21.3	98.4	13.2	97.4	10.8	95.9	7.1	94.9	4.4	94.0	2.3	93.3	0.7	92.8	-0.7	92.3	-1.8	91.9	-2.8	
70	104.1	33.3	98.6	19.9	95.3	12.0	94.3	9.7	92.8	6.1	91.7	3.5	90.8	1.5	90.1	-0.1	89.6	-1.4	89.1	-2.6	88.7	-3.5	
75	101.5	31.9	95.8	18.6	92.4	10.9	91.4	8.6	89.8	5.1	88.6	2.6	87.7	0.7	87.0	-0.9	86.4	-2.2	85.9	-3.2	85.5	-4.1	
80	99.0	30.5	93.0	17.4	89.5	9.8	88.4	7.6	86.8	4.2	85.7	1.8	84.8	-0.1	84.0	-1.6	83.4	-2.8	82.9	-3.8	82.5	-4.7	
w(h=5) (m/s)	3.77		3.77		3.77		3.77		3.77		3.77		3.77		3.77		3.77		3.77		3.77		3.77
w(h=80) (m/s)	3.58		3.55		3.54		3.53		3.52		3.52		3.51		3.51		3.51		3.51		3.51		3.50
Al-w (W/m <sup>2</sup> K)	8.62		8.59		8.57		8.57		8.56		8.55		8.55		8.54		8.54		8.54		8.54		8.53
Al-z (W/m <sup>2</sup> K)	10.66		15.52		20.37		22.43		26.78		30.18		33.56		36.95		40.22		43.39		46.47		
k <sub>L</sub> (W/mK)	20.76		24.02		26.17		27.25		28.16		28.91		29.53		30.09		30.53		30.92		31.25		

Wartości stężeń zanieczyszczeń na poziomie terenu ustala się na podstawie znajomości prędkości wylotowej spalin z komina. Prędkość ta została określona w oparciu o temperaturę spalin obliczoną na podstawie analizy przepływu ciepła przez ściankę komina. Ta metoda wyznaczenia temperatury spalin umożliwiła dokładniejsze obliczenie wartości stężeń zanieczyszczeń na poziomie terenu niż w przypadku przyjęcia przybliżonych wartości zmian temperatury wzdłuż komina. Dla kotłowni pracującej z niepełnym obciążeniem cieplnym uzyskuje się z obliczeń większe spadki temperatury spalin wzdłuż komina w porównaniu z wartościami szacunkowymi. Spadek temperatury zależy od wielu zmiennych: wysokości i średnicy komina, strumienia masy spalin, temperatury spalin na wylocie z kotłów, prędkości wiatru i jej rozkładu na wysokości komina, temperatury otoczenia.

Wartości stężeń maksymalnych na poziomie terenu zależą dodatkowo od: emisji zanieczyszczeń, temperatury spalin opuszczających komin, topografii terenu.

Dla kotłowni analizowanej w referacie o docelowej wielkości: 2 kotły WR-10 i jeden kocioł WR-5, dla mocy maksymalnej, spadek temperatury obliczany zależnie od prędkości wiatru i stanu równowagi atmosfery, wahał się od ok. 0,25 - 0,6 K/m (tab. 1), a dla 100% obciążenia cieplnego kotła WR-5 zawierał się w granicach 0,6-0,8 K/m (tab. 2). Przyjmowanie jednakowego spadku temperatury niezależnie od mocy pracujących kotłów (np. 0,7 K/m dla małej mocy cieplnej) prowadzić może do błędów w wyznaczanych wartościach stężeń maksymalnych na poziomie terenu.

Obliczenia prowadzone w ten sposób mogą nie wykazać, że analizowane stężenia imisyjne w przypadku intensywnego schładzania spalin będą wyższe dla mocy kotłowni odpowiadającej prędkości granicznej niż dla mocy maksymalnej.

## 2. SPOSÓB WYZNACZANIA TEMPERATURY SPALIN NA WYLOCIE NIEIZOLOWANEGO KOMINA STAŁOWEGO ORAZ PRĘDKOŚCI WYLOTOWEJ

W obliczeniach pominięto wymianę ciepła poprzez promieniowanie między kominem a otoczeniem. Poniższe zależności przyjęto na podstawie [1, 2, 3].

Temperaturę spalin w funkcji wysokości komina przedstawiono zależnością:

$$t(h) = t_{zw} + (t_1 - t_{zw}) e^{-\alpha h} \quad (1)$$

$$\alpha h = \frac{k_L}{\dot{m}_s c_p} \quad h = Rb \quad (2)$$

$$k_L = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_s d_w} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_z}{d_w} + \frac{1}{\alpha_z d_z}} \quad (3)$$

$$\alpha_s = \frac{Nu \lambda_g}{d_w} \quad (4)$$

gdzie

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (5)$$

Według uproszczonych wzorów [1]  $\alpha_z$  ma postać:

$$\text{dla } w < 5 \text{ m/s} \quad \alpha_z = 5,8 + 3,95 w_w \text{ W/m}^2\text{K} \quad (6)$$

$$\text{dla } w > 5 \text{ m/s} \quad \alpha_z = 7,15 w_w^{0,72} \text{ W/m}^2\text{K} \quad (7)$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q} m}{w_d \cdot \gamma} \quad (8)$$

$$m = 1 + \lambda_1 L_t \quad (9)$$

$$L_t = \frac{0,39 w_d}{1000} - 1,883 \text{ kg/kg} \quad \text{wg [2]} \quad (10)$$

$$w_w = w_a \left(\frac{h}{h_a}\right)^y \quad (11)$$

$$w_{gr} = 0,5 h^{0,6} \quad (12)$$

$$w = \frac{\dot{m}_s}{A_k \cdot \rho} \quad (13)$$

Gęstość spalin określa się w funkcji temperatury, np. wg [4]. Podobnie postępuje się w przypadku ciepła właściwego i pozostałych parametrów spalin.

### 3. OBLICZANIE MAKSYMALNYCH WARTOŚCI STĘŻEŃ ZANIECZYSZCZEŃ (IMISYJNYCH) NA POZIOMIE TERENU DLA KOTŁOWNI BUDOWANEJ ETAPAMI

3.1. Oblicza się maksymalne stężenia zanieczyszczeń na poziomie terenu dla maksymalnej mocy ciepłowni dla założonego spadku temperatury spalin wzdłuż komina, np. 0,5 K/m. Uzyskuje się przy tym informacje, dla jakiego stanu równowagi atmosfery i prędkości anemometrycznej występują maksymalne wartości analizowanych stężeń zanieczyszczeń (tab. 3).

3.2. Dla ustalonych w punkcie 3.1 stanu równowagi atmosfery i prędkości anemometrycznej określa się dla maksymalnej mocy ciepłowni temperatu-

Tabela 3

WARTOSCI STEZEN MAKSYMALNYCH ZANIECZYSZCZEN w [mg/m<sup>3</sup>]

Program PolPoz1 - nr zatwierdzenia 247/87 z dnia 1987.12.04  
 Inwestor: Instytut Inżynierii Środowiska. Politechnika Poznańska  
 Data: 1988.01.17

	KLASA RÓWNOWAGI					
	I	II	III	IV	V	VI
G	1.692	1.781	1.864	1.995	2.188	2.372
C1	0.213	0.218	0.224	0.234	0.251	0.271
C2	0.815	0.771	0.727	0.657	0.553	0.457
B	1.284	1.108	0.978	0.822	0.660	0.551
M	0.080	0.143	0.196	0.270	0.363	0.44

## OBciążENIE 1

hk	=	80.0	■	emisja:	SO <sub>2</sub>	=	37685.223	mg/s
ha	=	17.0	■		CO	=	82907.492	mg/s
Zmax	=	1.000			N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	=	17042.814	mg/s
K	=	84.618			PYL	=	17806.268	mg/s

stężenie SO<sub>2</sub>

1	0.2649	<u>0.3159</u>	0.3002	0.2361	0.1450	0.0872
2	0.2204	0.2648	0.2534	0.2013	0.1252	0.0760
3	0.1805	0.2170	0.2078	0.1654	0.1030	0.0626
4		0.1821	0.1743	0.1387	0.0864	0.0525
5		0.1562	0.1496	0.1190	0.0741	
6			0.1308	0.1040		
7			0.1161	0.0923		
8				0.0829		
9				0.0752		
10				0.0688		
Xmax	412.73	503.85	705.10	1313.95	3579.05	9658.23

## stężenie CO

1	0.5827	<u>0.6951</u>	0.6605	0.5195	0.3190	0.1919
2	0.4848	0.5826	0.5574	0.4429	0.2755	0.1673
3	0.3971	0.4775	0.4573	0.3639	0.2267	0.1378
4		0.4005	0.3835	0.3052	0.1901	0.1156
5		0.3437	0.3290	0.2618	0.1631	
6			0.2877	0.2288		
7			0.2554	0.2030		
8				0.1824		
9				0.1655		
10				0.1515		
Xmax	412.73	503.85	705.10	1313.95	3579.05	9658.23

rę spalin na wylocie z kominu i prędkość wylotową na podstawie wzorów wg pkt. 2. Ponownie oblicza się stężenia maksymalne zanieczyszczeń wg [3] na poziomie terenu (tab. 4, tab. 5).

Tabela 4

ZMIANA TEMPERATURY SPALIN  $t_s$  I ŚCIANKI KEMETRZNEJ  $t_w$   
W FUNKCJI WYSOKOŚCI KOMINA  $h$

Obciążenie cieplne  $Q = 29.05 \text{ MW}$

$t_{s0} = 190 \text{ C}$   $t_l = 180 \text{ C}$   $t_{zw} = -18 \text{ C}$   $m_s = 24.10 \text{ kg/s}$   $g_{iz} = 0.0006$

Stan równowagi atmosfery = 2

h-m	wa = 1		wa = 2		wa = 3		wa = 4		wa = 5	
	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C	ts-C	tw-C
5	178.8	157.0	178.5	125.6	178.2	115.8	178.0	107.3	177.8	99.8
10	177.5	154.7	176.9	122.3	176.3	111.7	175.8	102.7	175.3	94.8
15	176.3	152.9	175.2	119.8	174.3	108.7	173.5	99.3	172.9	91.2
20	175.0	151.3	173.5	117.6	172.3	106.1	171.3	96.5	171.0	87.9
25	173.7	129.8	171.8	115.6	170.3	103.8	169.0	94.0	168.7	91.4
30	172.3	128.4	170.1	113.7	168.3	101.7	166.8	91.7	166.4	89.1
35	171.0	127.0	168.4	111.9	166.3	99.7	164.5	89.5	164.1	87.0
40	169.7	125.7	166.7	110.3	164.3	97.8	162.3	87.5	161.8	85.0
45	168.4	124.4	165.1	108.6	162.3	96.0	160.1	85.6	159.5	83.1
50	167.1	123.2	163.4	107.1	160.4	94.2	157.9	83.7	157.3	81.2
55	165.8	121.9	161.7	105.5	158.4	92.5	155.7	81.9	155.1	79.5
60	164.5	120.7	160.0	104.0	156.4	90.8	153.5	80.2	152.9	77.8
65	163.2	119.5	158.4	102.6	154.5	89.2	151.4	78.5	150.7	76.1
70	161.9	118.4	156.7	101.1	152.6	87.7	149.2	76.9	148.5	74.5
75	160.7	117.2	155.1	99.7	150.7	86.1	147.1	75.3	146.4	73.0
80	159.4	116.1	153.5	98.3	148.8	84.6	145.0	73.8	144.2	71.4
w(h=5) (m/s)	20.50		20.49		20.48		20.48		20.47	
w(h=80) (m/s)	20.06		19.92		19.82		19.73		19.71	
A1-w (W/m <sup>2</sup> K)	33.82		33.75		33.65		33.59		33.57	
A1-z (W/m <sup>2</sup> K)	10.19		14.57		18.96		23.35		25.01	
k (W/mK)	34.28		44.48		52.93		60.05		62.53	

3.3. Oblicza się prędkość graniczną spalin w kominie wg (12). Dla prędkości spalin zbliżonej do granicznej wyznacza się z uwzględnieniem spadku temperatury w kominie, moc cieplną kotłowni (tab. 6). Następnie oblicza się stężenia maksymalne zanieczyszczeń na poziomie terenu (tab. 7). Uzyskane wartości porównuje się z analogicznymi uzyskanymi dla mocy maksymalnej.

#### 4. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Analizowana będzie kotłownia o docelowej mocy 29 MW 2 kotły WR-10 i 1 kocioł WR-5. Będzie ona budowana etapami, tzn. że najpierw działac będzie kocioł WR-5, potem kolejno kotły WR-10. Zaprojektowano komin stalowy nieizolowany wolno stojący o wymiarach:  $d_z = 1,4 \text{ m}$ ,  $d_w = 1,384 \text{ m}$ ,  $h = 80 \text{ m}$ ,  $\lambda = 50 \text{ w/mK}$ ,  $h_a = 17 \text{ m}$ .

Przyjęto parametry paliwa:  $W_d = 23750 \text{ kJ/kg}$ , zawartość węgla - 60%, siarki palnej - 1%, popiołu - 18%, wodoru - 8%, wilgoci 10%, tlenu - 8%, sprawność kotłków  $\eta = 0,65$ .

Tabela 5

WARTOSCI STEZEN MAKSYMALNYCH ZANIECZYSZCZEN w [mg/m<sup>3</sup>]

Program PolPoz1 - nr zatwierdzenia 247/87 z dnia 1987.12.04

Inwestor: Instytut Inzynierii Srodowiska. Politechnika Poznanska

Data: 1988.01.17

PREDKOSC	KLASA ROWNOWAGI					
	I	II	III	IV	V	VI
G	1.692	1.781	1.864	1.995	2.188	2.372
CI	0.213	0.218	0.224	0.234	0.251	0.271
C2	0.815	0.771	0.727	0.657	0.553	0.457
B	1.284	1.108	0.978	0.822	0.660	0.551
M	0.080	0.143	0.196	0.270	0.363	0.44

## OBciażenie 1

hk	=	80.0	m	<b>emisja:</b>	SO <sub>2</sub>	=	37685.223	mg/s
ha	=	17.0	.m		CO	=	82907.492	mg/s
Z <sub>max</sub>	=	1.000			N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	=	17042.814	mg/s
K	=	92.130			PYL	=	17806.268	mg/s

stężenie SO<sub>2</sub>

1	0.2451	<u>0.2918</u>	0.2769	0.2173	0.1330	0.0798
2	0.2094	0.2515	0.2405	0.1910	0.1187	0.0721
3	0.1737	0.2089	0.2000	0.1591	0.0991	0.0603
4		0.1766	0.1691	0.1346	0.0839	0.0510
5		0.1523	0.1459	0.1160	0.0723	
6			0.1280	0.1018		
7			0.1139	0.0906		
8				0.0816		
9				0.0741		
10				0.0679		
X <sub>max</sub>	430.30	527.47	740.91	1388.36	3810.86	%10354.227

## stężenie CO

1	0.5392	<u>0.6421</u>	0.6091	0.4780	0.2926	0.1756
2	0.4606	0.5533	0.5292	0.4203	0.2612	0.1585
3	0.3822	0.4596	0.4401	0.3501	0.2181	0.1326
4		0.3885	0.3720	0.2961	0.1845	0.1122
5		0.3352	0.3209	0.2553	0.1591	
6			0.2816	0.2240		
7			0.2506	0.1993		
8				0.1794		
9				0.1631		
10				0.1495		
X <sub>max</sub>	430.30	527.47	740.91	1388.36	3810.86	%10354.227



Tabela 6

MIANA TEMPERATURY SPALIN  $t_s$  I SCIANKI WENNETRZNEJ  $t_w$   
W FUNKCJI WYSOKOŚCI KOMINA  $h$

Obciążenie cieplne  $Q = 9,75$  MW

$t_{sp} = 190$  C  $t_l = 180$  C  $t_w = -18$  C  $m_s = 8,09$  kg/s  $g_{iz} = 0,000a$

Stan równowagi staosfery = 2

h-m	m <sub>a</sub> = 1		m <sub>a</sub> = 2		m <sub>a</sub> = 3		m <sub>a</sub> = 4		m <sub>a</sub> = 5	
	$t_s$ -C	$t_w$ -C	$t_s$ -C	$t_w$ -C	$t_s$ -C	$t_w$ -C	$t_s$ -C	$t_w$ -C	$t_s$ -C	$t_w$ -C
5	177.3	100.3	176.7	83.4	176.3	73.7	176.0	64.4	175.7	56.9
10	174.4	97.0	173.3	80.9	172.5	68.8	171.9	59.3	171.3	51.7
15	171.6	94.1	169.9	77.5	168.7	65.1	167.7	55.6	167.0	48.0
20	168.8	91.6	166.6	74.5	164.9	62.0	163.7	52.5	163.4	50.1
25	166.0	89.3	163.2	71.9	161.2	59.3	159.7	49.8	159.3	47.5
30	163.2	87.1	159.9	69.4	157.6	56.8	155.8	47.4	155.3	45.2
35	160.5	85.0	156.7	67.1	154.0	54.5	151.9	45.2	151.5	43.0
40	157.8	82.9	153.5	64.9	150.4	52.4	148.2	43.1	147.6	41.0
45	155.1	81.0	150.3	62.9	147.0	50.3	144.5	41.1	143.9	39.1
50	152.5	79.1	147.2	60.9	143.6	48.4	140.9	39.3	140.3	37.3
55	149.9	77.3	144.2	59.0	140.3	46.5	137.4	37.5	136.7	35.6
60	147.3	75.5	141.2	57.1	137.0	44.8	133.9	35.8	133.3	33.9
65	144.8	73.8	138.3	55.4	133.8	43.1	130.6	34.3	129.9	32.4
70	142.3	72.1	135.4	53.7	130.7	41.4	127.3	32.7	126.6	30.9
75	139.8	70.4	132.5	52.0	127.6	39.9	124.1	31.3	123.3	29.5
80	137.4	68.8	129.8	50.4	124.6	38.3	120.9	29.9	120.2	28.2
$w(h=5)$ (m/s)	6.87		6.86		6.86		6.86		6.86	
$w(h=90)$ (m/s)	6.56		6.51		6.47		6.44		6.43	
$Al-w$ (W/m <sup>2</sup> K)	13.97		13.91		13.87		13.84		13.84	
$Al-z$ (W/m <sup>2</sup> K)	10.19		14.57		18.96		23.35		25.01	
$k_L$ (W/mK)	25.74		31.04		34.89		37.82		38.80	

### Warunki spalania

Temperatura spalin za kotłem WR-5 - 428 K, a dla kotła WR-10 - 463 (dla obciążenia cieplnego w zakresie 70-100%)  $\lambda_1 = 1,6$ , spadek spalin od kotła do komina ok. 10 K;  $t_{zw} = 255$  K.

### Własności spalin

Objętościowy udział:  $CO_2 - 13\%$ ,  $H_2O - 11\%$ ,  $N_2 - 74\%$ ,  $c_p = 1075$  kJ/kg K  
 $\lambda_g = 0,0335$  W/mK,  $\nu = 24,35 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s,  $Pr = 0,685$  dla temperatury spalin ok. 398 K. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabelach 1-7.

### 5. WNIOSKI

W przypadku projektowanych kotłowni o mocy maksymalnej większej od 20 MW spełnienie wymogów I klasy oddziaływania zgodnie z [4] (maksymalne stężenia zanieczyszczeń na poziomie terenu muszą być mniejsze od 20% stężeń dopuszczalnych) wiązałoby się z budową komina przekraczającego znacznie wysokość 100 m. Konieczna jest dlatego szczegółowa wartość maksymalnych stężeń imisyjnych i czasokres ich występowania. Analizę tę zapewnia sposób obliczeń przedstawiony w referacie (uwzględniający obliczenie prędkości i temperatury spalin na wylocie z komina). Uzyskanie pełniejszych danych pozwala na: przyjęcie uzasadnionych technicznie i ekonomicz-

Tabela 7

WARTOŚCI STEZEN MAKSYMALNYCH ZANIECZYSZCZEN  $w$  [mg/m<sup>3</sup>]

Program PolPozl - nr zatwierdzenia 247/87 z dnia 1967.12.04

Inwestor:

Data:

PRĘDKOŚĆ	KLASA RÓWNOWAGI					
	I	II	III	IV	V	VI
G	1.692	1.781	1.864	1.995	2.188	2.372
C1	0.213	0.218	0.224	0.234	0.251	0.271
C2	0.815	0.771	0.727	0.657	0.553	0.457
B	1.284	1.108	0.978	0.822	0.660	0.551
M	0.080	0.143	0.196	0.270	0.363	0.44

## OBciążENIE I

hk	=	80.0	m	emisja:	SO <sub>2</sub>	=	12059.271	mg/s
ha	=	17.0	m		CO	=	26530.398	mg/s
Z <sub>max</sub>	=	1.000			N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	=	5453.701	mg/s
K	=	0.000			PYL	=	7326.008	mg/s

stężenie SO<sub>2</sub>

1	0.2646	0.3404	0.3248	0.2575	0.1597	0.0968
2	0.1423	0.1702	0.1624	0.1287	0.0799	0.0484
3	0.0949	0.1135	0.1083	0.0858	0.0532	0.0323
4		0.0851	0.0812	0.0644	0.0399	0.0242
5		0.0681	0.0650	0.0515	0.0315	
6			0.0541	0.0429		
7			0.0464	0.0368		
8				0.0322		
9				0.0286		
10				0.0257		
X <sub>max</sub>	216.97	252.10	337.52	589.42	1469.57	3670.32

## stężenie CO

1	0.6262	0.7488	0.7146	0.5664	0.3514	0.2129
2	0.3131	0.3744	0.3573	0.2832	0.1757	0.1065
3	0.2087	0.2496	0.2382	0.1888	0.1171	0.0710
4		0.1872	0.1786	0.1416	0.0879	0.0532
5		0.1498	0.1429	0.1133	0.0703	
6			0.1191	0.0944		
7			0.1021	0.0809		
8				0.0708		
9				0.0629		
10				0.0566		
X <sub>max</sub>	216.97	252.10	337.52	589.42	1469.57	3670.32

nie parametrów komina, podjęcie decyzji o zastosowaniu izolacji termicznej komina, wyeliminowanie lub ograniczenie niskotemperaturowej korozji siarkowej w kominie, spełnienie wymogów ochrony środowiska.

Uwaga: W referacie rozważane są najwyższe ze stężeń maksymalnych zanieczyszczeń oznaczone wg [4] jako  $S_{mm}$ .

#### WYKAZ OZNACZEŃ

$c_p, \nu, \rho$	- ciepło właściwe, kinematyczny współczynnik lepkości, gęstość dla spalin;
$d_w, d_z$	- średnice: wewnętrzna i zewnętrzna komina;
$h, h_a$	- wysokości: rzeczywista komina i anemometryczna w stacji meteorologicznej;
$k_L$	- współczynnik przenikania ciepła odniesiony do 1 mb;
$L_t$	- teoretyczne zapotrzebowanie powietrza do spalania;
$m$	- ilość spalin z 1 kg paliwa;
$\dot{m}_s$	- strumień masy spalin;
$\dot{Q}$	- aktualna moc cieplna kotłowni;
$W_d$	- wartość opałowa w warunkach roboczych;
Rb, Re, Nu, Pr	- liczby: Redtenbachera, Reynoldsa, Nusselta, Prandtla dla spalin;
$t_s, t_{zw}$	- temperatury: spalin, otoczenia;
$w_w, w_a, w_{gr}, w$	- prędkości: wiatru, wiatru anemometryczna, spalin graniczna, spalin;
$y$	- wykładnik meteorologiczny;
$\alpha_s, \alpha_z$	- współczynniki wnikania ciepła: po stronie spalin i na zewnątrz komina;
$\lambda_s, \lambda$	- współczynniki przewodzenia ciepła: spalin oraz stali;
$\lambda_1$	- współczynnik nadmiaru powietrza;
$\eta$	- sprawność kotłów.

#### Oznaczenia stosowane dodatkowo w tabelach

$t_{sp}$	- temperatura spalin na wylocie z kotła,
$t_1$	- temperatura na wlocie do komina,
$g_{iz}$	- grubość izolacji,
Al-w	- współczynnik wnikania ciepła po stronie spalin ( $\alpha_s$ ),

- Al-z - współczynnik wnikania ciepła po stronie zewnętrznej ( $\alpha_z$ ),  
 G, C1, C2, B, M - współczynniki meteorologiczne,  
 hk - wysokość komina,  
 Z<sub>max</sub> - współczynnik szorstkości terenu,  
 X<sub>max</sub> - odległość występowania maksymalnych imisyjnych stężeń zanieczyszczeń.

## LITERATURA

- [1] Weber A.P.: Centralne ogrzewanie wodne. Arkady 1975.  
 [2] Kwiatkowski J., Cholewa L.: Centralne ogrzewanie. Pomoce projektanta. Arkady 1980.  
 [3] Gogół W.: Wymiana ciepła. Tablice i wykresy. Politechnika Warszawska, 1987.  
 [4] Min. Admin. Gosp. Terenowej i Ochrony Środowiska. Wytyczne obliczenia stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. PZiTS, Warszawa 1981.

ВЫХОДНАЯ СКОРОСТЬ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ИЗ ТРУБЫ КОТЕЛЬНОЙ,  
 РАБОТАЮЩЕЙ В НЕПОЛНОМ ТЕПЛОВОМ НАПРЯЖЕНИИ

## Резюме

В докладе представлен способ расчетов температуры и выходной скорости дымовых газов из неизолированной стальной трубы с учетом:

- распределения скорости ветра в зависимости от высоты трубы,
- состояния атмосферного равновесия.

Расчеты проиллюстрированы численным примером для котельной с конечной мощностью 25 Гкал/ч.с.

Проведено сравнение на уровне территории максимальных концентраций загрязнения от выбросов из труб в двух случаях расчетов:

- согласно данным по литературе падения температуры в зависимости от высоты трубы,
- по способу куазанному в докладе.

EXHAUST VELOCITY OF FLUE GASES FROM THE CHIMNEY  
 OF BOILER HOUSE WORKING WITH NOT FULL HEAT

## Summary

The paper present the way of calculation of temperature and exhaust velocity of flue gases from a non-insulated steel chimney taking into account:

- wind velocity distribution as the chimney height function,
- atmosphere equilibrium state.