

CWICZENIE Nr. XI/1

POMIAR KOTŁA PAROWEGO

w kotłowni Huty Głivice w Głivice

I. Dane ogólne kotła

Typ: wodnorurkowy, F-my: Babcock Wilcox
Nr:

powierzchnia ogrzewalna parownika	F ₁ =	100	m ²
" " " " " " " " " " " "	F ₂ =	115	"
" " " " " " " " " " " "	F ₃ =	245	"
" " " " " " " " " " " "	F ₄ =		"
" " " " " " " " " " " "	R =	100	"

palenisko gazowe:
objętość komory paleniskowej V_{II} = m³
ciśnienie pary normalne p = atn
temperatura pary przegrzanej norm/dopusz. t = C
wydajność gwarantowana norm/max G_p^x = t/h
napięcie powierzchni ogrzew. norm/max $\frac{G_p^x}{F_1}$ = kg/m²h

II. Ogólne dane pomiarowe:

data pomiaru	18.X.1949r.		
początek pomiaru	15:00		
koniec pomiaru	18:00		
miar trwał		t =	2 h
temperatura otoczenia		t _o =	20 C
stan barometru przy t C		b _o =	750 mm Hg
" " " " " " " " " " " "		b _o =	750 mm Hg
" " " " " " " " " " " "		p _o =	1005 at a

III. Wyniki pomiarów:

1. Palenisko

rodzaj paliwa: Przechł. z miatem

analiza elementarna w %: dla gaz: CO =, CO₂ =, H₂ =, H₂O =, N₂ =, O₂ =, dla paliw stałych i ciekłych: C =, H =, N =, S =, W = ..%

Charakteryst. współczynniki MOLLIERA: $\beta = \frac{nN}{nO} = 0,0556 \frac{\text{kmol N}}{\text{kmol O}}$
 $\gamma = \frac{3n_{\text{min}}}{nO} = 1,463 \frac{\text{kmol O}_2}{\text{kmol O}}$

ciepło spalania	W _c =	7000	} kcal/kg
wartość opałowa	W _d =	6722	
minimalne zapotrzebowanie tlenu	S _{min} =	1,27	} Nm ³ /kg
" " " " " " " " " " " "	I _{min} =	1,27	
ilość całkowita spalonego paliwa	B ^x =	1500	Nm ³ (kg)
zużycie paliwa w godzinie	B =		Nm ³ /h, (kg/h)
cieplne obciążenie komory paleniskowej	$\frac{W_d \cdot B^x}{V_R}$		kcal/m ³ h

2. Woda zasilająca i para

Całkowita ilość wody	G _w =	3760 kg,
zużycie wody w godzinie	G _w ^x =	4880 kg/h
ciśnienie w rurociągu doprowadzającym wodę	p _w =	at n,

Cwiczenie XI/1

temperatura wody zasilajacej	$t_w = 65.0$
cieplik wody przed kotlem	$i_w = 55.0 \text{ kcal/kg}$
nadciśnienie pary w kotle	$p_k = 10.0 \text{ at n}$
ciśnienie bezwzględne pary w kotle	$p_k = 1.0 \text{ at a}$
stopień suchości pary przed przegrzewaczem	$x = 0.95$
cieplik /entalpia/ pary przed przegrzewaczem	$i_x = 650.0 \text{ kcal/kg}$
ciśnienie bezwzględne za przegrzewaczem	$p_{pp} = 1.0 \text{ at a}$
temperatura pary za przegrzewaczem	$t_{pp} = 230.0 \text{ C}$
cieplik pary za przegrzewaczem	$i_{pp} = 700.0 \text{ kcal/kg}$
całkowita ilość pary wyprodukowanej	$G_p = 3000 \text{ kg/h}$
wydajność kotła	$G_{p0} = 3000 \text{ kg/h}$
wydajność pary normalnej $G_{p0}^* = G_p / i_p - t_w / 640$	$= 3000 \text{ kg/h}$
ciepło doprowadzone do wody	
a/ w parowniku; $Q_1 = G_p \cdot (i_x - t_w)$	$= 15000 \text{ kcal/kg}$
b/ w przegrzewaczu; $Q_2 = G_p \cdot (i_{pp} - i_x)$	$= 10000 \text{ kcal/kg}$
natężenie powierzchni grzewanej	$G_p^* / R_1 = 1500 \text{ kg.pary/m}^2\text{h}$
natężenie powierzchni normalne	$G_p^* / R_1 = 1500 \text{ kg.pary/m}^2\text{h}$
jednostkowe odparowanie	$G_p^* / B^* = 1500 \text{ kg.pary/m}^2\text{h}$

3. Spaliny i powietrze zasilajace

Skład objętościowy spalin suchych w %

CO_2	$= 5.08$
O_2	$= 11.5$
CO	$= 1.4$
H_2	$= 1.34$
t_g	$= 160.15 \text{ C}$

temperatura spalin w czopuchu
 nadmiar powietrza z analizy:

$$\lambda = \frac{21 \cdot (1 - \frac{V_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}}}{V_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}}})}{79} = 2.1 \dots \%$$

natężenie przepływu powietrza zasilajacego $L^* = 15450 \text{ Nm}^3/\text{h}$
 teoretyczne zapotrzebowanie powietrza zasilajacego $B^*_{\text{min}} = 15450 \text{ Nm}^3/\text{h}$
 nadmiar powietrza /doświadczenie/ $\lambda = 2.1 \dots \%$

4 Bilans cieplny.

z 1 Nm³gazu /kg węgla/ otrzymano ciepła:

w parowniku: $Q_1 = G_p^* / B^* \cdot q_1$	$= 15000 \text{ kcal/Nm}^3$
w przegrzewaczu $Q_2 = G_p^* / B^* \cdot q_2$	$= 10000 \text{ kcal/Nm}^3$
w całym kotle: $Q = Q_1 + Q_2 = G_p^* / B^* \cdot (i_{pp} - t_w)$	$= 25000 \text{ kcal/Nm}^3$

spewność termiczna kotła: $\eta = Q / Q_0 = 80.0 \dots \%$

strata wylotowa wyraźna:

a/ dla gazu wielkopiecowego $S_{ww} = (0.0024 + \frac{1.17}{700}) (t_g - t_0) = \dots \dots \dots \%$

b/ dla węgla kamiennego $S_{ww} = (0.0051 + \frac{0.0221}{700}) (t_g - t_0) = 1.8 \dots \dots \dots \%$

strata wylotowa utajona:

a/ dla gazu wielkopiecowego $S_{ww} = \frac{112.571 \cdot V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}}} = \dots \dots \dots \%$

b/ dla węgla kamiennego $S_{ww} = \frac{60.345}{V_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}}} = 2.33 \dots \dots \dots \%$

utrata wli niespalonych ciał stałych:

ilość żużla w 1 kg węgla z kg.z/kg.w
 zawartość C w 1 kg żużla c kg C/kg żużla

strata ciepła $S_z = \frac{z \cdot c \cdot 8000}{V_0} = 4.4 \dots \dots \dots \%$

strata ciepła na rzecz otoczenia $S_0 = 1.77 \dots \dots \dots \%$

S u m a 100 %

Dołączyć schemat urządzenia kotłowego wraz z aparaturą pomiarową, sporządzić wykresy pomiarowe:

$B = f(t)$, $t_g = f(t)$, $t_w = f(t)$, $L^* = f(t)$, $G_p = f(t)$,
 $t_w = f(C)$, $p_k = f(C)$, $p_{pp} = f(C)$, $t_{pp} = f(C)$.

Ponadto sporządzić wykresy bilansowe.

Cwiczenie XI/1.

ARKUSZ pomiarowy:

Godzina		15 ⁵⁰	16 ⁰⁰	16 ¹⁰	16 ²⁰	16 ³⁰	16 ⁴⁰	16 ⁵⁰	17 ⁰⁰	17 ¹⁰	17 ²⁰	17 ³⁰	17 ⁴⁰	17 ⁵⁰
Ciężar / wagi	V_k Nm ³ /h	3	2	1	2	2	1	3	4	4	4	4	4	2
	t_g °C													
	H_g mm H ₂ O													
	wskazanie wagi węglowej masa węgla w jednym ładunku wagi $B^{\#}$ kg węgla/h.													
Powietrze	V_L Nm ³ /h													
	t_L °C													
	p_L mm H ₂ O													
	Skład	CO ₂ 5.06	5.4	5.2	5.2	5.2	5.2	3.6	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
	O ₂ 14.2	13.6	14.2	14.4	14.4	14.4	15.8	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6
	CO													
Ciężar / wagi	Temp. t_g 160.45 °C	160	162	160	160	160	161	160	158	160	160	161	160	160
	h_1 mm													
	h_2 mm	5	6	6	6	6	6	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
	$h = h_1 - h_2$ mm													
Ciężar / wagi	V_w ... m ³ /h													
	t_w 65.8 °C	65	65.2	65.4	66	65.8	66	66	66	66	66	66	66	66
Ciężar / wagi	$G_p^{\#}$... kg/h	47	47	47	47	46	46	44	43	42	42	45	47	49
	p_k ... at n	5	5	5	5	5	5	4.8	4.75	4.75	4.9	5.1	5.5	5.7
	p_p ... at n	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.7	4.65	4.65	4.8	5.0	5.4	5.6
	t_p ... °C	235	240	242	242	242	240	233	230	230	232	240	247	255
	p_k ... at n	5	5	5	5	5	5	4.8	4.75	4.75	4.9	5.1	5.5	5.7

Obliczenia do ćwiczenia XI/1.

ad II. Ogólne dane pomiarowe

$$b_0 = \frac{bt}{b_1} \cdot 735.6 = \frac{742}{737.9} \cdot 735.6 = 740 \text{ mmHg}$$

$$p_0 = \frac{740}{735.6} = 1.005 \text{ ata}$$

ad III. Wyniki pomiarów

1. Palenisko

Skład węgla suchego:

$$c = 72.68\% ; h = 4.92\% ; o = 8.2\% ; n = 0.97\%$$

$$S_{\text{całk}} = 0.97\% \quad S_{\text{palna}} = 0.72\% \quad w = 4.4\% ; f = 12.3\%$$

Przeliczenie składu węgla na stan dostarczenia:

$$c = \frac{100 - 4.4}{100} \cdot 72.68 = 68.6\% ; h = \frac{100 - 4.4}{100} \cdot 4.92 = 4.71\%$$

$$S_c = \frac{100 - 4.4}{100} \cdot 0.97 = 0.926\% ; o = \frac{100 - 4.4}{100} \cdot 8.2 = 7.84\%$$

$$n = \frac{100 - 4.4}{100} \cdot 0.97 = 0.82\% ; p = \frac{100 - 4.4}{100} \cdot 12.3 = 11.75\%$$

$$S_{\text{palna}} = \frac{100 - 4.4}{100} \cdot 0.72 = 0.69\% \quad w = 4.4\%$$

Obliczenia do kwadratu Buntęgo.

$$n_c = \frac{0.696}{12} = 0.058 \frac{\text{kmol C}}{\text{kg paliwa}}$$

$$n_N = \frac{0.0092}{28} = 0.000328 \frac{\text{kmol N}_2}{\text{kg paliwa}}$$

$$\vartheta = \frac{n_N}{n_c} = \frac{0.000328}{0.058} = 0.00566$$

$$S_{\text{min}} = \left(\frac{c}{12} + \frac{h}{2.2} + \frac{s}{32} - \frac{o}{32} \right) = \frac{0.686}{12} + \frac{0.0471}{4} + \frac{0.00696}{32} - \frac{0.0784}{32} = 0.0675 \frac{\text{kmol C}_2}{\text{kg paliwa}}$$

$$\sigma = \frac{S_{\text{min}}}{n_c} = \frac{0.0675}{0.058} = 1.163$$

$$k_{\text{max}} = \frac{100}{1 + \frac{21}{21}(\sigma + \vartheta)} = \frac{100}{1 + \frac{21}{21} \cdot 1.163 + 0.00566} = 18.55\%$$

$$D = \frac{21}{29} [100 - k_{\text{max}}(1 + \vartheta)] = \frac{21}{29} [100 - 18.55 \cdot 1.00566] = 21.6$$

$$\Delta = \frac{21}{k_{\text{max}}} - \frac{29}{200} = \frac{21}{18.55} - \frac{29}{200} = 0.737$$

$$W_d = [8100c + 29000(h - \frac{o}{8}) + 2500s - 600w] = [8100 \cdot 0.686 + 29000(0.0471 - \frac{0.0784}{8}) + 2500 \cdot 0.00696 - 600 \cdot 0.044] =$$

$$W_d = 6722.8 \frac{\text{kcal}}{\text{kg paliwa}}$$

$$W_g = W_d + f \cdot 600$$

$$f = w + 9h = 0.044 + 9 \cdot 0.0471 = 0.468$$

$$W_g = 6722.8 + 0.468 \cdot 600 = 7003.8 \frac{\text{kcal}}{\text{kg paliwa}}$$

$$S_{\text{min}} = 0.0675 \cdot 224 = 15.1 \frac{\text{Nm}^3 \text{O}_2}{\text{kg paliwa}}$$

$$L_{\text{min}} = \frac{S_{\text{min}}}{0.21} = \frac{15.1}{0.21} = 72 \frac{\text{Nm}^3 \text{powietrza}}{\text{kg paliwa}}$$

2. Woda zasilająca

$$t_p = 238.7^\circ \text{C}; p_p = 4.94 + 1 = 5.94 \text{ ata}; v_p = 0.40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ (z tablic parowych)}$$

$$\gamma_p = \frac{1}{v_p} = \frac{1}{0.40} = 2.5 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{lepkość dynamiczna: } \eta = 198 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kg sec}}{\text{m}^2} \text{ (z wykresu)}$$

$$\nu = \frac{\eta \cdot g \cdot g_1}{\gamma_p} = \frac{198 \cdot 10^{-8} \cdot 9.81}{2.5} = 7.78 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}}$$

$$\text{Przyjmemy: } G^* = 5 \frac{\text{t}}{\text{h}}; \alpha = 1.2 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{średnica rurociągu } D = 325 \text{ mm}; F_{20} = 8.29 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$F_{t_p} = F_{20} [1 + 2\alpha(t_p - 20)] = 8.29 \cdot 10^{-2} [1 + 2 \cdot 1.2 \cdot 10^{-5} (238 - 20)] = 8.33 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$V_m^* = \frac{G_m^*}{\gamma_p} = \frac{5000}{2.5 \cdot 3600} = 0.566 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

$$W_m = \frac{V_m^*}{F_{t_p}} = \frac{0.566 \cdot 10^{-2}}{0.33} = 6.88 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

$$Re_D = \frac{W_m \cdot D}{\nu} = \frac{6.88 \cdot 0.325 \cdot 10^3}{7.78} = 2.79 \cdot 10^5$$

Poprawka ze wzgl. na rozszerzalność

$$w = \frac{F_{t_p}}{F_{20}} = \frac{8.33 \cdot 10^{-2}}{8.29 \cdot 10^{-2}} = 1.005;$$

średnica zwężki: $d = 128 \text{ mm}$

materiał zwężki: stal

$$\text{stosunek otwarcia: } m = \left(\frac{d}{D}\right)^2 = \left(\frac{128}{325}\right)^2 = 0.152$$

$$Re_D = 0.55 \cdot 10^5 \text{ (z wykresu)}$$

$$\alpha = 0.608 \text{ współcz. przepływu}$$

Poprawki dla α

ze względu na: $Re_{0,3} < Re_0 \dots \beta_1 = 1$

poprawka z wzgl. na chropowatość rurociągu $\beta_2 = 1$

" " " " " " " " nieostrość krawędzi $\beta_3 = 1$

całkowita poprawka: $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 = 1$

spółcz. ściślności $\epsilon = 0.987$ (z wykresu)

$$G_p^* = 0.01252 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \epsilon \cdot W \cdot \alpha^2 \sqrt{\Delta h (\gamma_{H_2} - \gamma_{H_2O}) \gamma_p} =$$

$$= 0.01252 \cdot 0.608 \cdot 1 \cdot 0.987 \cdot 1.005 \cdot 128^2 \sqrt{2.5 \cdot 13 \cdot 6 \cdot \Delta h} = 725 \sqrt{\Delta h}$$

$$\Delta h_{sp} = 45.46$$

$$G_p^* = 725 \cdot \sqrt{45.46} = 4880 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$G_p = 4880 \cdot 2 = 9760 \text{ kg}$$

$$G_p^* = \frac{G_p (t_p - t_w)}{640} = \frac{4880(700 - 65.2)}{640} = 4840 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

3. Spaliny i powietrze zasilające:

$$\lambda = \frac{21 \text{ [N}_2] - 2 \text{ [(CO}_2] + \text{[CO]}}}{79 \text{ [(CO}_2] + \text{[CO]}} = \frac{21 \cdot 79.34 - 2 \cdot 0.00566(5.06 + 1.4)}{79 \cdot 1.163(5.06 + 1.4)} = 2.8$$

$$L_{\text{teoret}}^* = L_{\text{min}} \cdot B^* = 72 \cdot 764.8 = 5510 \frac{\text{Nm}^3 \text{ powietrza}}{\text{h}}$$

$$L^* = L_{\text{teoret}}^* \cdot \lambda = 5510 \cdot 2.8 \frac{\text{Nm}^3 \text{ powietrza}}{\text{h}}$$

4. Bilans cieplny

$$Q_1 = \frac{G_p^*}{B^*} \cdot q_1 = \frac{4880}{769.8} \cdot 582.2 = 3720 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$Q_2 = \frac{G_p^*}{B^*} \cdot q_2 = \frac{4880}{769.8} \cdot 52 = 332 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 4052 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$\eta_k = \frac{Q}{W_d} = \frac{4052}{6922.8} = 0.604 = 60.4 \%$$

$$S_{WH} = (0.0051 + \frac{0.6281}{\text{[CO}_2]}) (t_3 - t_2) = (0.0059 + \frac{0.0281}{5.06}) (160.45 - 20) = 18.1 \%$$

$$S_{Wn} = \frac{60.345}{\text{[CO}_2] + \text{[CO]}} = \frac{60.345}{5.06 + 1.4} = 9.33 \%$$

Żużel w 1kg węgla

$$\dot{z} = 6.5 \cdot 18.4 = 1195 \frac{\text{kg}}{\text{godz}}$$

$$\dot{z}^* = \frac{1195}{8} = 149.5 \frac{\text{kg żużla}}{\text{h}}$$

$$Z = \frac{\dot{z}^*}{B^*} = \frac{149.5}{764.8} = 0.2 \frac{\text{kg żużla}}{\text{kg węgla}}$$

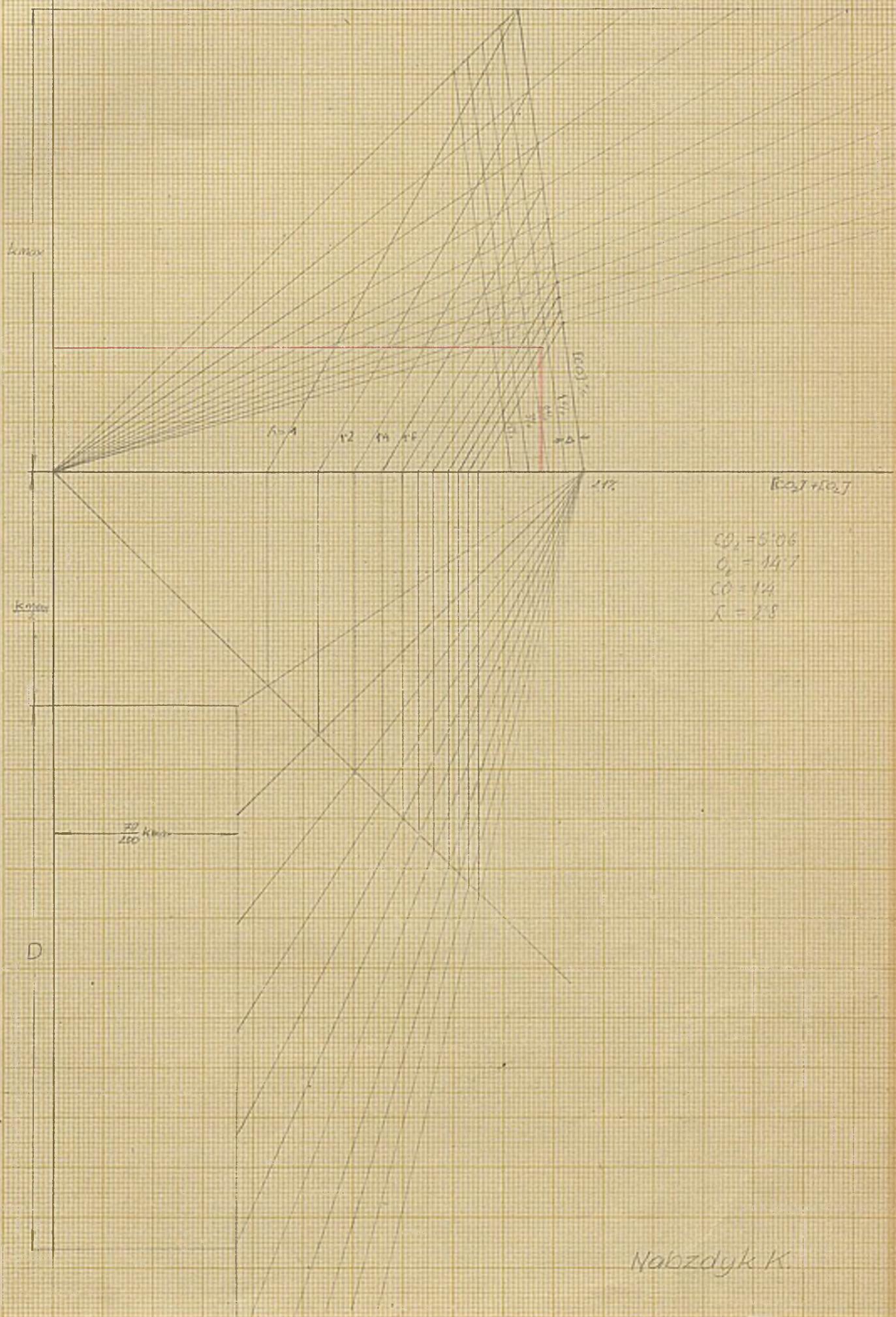
Strata ciepła:

$$S_z = 100 \cdot \frac{z \cdot c \cdot 8000}{W_d}$$

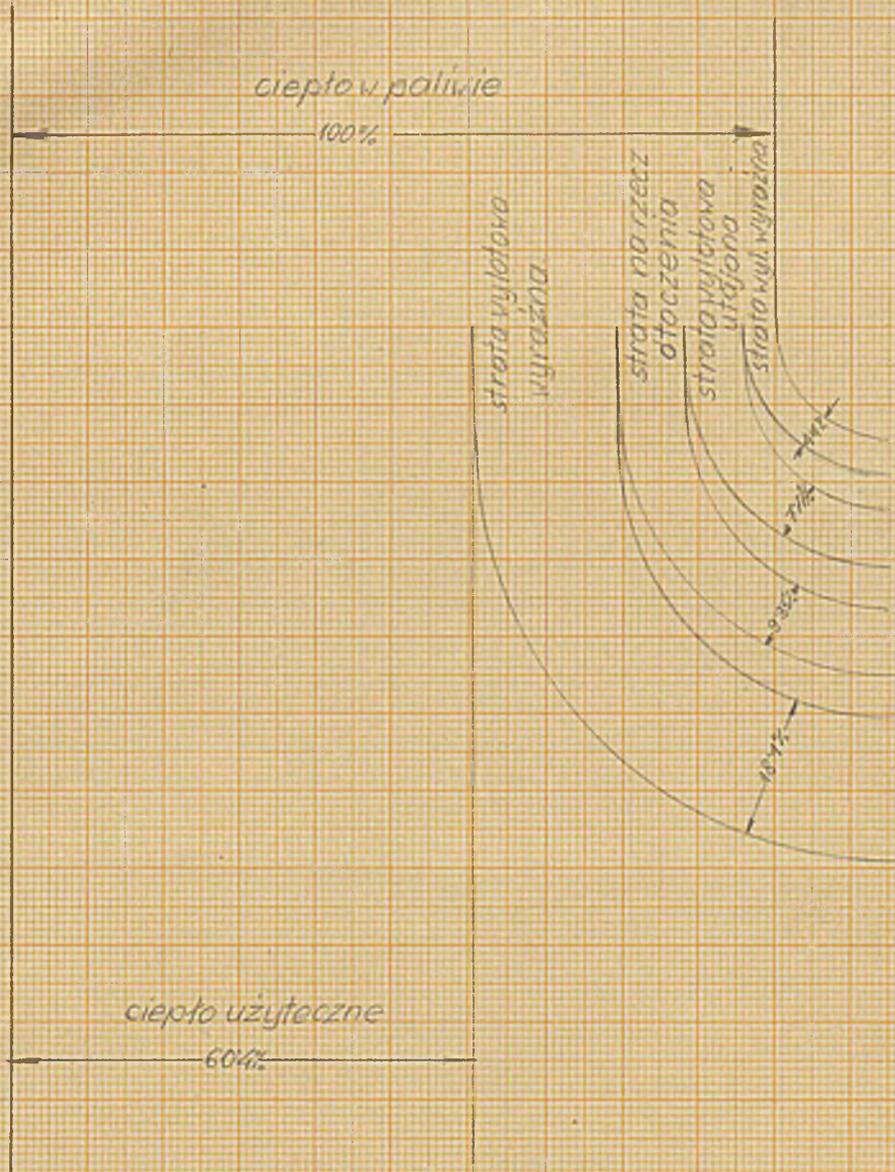
zawartość części palnych w 1kg żużla $c' = 18.5\%$

$$S_z = 100 \cdot \frac{0.2 \cdot 0.185 \cdot 8000}{6722.8} = 4.4\%$$

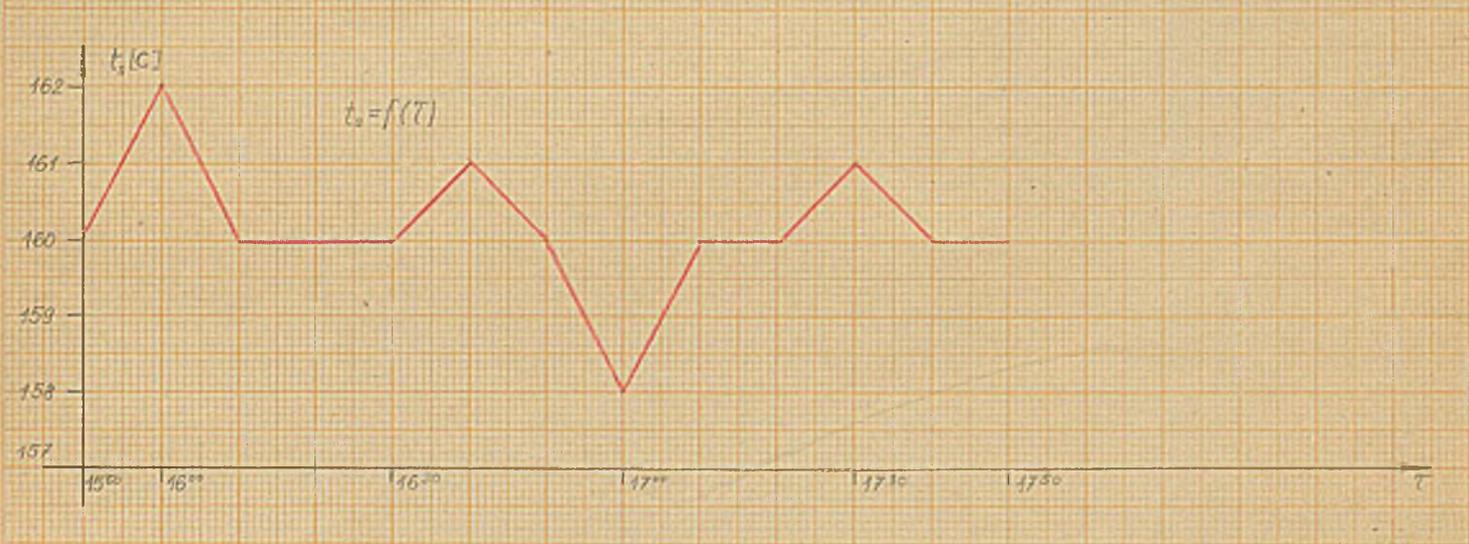
1003



Wykres Sankey'a



Nabzdylk K.

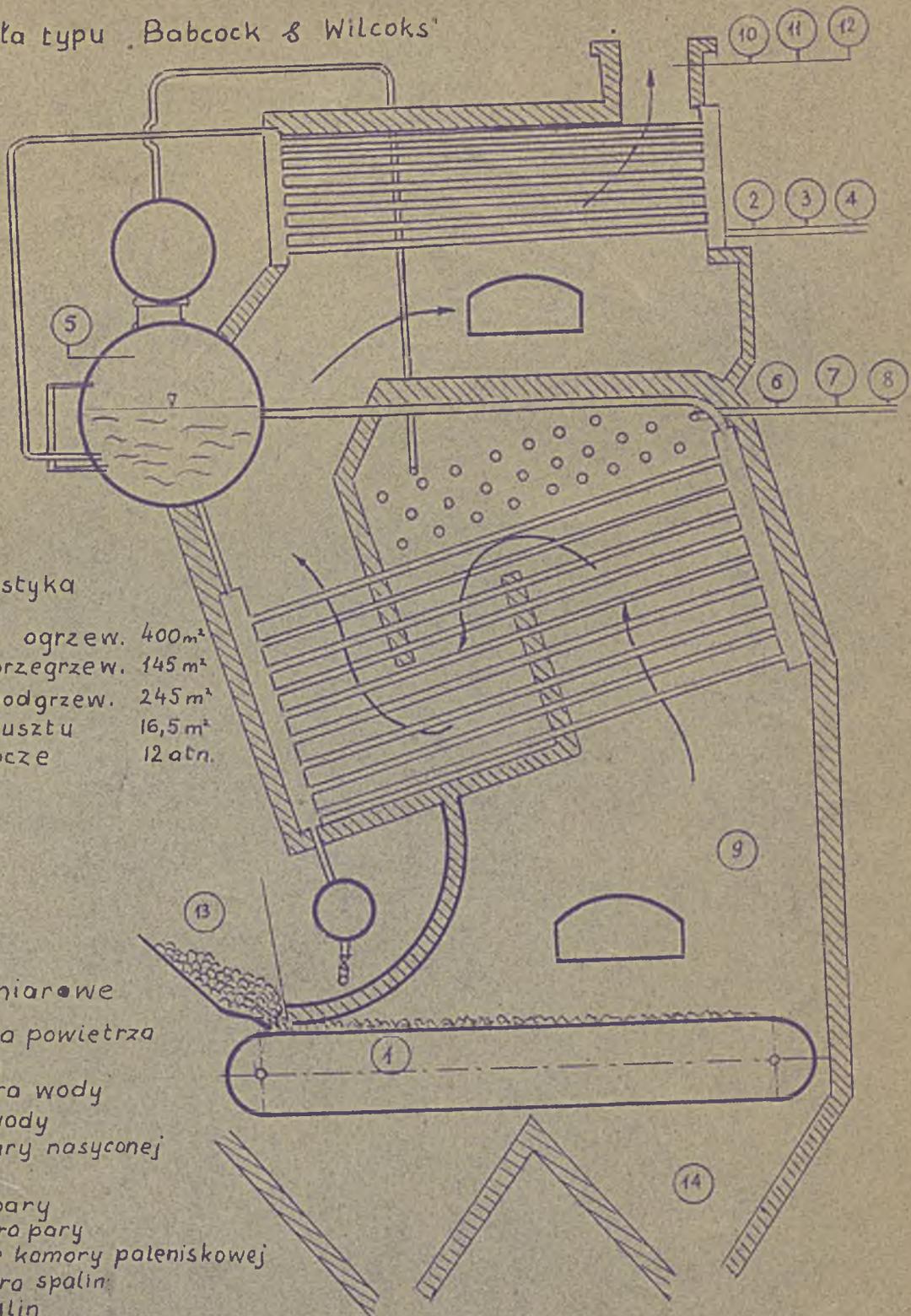


Nabzdyk K.



Nabzdyk K.

Szkic kotła typu 'Babcock & Wilcox'

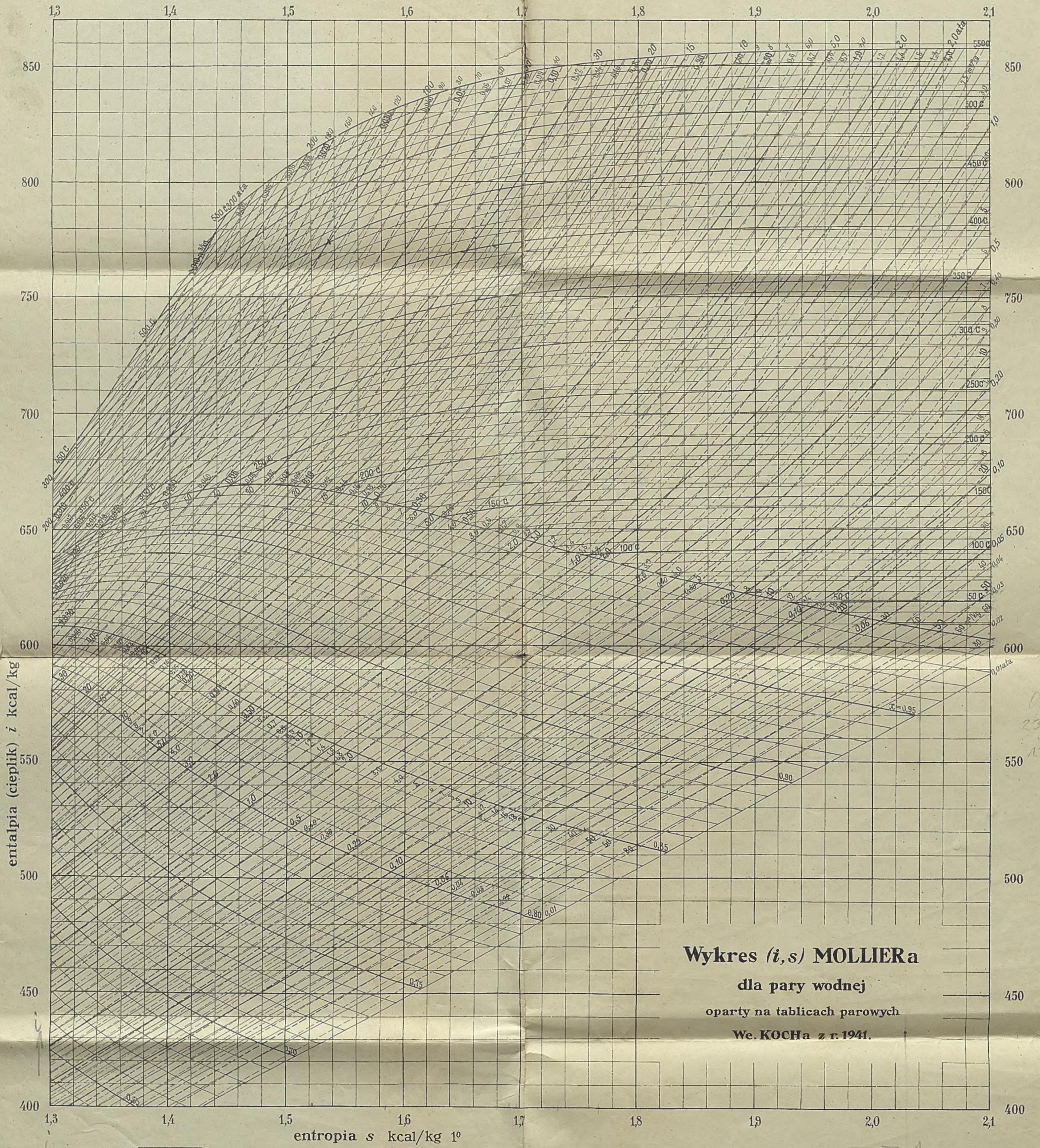


Charakterystyka

Powierzchnia ogrzew.	400 m ²
" przegrzew.	145 m ²
" podgrzew.	245 m ²
" rusztu	16,5 m ²
Ciśnienie robocze	12 atn.

Punkty pomiarowe

1. Temperatura powietrza
2. Jlość wody
3. Temperatura wody
4. Ciśnienie wody
5. Ciśnienie pary nasyconej
6. Jlość pary
7. Ciśnienie pary
8. Temperatura pary
9. Podciśnienie komory paleniskowej
10. Temperatura spalin
11. Analiza spalin
12. Podciśnienie czopucha
13. Jlość paliwa „B”
14. Analiza żużlu



Wykres (i, s) MOLLIERa
 dla pary wodnej
 oparty na tablicach parowych
 We. KOCHA z r. 1941.

$$w = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81}{A} \cdot H} = 91,5 \sqrt{H}, \quad H = \Delta i$$



Nakładem
 Komisji Wydawniczej Związku Studentów
 Bratniej Pomocy
 Politechniki Śląskiej
 Gliwice, w październiku 1947 r.