

ANTONI GUZIK, JANUSZ WANDRASZ, ANDRZEJ ZIĘBIK

Katedra Energetyki Ciepłej

BADANIA MODELOWE PRZEPŁYWU DMUCHU I SPALIN
W NAGRZEWNICY WIELKOPIECOWEJ

Streszczenie. W pracy przeprowadzono analizę wpływu usytuowania króćców spalinowych w nagrzewnicy wielkopiecowej na rozkład prędkości przy przepływie dmuchu i spalin. Badania wykonano na zimnym modelu nagrzewnicy z zachowaniem podobieństwa geometrycznego, przy zachowaniu liczb kryterialnych Reynoldsa i Eulera. Wyniki uzyskane porównano z wynikami badań zagranicznych.

1. Wstęp

Znajomość rozkładu prędkości spalin i powietrza w kratownicy nagrzewnicy wielkopiecowej jest niezbędna dla właściwego zaprojektowania nagrzewnicy. Nierównomierność rozkładu prędkości spalin i powietrza powoduje powstanie różnic temperatur w danym przekroju wypełnienia nagrzewnicy co pogarsza przepływ ciepła i w konsekwencji prowadzi do obniżenia temperatury podgrzanego dmuchu oraz przyspiesza zużycie wypełnienia. Duży wpływ na powyższe zjawisko ma konstrukcja nagrzewnicy, a w szczególności usytuowanie króćców odprowadzających spaliny.

Przeprowadzenie badań na rzeczywistym obiekcie jest bardzo utrudnione i kosztowne ze względu na występowanie wysokich temperatur oraz niezmienność przeprowadzania zmian konstrukcyjnych bez zaburzenia normalnego trybu pracy urządzenia. Dlatego pomiary wykonano na modelu zimnym.

Badanie rozkładów prędkości na modelu wymaga zachowania podobieństwa geometrycznego pomiędzy modelem i rzeczywistym obiektem oraz spełnienia liczb kryterialnych wynikających z równania Naviera-Stokesa ujmującego przepływ czynnika (liczba Re oraz liczba Eu). Niedotrzymanie jednego z warunków narusza

podobieństwo zjawisk w modelu i rzeczywistym obiekcie co pociąga za sobą uzyskanie błędnych wyników. Najprostsze byłoby modelowanie obiektu w którym przepływ czynnika jest izotermiczny. W tym przypadku należy zbudować model zimny zasilany czynnikiem o temperaturze otoczenia przy zachowaniu pełnego podobieństwa geometrycznego i wystarczy dotrzymać liczbę Re w jakimkolwiek punkcie modelu, by pozostałe wartości liczby Re w modelu były również zgodne z wartościami tej liczby w obiekcie rzeczywistym.

Rozpatrywany przepływ w nagrzewnicy jest nieizotermiczny co pociąga za sobą zmienność liczby Re ze względu na zmiany lepkości gazów z temperaturą.

W modelu zimnym nie jest więc możliwe dotrzymanie pełnego hydrodynamicznego podobieństwa przepływu. W związku z tym wydaje się konieczne przy zachowaniu podobieństwa geometrycznego dotrzymanie w kanałach kratownicy modelu wartości Re odpowiadającej średniej wartości Re w kratownicy obiektu rzeczywistego. Wydaje się to słuszne z dwóch względów. Po pierwsze przedmiotem badania jest rozkład prędkości w kratownicy, a po drugie liczba Re w obrębie kratownicy jest mała, w związku z czym jej wpływ na obraz przepływu jest duży. (Przy dużych wartościach $Re \sim 200\ 000$ zanika wpływ Re na obraz przepływu, jest to tzw. zakres automodelowania).

Przyjęcie średniej liczby Re , za podstawę modelowania przepływu w kratownicy powoduje niedotrzymanie właściwych wartości Re w skrajnych przekrojach kratownicy. W rozpatrywanym przypadku ustalono średnią wartość Re podług średniej temperatury gazu. Wówczas przy przepływie spalin rzeczywiste wartości Re w obiekcie różnią się od wartości średniej w granicach od $-21,7\%$ (przy wlocie) do $+53,7\%$ (przy wylocie). Przy przepływie powietrza odstępstwa te wynoszą od $+28,6\%$ przy wlocie do $-51,4\%$ przy wylocie. Wartości liczb Re podano w tabelicy 1.

Tablica 1

Dane wyjściowe do budowy modelu i uzyskane wyniki

Lp.	Wyzerowanie	Symbol	Wymiar	Objekt	Model					
					modelowanie przez tytu		wynik		powstanie	
					Spaliny	Powietrze	obliczone	zrealizowane	obliczone	zrealizowane
1	temperatura przy dolocie	t_1	°C	1380	100	-	32	-	-	30
2	temperatura przy wylocie	t_2	°C	240	880	-	32	-	-	30
3	temperatura średnia	$t_{\text{śr}}$	°C	680	410	-	32	-	-	30
4	średnia prędkość normalna w kanałach kratownicy	w_n	m/s	0,835	2,800	4,19	4,36	4,48	15,30	14,56-15,55
5	średnia prędkość średnia w kanałach kratownicy	$w_{\text{śr}}$	m/s	3,00	3,61	-	5,00	5,06	-	15,90-16,90
6	średnia prędkość średnia w dolotowym przekroju kanałów kratownicy	w_1	m/s	5,22	1,97	-	-	-	-	-
7	średnia prędkość średnia w wylotowym przekroju kanałów kratownicy	w_2	m/s	1,62	6,10	-	-	-	-	-
8	strata ciśnienia $\delta p = \delta p_f + \delta p_T$	δp	mbar	0,93	2,64	6,28	5,88	6,18	59,92	54,82-59,33
9	liczba Reynoldsa w dolotowym przekroju kanałów kratownicy	Re_1		1057	7411	1351	-	-	4895	-
10	liczba Reynoldsa	Re_2		2076	3495	1351	-	-	4895	-
11	liczba Reynoldsa w kanałach kratownicy dla średniej temperatury	$Re_{\text{śr}}$		1351	4895	1351	1395	1400	4895	4654 - 4770
12	liczba Euler	Eu		26,4	20,4	26,4	20,76	21,2	20,4	17,7 - 18
13	strumień czynnika	\dot{V}	m ³ /s	17860	60000	900	944	947	3260	2964-3042
14	wysokość kratownicy	l	m	26,45	26,45	2,378				2,310

2. Obliczenia cieplne modelu

Dla przeprowadzenia badań zbudowano model nagrzewnicy wielkopiecowej w skali 1:10. Model wykonano z blachy stalowej o grubości 2 mm, a jego średnica wynosi 600 mm. Wypełnienie modelu zbudowano ze sklejki drewnianej o grubości 4 mm. Otwory w kratownicy są kwadratowe o wymiarach 4,5 x 4,5 mm.

Do obliczeń wykorzystano wyniki pomiarów przeprowadzonych na rzeczywistym obiekcie. W badanej nagrzewnicy strumień gazu wielkopiecowego wynosił $\dot{V}_g = 10\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$ strumień dmuchu $\dot{V}_d = 60\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$ oraz strumień spalin wilgotnych $V_s = 17\ 860\ \text{m}^3/\text{h}$. Spalanie gazu wielkopiecowego zachodzi przy $\lambda = 1,1$. Temperatury czynników podano w tablicy 1. Czas grzania kratownicy wynosił $\tau_G = 3,845\ \text{h}$, czas zaś ochładzania $\tau_0 = 2,185\ \text{h}$. Ciśnienie gorącego dmuchu $p_d = 2\ \text{bar}$.

Liczbę Reynoldsa określa równanie

$$Re = \frac{w_n d}{\nu} = w_n e_n \frac{d}{\eta} \quad (1)$$

gdzie:

- w_n - prędkość normalna gazu, m_n/s ,
- e_n - normalna gęstość masy, kg/m_n^3 ,
- d - średnica hydrauliczna, m,
- η - dynamiczny współczynnik lepkości, Ns/m^2 .

W zimnym modelu zastosowano jako czynnik modelujący powietrze atmosferyczne. Prędkość normalna przepływu w kanałach kratownicy modelu powinna wynosić:

$$w_{n\ mi} = Re_i \frac{1}{e_{n\ m}} \frac{\eta_m}{d_m} \quad (2)$$

gdzie:

- $w_{n\ mi}$ - prędkość normalna powietrza w kanałach kratownicy modelu przy modelowaniu przepływu czynnika i , m_n/s ,
- Re_i - liczba Re ustalona dla średniej temperatury badanego czynnika.

- ρ_n - normalna gęstość masy powietrza modelującego, kg/m_n^3 ,
 ν_n - dynamiczny współczynnik lepkości powietrza modelującego w warunkach normalnych, Ns/m_n^2 ,
 d_m - średnica hydrauliczna modelu, m.

Konieczne do obliczeń wartości współczynnika lepkości dynamicznej określa się ze wzoru Sutherlanda [4]. Wynikający z podobieństwa geometrycznego przekrój kratownicy modelu pozwala obliczyć strumień powietrza modelujący przepływ czynnika i

$$\dot{V}_{mi} = F_m w_n m_i \quad \frac{\text{m}_n^3}{\text{s}} \quad (3)$$

Wartości wynikające z wzoru (3) podano w tabelicy 1.

Wymagana wysokość kratownicy modelu wynika z równości liczb Eulera obiektu i modelu

$$Eu = Eu_m \quad (4)$$

Liczbę Eulera dla obiektu i dla modelu można przedstawić w postaci:

$$Eu = \frac{1}{\rho_n w_n} \frac{\delta p}{w} \quad (5)$$

gdzie:

δp - strata ciśnienia czynnika spowodowana tarciem w kanałach kratownicy i zmianą przekroju strugi oraz zmianą temperatury przepływającego czynnika, N/m^2 ,

ρ_n - normalna gęstość masy gazu, kg/m_n^3 ,

w_n, w - normalna i rzeczywista prędkość czynnika, m_n/s .

Stratę ciśnienia czynnika spowodowaną tarciem w kanałach kratownicy i zmianą przekroju strugi dla obiektu określa wzór:

$$\delta p_f = \frac{1}{2} w_n \rho_n (w_{sr} \lambda \frac{1}{d} + \zeta_1 w_1 + \zeta_2 w_2) \text{ N/m}^2 \quad (6)$$

Przy określaniu straty ciśnienia dla modelu uwzględniono dwukrotne zwężenie i rozszerzenie strugi ze względu na wykonanie modelu kratownicy z dwóch segmentów (rys. 1).

$$\delta p_f = \frac{1}{2} w_n \rho_n w \left[l_m \frac{l_m}{d_m} + 2 (\zeta_1 + \zeta_2) \right] \text{ N/m}^2 \quad (7)$$

gdzie we wzorach (6) i (7) oznaczono:

- w_{sr} , w_1 , w_2 - prędkość średnia, prędkość przy dolicie i wylocie kratownicy, m/s,
 l , l_m - wysokość obiektu i modelu, m,
 d , d_m - średnica hydrauliczna kanału kratownicy obiektu i modelu, m,
 λ , λ_m - liczba tarcia w kanałach kratownicy obiektu i modelu,
 ζ_1 , ζ_2 - liczba oporu spowodowanego zwężeniem i rozszerzeniem przekroju.

Stratę ciśnienia spowodowaną zmianą temperatury przepływającego czynnika określają wzory:
dla obiektu

$$\delta p_T = \frac{\dot{m} w_1}{3600} \frac{1}{F} \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \text{ N/m}^2 \quad (8)$$

dla modelu

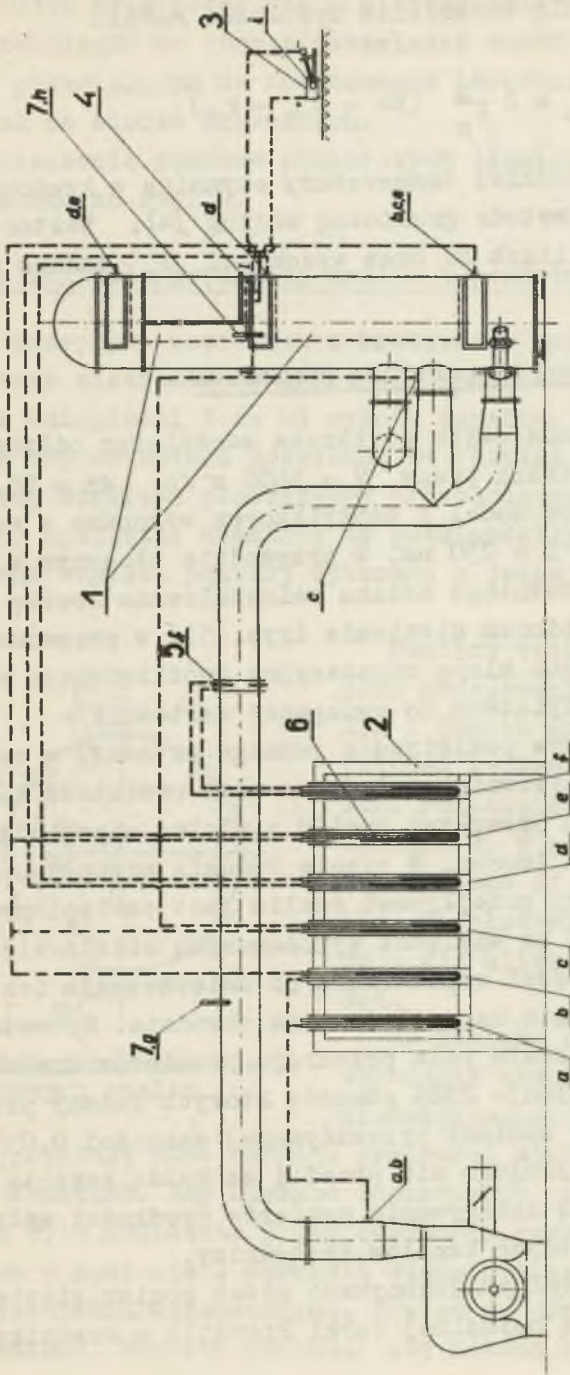
$$\delta p_{Tm} = \frac{\dot{m}_m w_m}{3600} \frac{1}{F_m} \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \text{ N/m}^2 \quad (9)$$

gdzie:

- \dot{m} , \dot{m}_m - strumień czynnika w obiekcie i modelu, kg/h,
 F , F_m - przekrój przepływu czynnika w obiekcie i modelu, m,
 T_1 , T_2 - temperatura strumienia czynnika na dolicie i wylocie kratownicy, °K.

Ze względu na izotermiczny przepływ strumienia powietrza w modelu $T_1 = T_2 = T$ ($w_1 = w_2 = w_m = w$) z równania (9) wynika

$$\delta p_{Tm} = 0$$



Rys. 1. Schemat pomiarowy modelu nagrzewnicy wielkopiecowej

1 - model kratownicy, 2 - tablica pomiarowa, 3 - mikromanometr, 4 - rurka Prandtla, 5 - kryza pomiarowa, 6 - manometr cieczowy, 7 - termometr rtęciowy

a - pomiar powietrza na wylocie z wentylatora, b - pomiar spadku ciśnienia w instalacji, c - pomiar spadku ciśnienia w modelu, d - pomiar spadku ciśnienia w górnej części kratownicy, e - pomiar spadku ciśnienia w obu częściach kratownicy, f - pomiar spadku ciśnienia na kryzie, g - pomiar temperatury powietrza w rurociągu, h - pomiar temperatury powietrza w modelu, i - pomiar ciśnienia dynamicznego

Z warunku (4) po zastosowaniu równań (6), (7), (8), (9) otrzymuje się wzór dla określenia wysokości modelu

$$l_m = 2 \frac{d_m}{\lambda_m} (Eu - \zeta_1 - \zeta_2) \quad (10)$$

Dla określenia średniej temperatury czynnika w kratownicy obiektu zastosowano metodę graficzną według [4]. Wartości temperatur, prędkości, liczb Eu oraz wysokości l_m podano w tabelicy 1.

3. Instalacja modelowa i aparatura pomiarowa

Powietrza do badań modelowych dostarcza wentylator odśrodkowy typu MWW 18 o parametrach pracy $\dot{V} = 3600 \text{ m}^3/\text{h}$, $\Delta p = 78,5$ mbar. Przewody łączące model z wentylatorem wykonano z rur stalowych o średnicy $D = 250$ mm. W przewodzie tłocznym w odległości $14 D$ od ostatniego kolana zainstalowano zwężkę mierniczą z komorowym odbiorem ciśnienia (rys. 1), w przewodzie ssawnym zaś zamontowano klapę regulacyjną umożliwiającą regulację wydajności wentylatora do wymaganej wartości.

Aby umożliwić dopływ powietrza z jednego przewodu w czasie obu faz działania nagrzewnicy połączono wlot powietrza odpowiadający modelowaniu przepływu spalin z wlotem odpowiadającym modelowaniu przepływu dmuchu. W czasie badania przepływu dmuchu wlot odpowiadający przepływowi spalin jest zaślepiiony.

Wypełnienie modelu ze względów wykonawczych składa się z dwóch części. Obie części wypełnienia po umieszczeniu ich w modelu zostały dokładnie uszczelnione na obwodzie. Spowodowało to nieznaczne zmniejszenie pola przekroju przelotów kratownicy. Kratownica modelu obejmuje 2586 otworów których łączny przekrój wynosi $F = 0,0524 \text{ m}^2$ zamiast przewidywanej wartości $0,0594 \text{ m}^2$.

Okna pomiarowe znajdujące się przed i za każdą częścią kratownicy umożliwiają dokonywanie pomiarów prędkości wpływu powietrza z poszczególnych kanałów kratownicy.

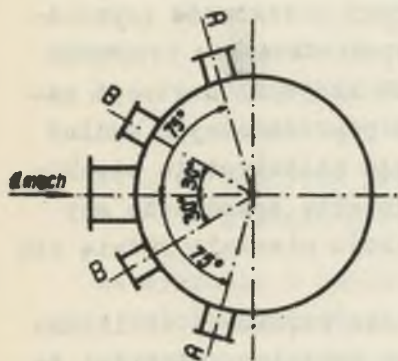
Pomiaru prędkości wypływu dokonywano przez pomiar ciśnienia dynamicznego za pomocą normalnej rurki Prandtla o średnicy

ϕ 4 mm. Rurka była połączona z mikromanometrem MPR-1. Aby zapewnić równoległe do strugi ustawienie rurki umocowaną ją w suporcie pozwalającym na równoczesne posuwanie jej w dwu prostopadłych do siebie kierunkach.

Rozmieszczenie punktów pomiarowych ciśnienia i temperatury przedstawiono na rys. 1.

4. Pomiar rozkładu prędkości spalin i powietrza

Prędkość przepływu powietrza w kratownicy modelu określono przez pomiar ciśnienia dynamicznego w płaszczyźnie znajdującej się w odległości 1 cm od wylotu kanałów. Ze względu na symetryczną budowę modelu założono, że rozkład prędkości jest symetryczny względem płaszczyzny przechodzącej przez oś modelu i oś szybu spalania. Symetrię tę potwierdziły późniejsze badania. Z tego względu pomiary wykonano w jednej połowie przekroju.

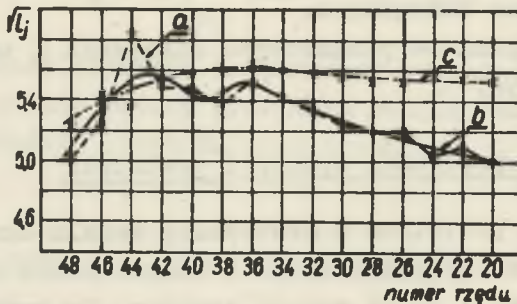


Rys. 2. Położenia króćców wylotowych spalin

Pomiary rozkładu prędkości przy modelowaniu przepływu spalin i dmuchu prowadzono dla dwu położenia króćców wylotowych spalin. Położenia te pokazano na rysunku 2. W położeniu A króćce są oddalone od osi szybu spalania. W położeniu B króćce znajdują się blisko osi szybu spalania.

Ze względu na niedokładności wykonania modelu kratownicy i niedokładności ustawienia rurki Prandtla powstają duże różnice prędkości mierzonych w sąsiadujących kanałach. Aby uzyskać równomierny profil rozkładu prędkości było konieczne przeprowadzenie korekty wartości wynikających z pomiarów. Korekcie winna podlegać wartość pierwiastka ciśnienia dynamicznego, bowiem do niej jest proporcjonalna prędkość. Korektę wykonuje się metodą kolejnych przy-

bliżeń. Na podstawie pomiarów uzyskuje się wykresy przekrojów pola prędkości wzdłuż rzędów otworów (rys. 3). Rzędy otworów



Rys. 3. Wykres korekty V_j dla kolumny Q

a - linia łącząca punkty pomiarowe, b - krzywa uśredniająca wyniki pomiaru, c - krzywa po korekcie

oznaczono liczbami, kolumny zaś literami (por. rys. 4, 5). Po wyośrodkowaniu krzywej przedstawiającej profil prędkości odczytane z niej wartości nanosi się na wykresy przekrojów poprowadzonych wzdłuż kolumn. Dokonuje się wyośrodkowania krzywych tych przekrojów po czym odczytane z tych krzywych wartości nanosi się ponownie na wykresy przekrojów poprowadzonych wzdłuż rzędów. Przeprowadzając powyższe operacje kilkakrotnie uzyskamy skorygowany obszar pola prędkości. Korektę zakończono gdy kolejne kształty krzywych w danym przekroju niewiele różnią się od siebie.

Celem określenia nierównomierności pola prędkości obliczono odchyłki lokalnych prędkości od wartości średniej. Odchyłki te można wyrazić wzorem:

$$\beta_j = \frac{w_j - w_{\text{śr}}}{w_{\text{śr}}} \quad (11)$$

gdzie:

- w_j - prędkość lokalna w punkcie j,
- $w_{\text{śr}}$ - prędkość średnia.

Korzystając ze stałości przełożenia mikromanometru oraz proporcjonalności prędkości do pierwiastka wskazań mikromanometru, można wzór (11) ująć w postaci

$$\beta_j = \frac{\sqrt{I_j} - (\sqrt{I})_{\text{śr}}}{(\sqrt{I})_{\text{śr}}} \quad (12)$$

gdzie:

$\sqrt{I_j}$ - pierwiastek lokalnego wskazania mikromanometru,
 $(\sqrt{I})_{\text{śr}}$ - średni pierwiastek wskazania mikromanometru.

Po określeniu wartości odchyłek β_j sporządzono wykresy warstwowe tych odchyłek dla zamodelowanego przepływu spalin i dmuchu. Wykresy te stanowiły z kolei podstawę do sporządzenia wykresu warstwicowego różnic odchyłek występujących przy przepływie spalin i dmuchu według zależności:

$$\Delta\beta_j = \beta_{s j} - \beta_{d j}$$

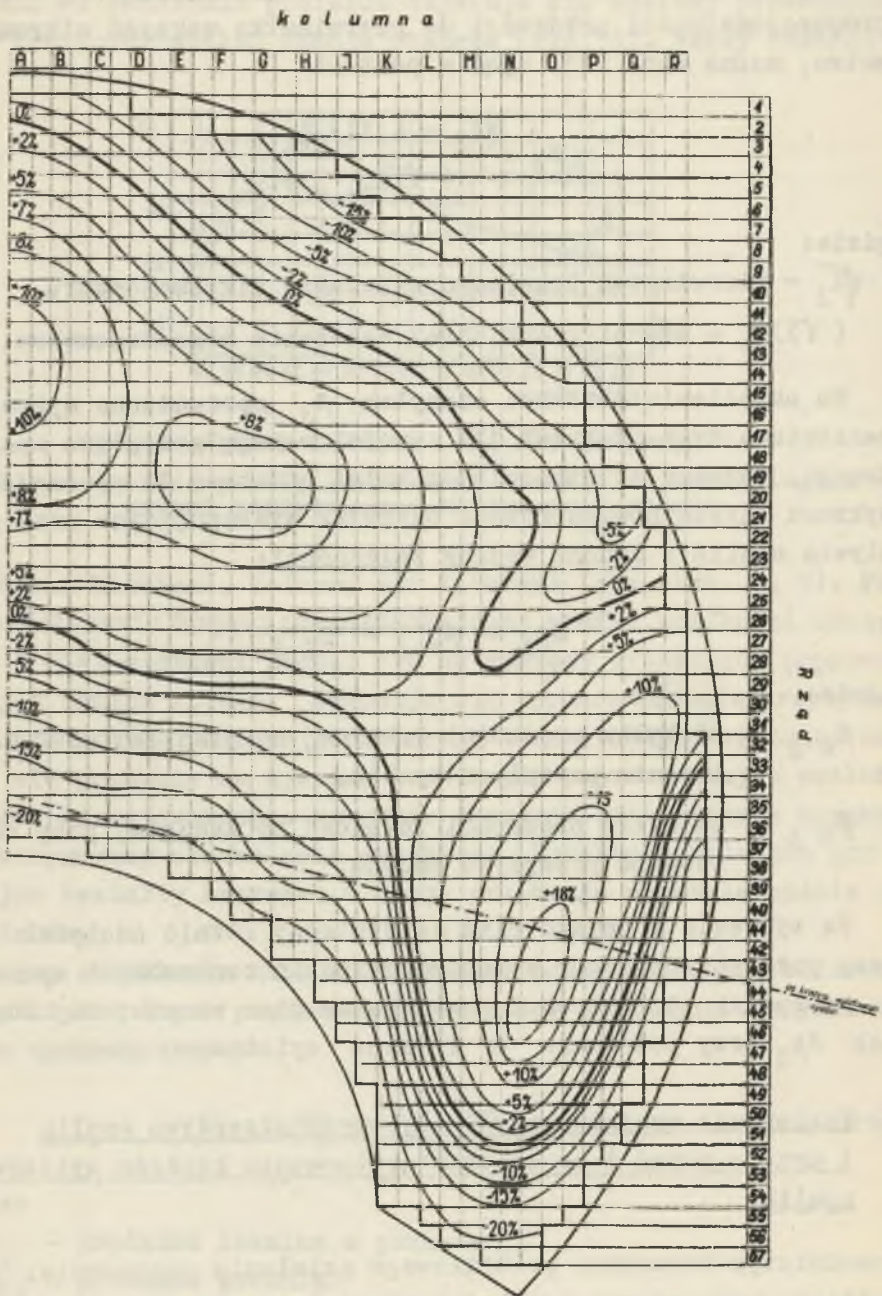
gdzie:

$\beta_{s j}$ - odchyłka prędkości lokalnej od średniej przy modelowaniu przepływu spalin,
 $\beta_{d j}$ - odchyłka prędkości lokalnej od średniej przy modelowaniu przepływu dmuchu.

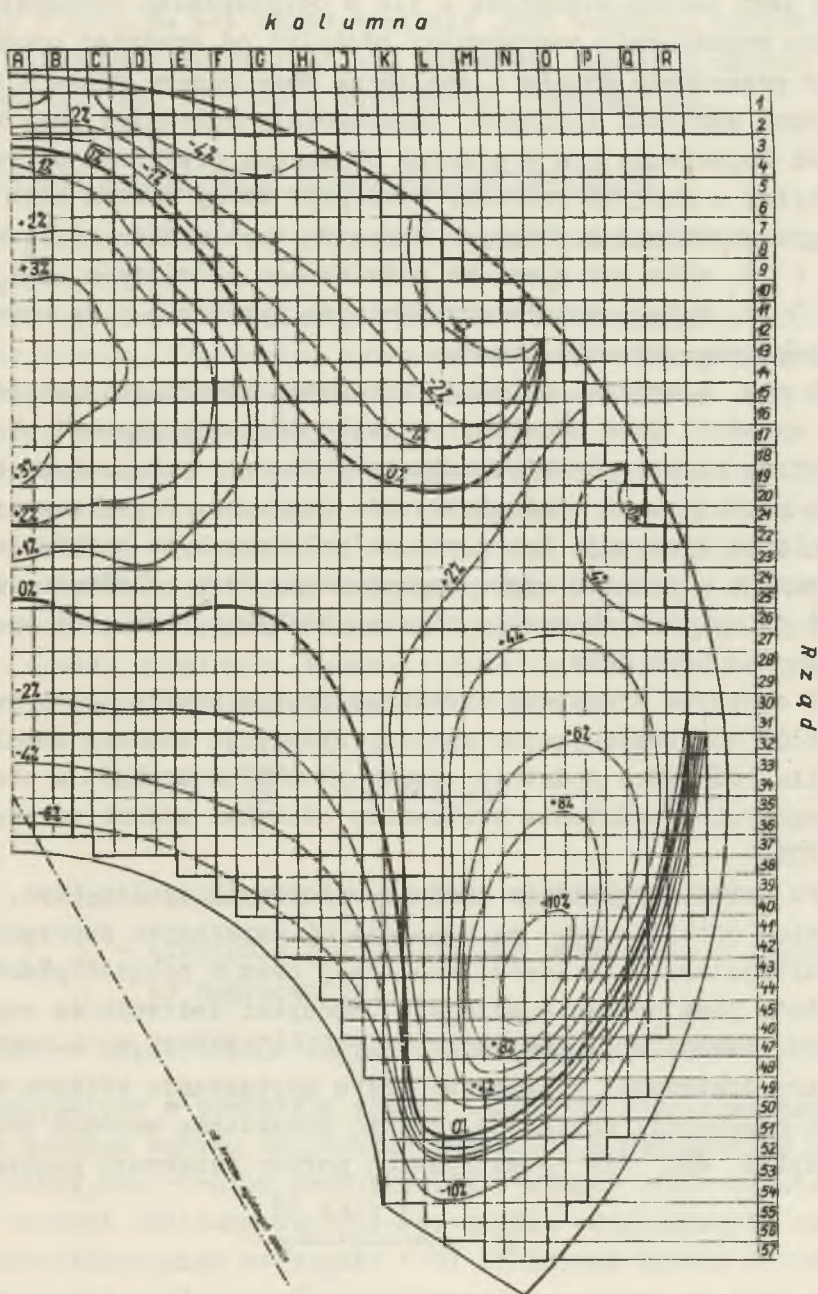
Na wykresie 4 podano plan warstwicowy różnic odchyłek $\Delta\beta_j$ przy położeniu króćców wylotowych spalin oznaczonych symbolem A na rysunku 3. Wykres 5 przedstawia plan warstwicowy odchyłek $\Delta\beta_j$ przy położeniu B króćców wylotowych spalin.

5. Porównanie wyników badań modelowych przepływu spalin i dmuchu przed i po zmianie usytuowania króćców wylotowych spalin

Zasadniczym warunkiem prawidłowego działania nagrzewnicy jest możliwie równomierny rozkład prędkości w całym przekroju nagrzewnicy. Nierównomierność rozkładu prędkości dmuchu i spalin



Rys. 4. Plan warstwiczny różnic odchyłek $\Delta\beta_j$ przy położeniu króćców wylotowych spalin oznaczonych symbolem A



Rys. 5. Plan warstwiczny różnic odchyłek $\Delta\beta_j$ przy położeniu króćców wylotowych spalin oznaczonych symbolem B

nie jest bardzo szkodliwe o ile w odpowiednich obszarach przekroju wypełnienia nagrzewnicy odchyłki od średniej prędkości przy przepływie dmuchu i spalin są tego samego znaku i mają podobne wartości liczbowe. Szczególnie szkodliwe jest natomiast pojawienie się w pewnych obszarach przekroju nagrzewnicy odchyłek o różnych znakach. Występuje wtedy bowiem albo nadmierne przegrzewania niektórych obszarów wypełnienia ($\beta_s > 0$; $\beta_d < 0$) albo też zjawisko nadmiernego chłodzenia ($\beta_s < 0$; $\beta_d > 0$). Wpływa to niekorzystnie na żywotność i na uzyskaną temperaturę gorącego dmuchu.

Z rys. 4 wynika, że część przekroju wypełnienia położona na osi symetrii lecz oddalona od szybu spalania stanowi obszar narażony na przegrzanie, natomiast obszary położone na brzegach przekroju są niedostatecznie nagrzane. Przegrzewanie wypełnienia występuje też w polach położonych na peryferiach przekroju w pobliżu szybu nagrzewnicy. Przy położeniu A króćców wylotowych spalin różnice odchyłek prędkości spalin i dmuchu są dość duże.

W obszarze środkowym przekroju oraz w pobliżu płaszczyzny króćców odprowadzających spaliny występuje znaczna kumulacja spalin (odchyłki dodatnie rzędu 10–18%) natomiast w obszarach brzegowych wypełnienia kratownicy odchyłki ujemne są rzędu 15–20%.

Po zmianie położenia króćców wylotowych spalin (rys. 5) różnice odchyłek $\Delta\beta_j$ są mniejsze od uzyskanych poprzednio. Kumulacja spalin w części środkowej oraz w pobliżu płaszczyzn króćców jest znacznie mniejsza (odchyłki dodatnie są rzędu 3–10%, części brzegowe mają odchyłki ujemne rzędu 4–10%).

Aby dokładniej zobrazować wpływ usytuowania króćców na rozkład prędkości, obliczono średnią kwadratową wartość różnicy odchyłek $\Delta\beta_j$ dla rozpatrywanej połowy przekroju nagrzewnicy

$$\sigma^2 = \frac{\sum (\Delta\beta_j)^2}{\sum j} \quad (12)$$

Wartości dla położenia A wynosi $\sigma_A = 11,3\%$ oraz dla położenia B $\sigma_B = 5,1\%$. Wynika stąd wyraźnie, że usytuowanie

króćców w pobliżu osi szybu spalania jest bardziej korzystne dając mniejsze różnice rozkładu prędkości spalin i dmuchu oraz równomierniejsze nagrzanie kratownicy rzeczywistej.

6. Porównanie wyników z badaniami zagranicznymi

Wyniki przedstawione w niniejszej pracy porównano z wynikami cytowanymi w [7].

Model opisany w publikacji [7] nie zachowuje podobieństwa geometrycznego. Kratownicę wykonano z rurek szklanych, których przekrój nie spełniał warunku podobieństwa. To samo dotyczy wysokości kratownicy modelu.

Przy badaniach regulowano prędkość przepływu według liczby Reynoldsa w szybie spalania, co pociągnęło za sobą niedotrzymanie wartości Re w rurkach kratownicy. Aby zachować liczbę Eulera w kratownicy modelu taką samą jak w obiekcie rzeczywistym wstawiono do rurek modelu mniejsze rurki, regulując w ten sposób spadek ciśnienia. Spadek ciśnienia w kratownicy obiektu rzeczywistego określono wzorem:

$$\delta p = \delta p_f - H_{12} \gamma_s \delta r - \delta p_T \quad (13)$$

gdzie:

δp_f - strata ciśnienia spowodowana tarciem,

$H_{12} \gamma_s \delta r$ - ciśnienie hydrostatyczne słupa gazu w kratownicy nagrzewnicy,

δp_T - spadek ciśnienia spowodowany ochładzaniem gazu.

Uwzględnione w powyższym wzorze ciśnienie hydrostatyczne nie ma żadnego wpływu na rozkład prędkości w nagrzewnicy gdyż wystąpiłoby ono również przy prędkości równej zeru. Ciśnienie to ma wartość zbliżoną do p_f . Na skutek uwzględnienia ciśnienia hydrostatycznego we wzorze (10) obliczona liczba Eulera jest znacznie mniejsza od prawidłowej co pociąga za sobą zrealizowanie zbyt małego spadku ciśnienia w modelu. Wpływ spadku ciśnienia w modelu na równomierność rozkładu prędkości jest

znaczny. Zwiększenie tego spadku ciśnienia działa wyrównająco na rozkład prędkości.

Błędne obliczenie liczby Eu jest prawdopodobnie główną przyczyną dużego odstępstwa wyników podanych w [7] w porównaniu z wynikami niniejszej pracy.

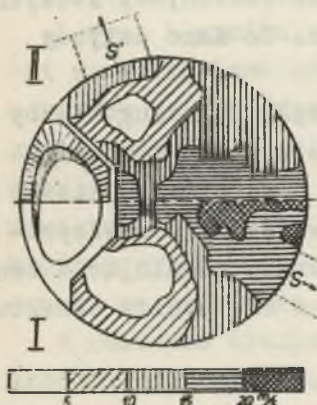
Rozkład prędkości uzyskany w pracy [7] jest bardzo nierównomierny. Przy modelowaniu przepływu spalin uzyskano wartości od 1,8 m/s do 22 m/s ($|\beta_{s \max}| < 85\%$).

Pomimo znacznych różnic ilościowych wnioski jakościowe porównywanych prac są podobne. W pracy [7] po zbadaniu wpływu usytuowania króćców spalinowych stwierdzono podobnie jak w niniejszej pracy, że usytuowanie króćców spalinowych w pobliżu osi szybu spalania daje bardziej równomierny rozkład prędkości, co obrazuje rys. 6.

Dla pełniejszego zbadania wpływu konstrukcji nagrzewnicy na rozkład prędkości należałoby ponadto przebadać wpływ usytuowania króćca doprowadzającego dmuch, co jest celem dalszych badań.

W pracach badawczych nad powyższym zagadnieniem oprócz pracowników katedry brali udział również dyplomanci wykonując znaczną część pomiarów.

Rys. 6. Rozkład prędkości uzyskany w pracy [7] dla dwu położzeń króćców wylotowych spalin I i II



Autorzy pragną podziękować Kierownikowi Katedry Panu prof. dr inż. Janowi Szargutowi za wskazanie tematu oraz cenne uwagi i pomoc przy jego opracowaniu.

LITERATURA

- [1] Guzik A., Wiński St., Sgodzaj A.: Badania modelowe przepływu powietrza i spalin w nagrzewnicy wielkopięcowej. Cz. I - Obliczenia cieplne modelu. Cz. II - Badania przepływu powietrza.
- [2] Wandrasz J., Ziębik A.: Badania modelowe przepływu powietrza i spalin w nagrzewnicy wielkopięcowej. Cz. III - Badania przepływu spalin.
- [3] Szczepanek L., Wyciślak J.: Badania modelowe przepływu powietrza i spalin w nagrzewnicy wielkopięcowej. Praca dyplomowa. Gliwice 1967.
- [4] Hobler T.: Ruch ciepła i wymienniki.
- [5] Müller L.: Teoria podobieństwa mechanicznego.
- [6] Johnstone R.E., Thring M.W.: Instalacje doświadczalne. Modele i metody powiększania skali.
- [7] Černoš S., Saň Hung - Fa.: Sbornik Vedeckých Prác Vysokej Školy Technickéj w Košicach. 1962

МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ДУТЬИ И ДЫМОВЫХ
ГАЗОВ В ДОМЕННОМ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕ

Р е з ю м е

В статье представлено анализ влияния расположения дымовых патрубков в доменном воздухонагревателе на распределение скоростей при течении воздуха и дымовых газов. Исследования проведено на холодном модели доменного воздухонагревателя при сохранении геометрического подобия а также при сохранении значения чисел Рейнольдса и Эйпера. Результаты сравнено с результатами иностранных исследований.

MODEL EXAMINATION OF BLAST AND COMBUSTION
PRODUCT FLOW THROUGH THE COWPER STOVE

S u m m a r y

The analysis of influence of combustion product out let location in Cowper stove on the velocity distribution of blast and combustion product flow has been carried on. The cold model of Cowper stove has been examined and the geometrical similarity and Reynolds and Euler numbers have been conserved. The received results are compared with the results of outlandish examinations.