ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1969

Seria: INŻYNIERIA SANITARNA z. 15 Nr. kol.277

Stanisław Mierzwiński, Janusz Piotrowski,
Maria Jedynak

FIZYKALNY MODEL DLA BADANIA ODCIĄGU GAZÓW Z ELEKTRYCZNYCH PIECÓW ŁUKOWYCH

1. Wstęp

W związku z wprowadzaniem świeżenia tlenem we wszystkich elektrostalowniach w kraju konieczne jest dokładne odpylanie gazów odlotowych z pieców łukowych. Wynika stąd potrzeba skutecznego ujęcia i odciągania tych gazów. W tym zakresie wiele zagadnień jest w skali krajowej nowością. Szczególnie brak danych doświadczalnych.

Badania przeprowadzane dotychczas za granicą [1] do [6] dotyczą przede wszystkim urządzeń odpylających, instalowanych przy piecach i poprawy skuteczności ich działania. Natomiast brak badań w zakresie samego ujęcia gazów z pieców.

Z tego powodu wyłoniła się potrzeba przeprowadzenia pracy badawczej, która pozwoliłaby określić wytyczne dla projektowania takich odciągów.

Potrzebne są dane w zakresie ilości usuwanych gazów i ich parametrów cieplnych, o rozkładzie temperatur i warunkach ciśnień, panujących w obrębie urządzeń odciągowych oraz o kształcie i innych parametrach konstrukcyjnych takich urządzeń.

System odciągu gazów z elektrycznych pieców łukowych ma ścisłe powiązania z technologią procesu stalowniczego. Dlatego badania warunków ujęcia tych gazów powinny być prowadzone w zakresie systemów, określonych przez hutnictwo.

Wynikające stąd zagadnienia wyjątkowo trudno jest rozwiązać drogą teoretycznych obliczeń. Również sprawdzanie zaprojektowanych rozwiązań, po ich wykonaniu i w normalnej eksploatacji nastręcza trudności. Wszelkie modyfikacje i przeróbki są wtedy kosztowne i utrudniają normalne prowadzenie procesu produkcyjnego.

Z tego powodu pierwszy etap prac badawczych w omawianym zakresie przeniesiono na grunt badań modelowych, które pozwalają pokonać wymienione trudności. Koncepcja i konstrukcja stanowiska modelowego dla takich badań jest tematem niniejszego artykułu.

2. Metody odciągania gazów z elektrycznych pieców łukowych

Ilości własności pyłów i gazów odlotowych, wydzielających się w procesie elektropiecowym, zależne są od fazy procesu wytopu. Najniekorzystniejszy pod tym względem jest okres świeżenia tlenem. W tym czasie temperatura kąpieli osiąga 1600 do 1800°C [1 - 3], kąpiel intensywnie paruje, a wydzielające się pary natychmiast utleniają się przy zetknięciu z atmosferą i wprowadzanym tlenem. Uchodzące gazy posiadają ciemnobrunatne zabarwienie, które jest wynikiem obecności tlenków żelaza, o dużym stężeniu - 10 g/nm^3 i więcej i o bardzo małym rozdrobnieniu - poniżej 4 μm [4]. Również temperatura tych gazów jest wysoka i na wyjściu z pieca wynosi 950 - 1400°C. Odpowiednio do rozkładu ciśnienia w piecu - przez dolną część otworu wsadowego powietrze napływa do jego wnętrza, a w strefie nadciśnienia gazy uchodzą przez wszystkie otwory i nieszczelności.

W praktyce hutniczej istnieje kilka systemów odciągu gazów odlotowych z pieców łukowych, związanych m.in. z wielkością pieca. Najważniejsze z nich to:

- Ujęcie okapowe, za pomocą okapu umieszczonego nad otworem wsadowym, oknem roboczym, otworem spustowym i innymi otworami pieca.
- Ujęcie bezpośrednie, przy pomocy specjalnego otworu, umieszczonego najczęściej w sklepieniu pieca. Z otworu tego bezpośrednio odciąga się gazy odlotowe. Wywołuje się w ten sposób we wnętrzu pieca pewne podciśnienie, zabezpieczające przed wydostaniem się gazów przez inne otwory i nieszczelności.

Istnieje tendencja do stosowania ujęć okapowych dla pieców mniejszych, o pojemnościach poniżej 20 t, tj. o średnicach trzonu nie większych niż 3,5 do 4 m. Przy większych piecach stosowany jest raczej bezpośredni odciąg.

W niniejszej pracy omawia się modelowanie tego pierwszego rozwiązania.

3. Analiza obiektu dla badań modelowych

Przy badaniach modelowych dobór warunków podobieństwa, które należy uwzględnić zależy od fizykalnych własności odnośnego procesu w naturze. Możliwość pominięcia jakiegoś elementu podobieństwa powinna być starannie sprawdzona, aby uzyskane w modelu wyniki z wystarczającą pewnością można było przenieść na proces naturalny.

Należało zatem dokładnie zapoznać się z obiektem naturalnym i wyodrębnić w nim procesy, które mają być modelowane.

Jako obiekt badań wybrano w jednej z hut elektryczny piec łukowy o pojemności 6 ton,praktycznie ładowanym wsadem 10 tonowym,pracujący bez okapu. Dla pieca tego sporządzono uśredniony bilans materiałowy i cieplny opierając się na uśrednionych danych technologicznych procesu wytopu najczęściej produkowanej w nim stali o symbolu 1H18N9T, który odbywa się metodą odzyskową, ze świeżeniem tlenem. Obserwowano również czasy trwania poszczególnych faz wytopu oraz sposób prowadzenia pieca - tablica 1 oraz rys. 1.

Jako podstawę czasu do bilansu wzięto średni roczny czas wytopu dla tego pieca jako średni z roku 1968,określony na podstawie kart wytopów. Ilość godzin pracy pieca wyniosła 8266 w roku, czas jednego wytopu średnio 7,7 godziny, produkcja stali 8,87 t/wytop.

Sam proces wytopu został podzielony na kilka faz, w trakcie których zachodzą różniące się od siebie procesy chemiczne, cieplne i wymiany masy. Z punktu widzenia działania urządzeń odpylających ważne są przede wszystkim trzy fazy:

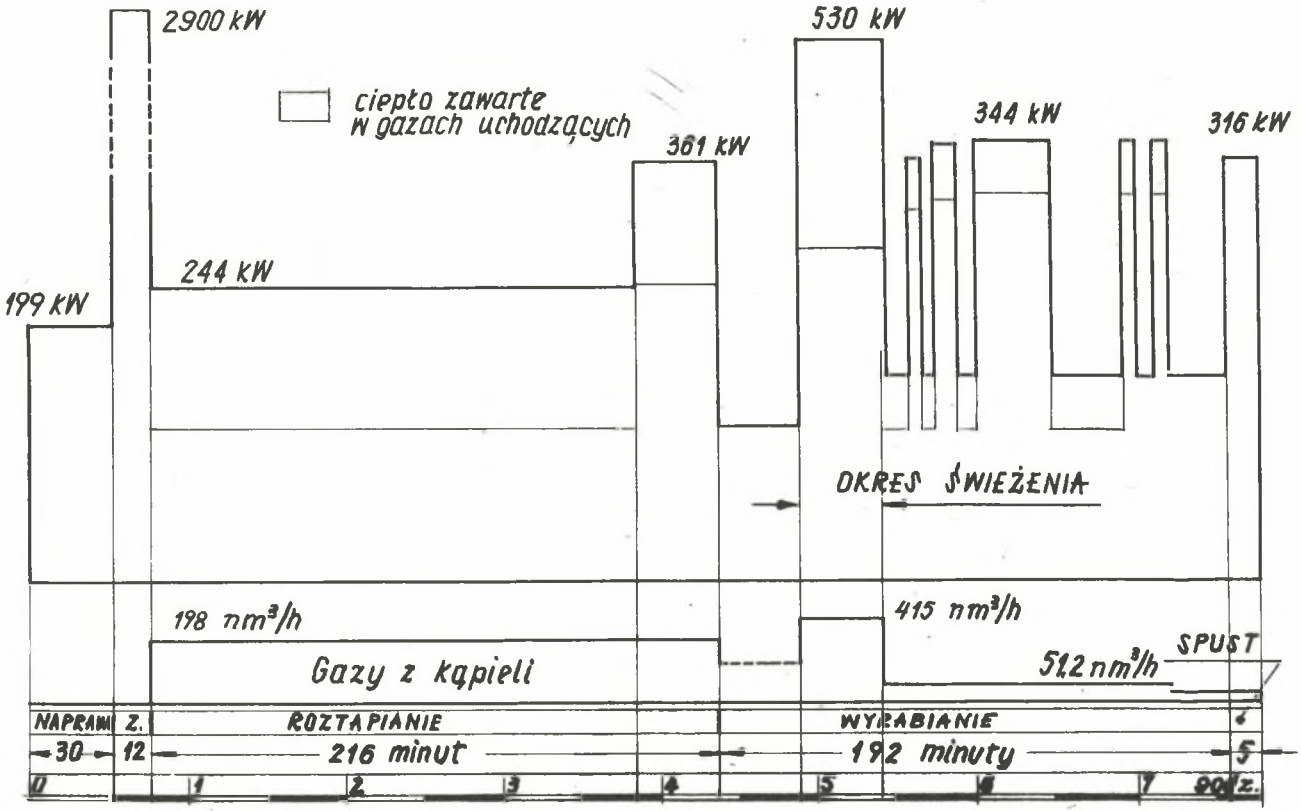
- roztapianie wsadu,
- świeżenie tlenem,
- redukcja.

Tablica 1

Skład wsadu dla elektrycznego pieca łukowego
przy wytopie stali stopowej 1H18N9T

Wsad	Masa kg	C %	Mn %	Si %	P %	S %	Cr %	Ni %	Fe %
70% stali	69	0,083	1,38	0,552	0,024	0,014	10,4	5,5	51,05
30% złomu stalowego	29,5	0,08	0,206	0,059					29,16
złom elektrod	0,14	0,137							
Razem:	98,64 x)	0,3	1,586	0,611	0,024	0,014	10,4	5,5	80,21

x) Masa wsadu stalowego wynosi 98,64 kg, a resztę w uzupełnieniu do 100 kg stanowią dodatki stopowe



Rys. 1. Uśrednione straty ciepła oraz ilość gazów wg bilansu wzorcowego dla pieca o pojemności 6 ton

Zajęto się głównie takimi pozycjami energijnego bilansu pieca, jak:

- straty ciepła pieca do otoczenia na drodze konwekcji i promieniowania
- ilość gazów uchodzących z pieca i ciepło z nimi unoszone.

Dla ustalenia strat ciepła pieca do otoczenia dokonano pomiaru temperatury jego powierzchni oraz temperatury powietrza i przegród hali.

Na gazy uchodzące z pieca składają się gazy wydobywające się z kąpieli oraz powietrze przechodzące przez piec.

Dla określenia ilości gazów, wydzielających się z kąpieli w czasie poszczególnych faz procesu, wykonano obliczenia stechiometryczne reakcji spalania w piecu.

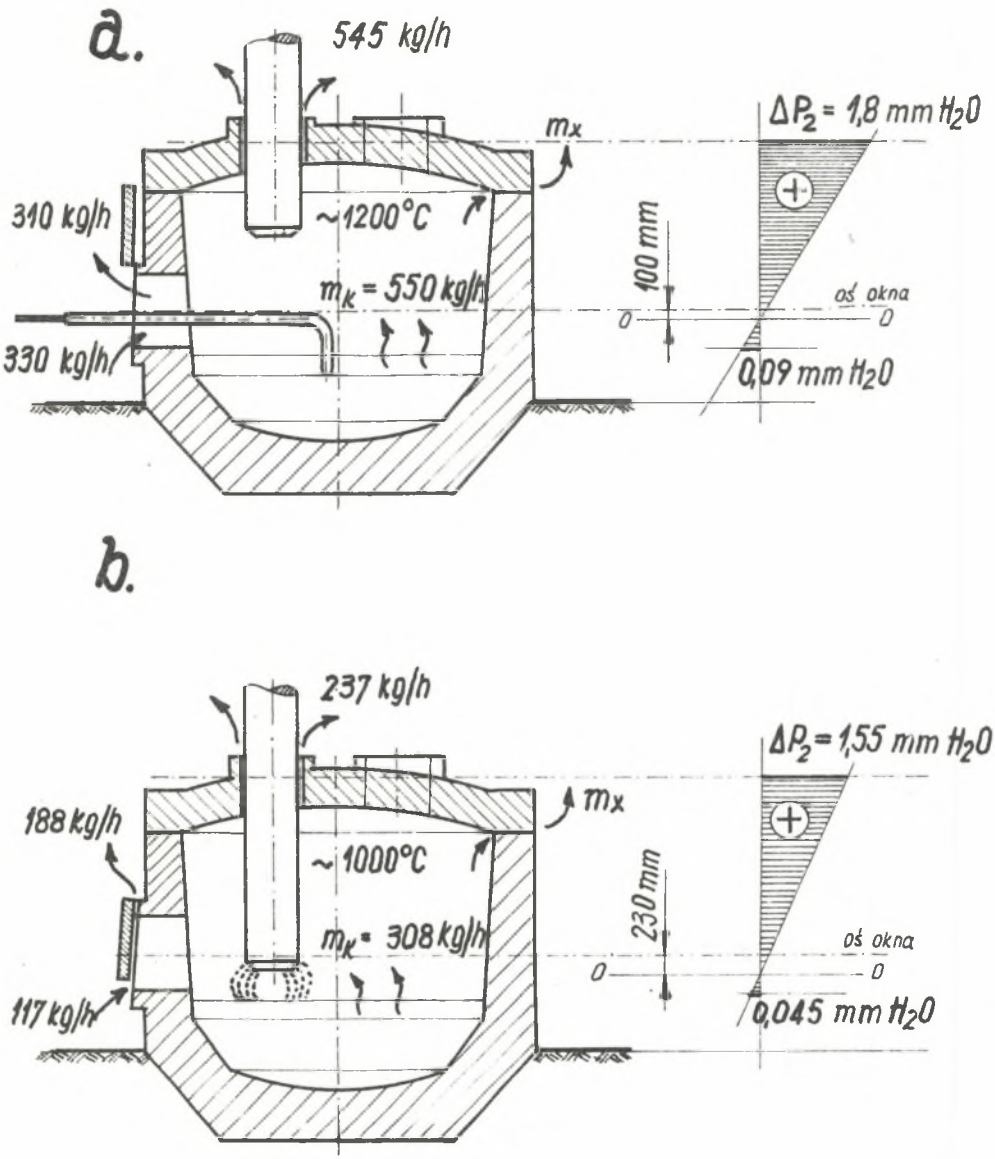
W okresie roztapiania reakcje chemiczne spalania w piecu odbywają się kosztem tlenu z powietrza, które wnika do przestrzeni roboczej pieca przez nieszczelności. Ilość gazów obliczona dla tego okresu wynosi 198 nm^3/h - rys. 1.

W okresie świeżenia tlen wprowadzany jest bezpośrednio do kąpieli za pomocą lancy i reakcje utleniania zachodzą tylko jego kosztem. W tym okresie wydziela się największa ilość spalin z kąpieli. Okno wsadowe jest wtedy otwarte i do pieca dopływa również największa ilość powietrza. W związku z tym w okresie świeżenia z pieca uchodzi maksymalna ilość gazów odlotowych. Według obliczeń ilość gazów wydzielających się z kąpieli wynosi 415 nm^3/h.

W okresie redukcji ilość gazów jest kilkakrotnie mniejsza niż w czasie roztapiania czy świeżenia. Praktycznie węgiel został już cały wypalony i reakcje zachodzą bezpośrednio w metalu, a wydzielające się gazy pochodzą ze spalania pracujących elektrod. Ilość gazów obliczona dla tego okresu wynosi 51,2 nm^3/h.

Ilości gazów przechodzących przez piec obliczono na podstawie analizy rozkładu ciśnień we wnętrzu pieca i w jego otworach w różnych fazach procesu - rys. 2.

Z obserwacji przeprowadzonych w obiekcie rzeczywistym w warunkach ruchowych stwierdzono, że płaszczyzna wyrównania ciś-



Rys. 2. Rozkład ciśnień w elektrycznym piecu łukowym o pojemności 6 ton

a - podczas procesu świeżenia tlenem, b - podczas procesu roztapiania

nień 0-0 w piecu układa się w przybliżeniu na wysokości połowy okna wsadowego, niezależnie od fazy procesu panującego w piecu. U dołu okna wsadowego jest zauważalne w każdym wypadku wyraźne ssanie powietrza do wnętrza pieca, natomiast gazy odlotowe i powietrze, które wtargnęło do pieca wydobywają się górną częścią otworu wsadowego i szczelinami pierścieniowymi na sklepieniu pieca wokół elektrod (rys. 2).

Tablica 2

Wybrane pozycje wzorcowego bilansu dla pieca o pojemności 6 ton

Wyszczególnienie	Ilość ciepła	
	kJ	kW
1. Ilość ciepła z uchodzącymi gazami z kąpieli podczas:		
roztapiania	1.290.000	100
świeżenia	268.000	232
redukcji	212.000	27,9
2. Ilość ciepła z uchodzącymi gazami z pieca podczas:		
roztapiania		146
świeżenia		302
3. Strata ciepła z powierzchni pieca przez:		
promieniowanie	19.900.000	71,6
konwekcję	14.600.000	52,4
4. Strata ciepła elektrod w czasie załadunku	338.000	563

Dokonano teoretycznego obliczenia położenia płaszczyzny wyrównania ciśnień, a w związku z tym ilości gazów przechodzących przez piec, dla okresu świeżenia oraz okresu roztapiania. Wyniki są następujące:

- Przy założeniu, że okno wsadowe jest otwarte, a w piecu zachodzi proces świeżenia tlenem, uzyskana ilość gazów przechodzących przez piec wynosi około 640 nm^3/h. Ilość ciepła wynoszona z gazami wynosi 302 kW - rys. 1.

- Dla fazy roztapiania przy zamkniętym oknie wsadowym, z uwzględnieniem normalnych nieszczelności okna, ilość przechodzących gazów wynosi 335 nm^3/h, a ciepło unoszone z gazami - 146 kW.

Szczegółowe wyniki obliczeń podano w tablicy 2 i na rys. 1.

4. Modelowanie ujęcia i odciągów gazów

Z punktu widzenia pracy odciągów potrzebne jest modelowanie procesów wymiany ciepła oraz wymuszonych i naturalnych przepływów gazów. Modelowane procesy sprowadzają się zatem do przenoszenia ciepła drogą konwekcji i promieniowania oraz do przepływów, w których wymuszony, nieizotermiczny ruch gazu nakłada się na ruch konwekcyjny, przy czym prędkości obu ruchów posiadają zbliżone wartości.

Dla modelowania takich procesów kryteriami podobieństwa są liczby Re, Fr, Ar, Gr [7]. Nie udaje się równocześnie zachować równości wszystkich tych liczb kryterialnych w naturze i w modelu. Dlatego trzeba przyjąć metodę przybliżonego modelowania. W tym celu należy zapewnić równości liczb Ar oraz stabilność ruchu gazów, przy utrzymaniu tego ruchu w granicach samomodelowania.

Stabilność ruchu gazu w modelu można zapewnić przez utrzymanie go w strefie pełnej burzliwości oraz przez zachowanie odpowiednich warunków początkowych i brzegowych.

Samomodelowanie wyraża się niezależnością zjawiska od kryterium określającego proces i występuje wtedy, gdy zarówno w naturze jak i w modelu liczba kryterialna osiąga określoną wartość. Dzięki zachowaniu takich warunków rozkład prędkości strumieni wymuszonych, uzyskiwany w modelu, odpowiada warunkom naturalnym dla liczb $Re \gg Re_{kr}$, a konwekcyjne współczynniki wnikania ciepła nie są uzależnione od wymiarów źródła ciepła, zatem i od skali modelu, dla wartości iloczynu $(Gr \cdot Pr) > 2 \cdot 10^7$ [7]. W rzeczywistości występuje jednak pewien wpływ liczby Re i dlatego potrzebna jest kontrola dokładności działania modelu przez porównanie wyników jego pracy z warunkami pracy naturalnego obiektu.

Dla zachowania warunków modelowania nieodzowne jest spełnienie podobieństwa geometrycznego naturalnego obiektu i modelu. Z uwagi na przybliżony charakter modelowania wyniki są tym dokładniejsze, im bardziej model jest zbliżony wymiarami do naturalnego obiektu. Z doświadczenia wiadomo, że dla utrzymania dokładności modelowania w granicach kilku procent skala modelu nie powinna przekraczać około 1:20.

W rozważanym przypadku celowe jest zastosowanie powietrza jako czynnika roboczego z uwagi na to, że jego własności fizyczne są bardzo zbliżone do własności gazów odlotowych. Ponadto w takim modelu możliwe jest odwzorowanie procesu przekazywania ciepła przez promieniowanie.

Dla przybliżonego modelowania przyjmuje się oprócz skali wymiarów geometrycznych dodatkowo jeszcze skalę jednego z parametrów termicznych, najczęściej różnicy temperatur. Skale te dobiera się w taki sposób, aby wyliczone na ich podstawie pozostałe skale umożliwiły przeprowadzenie w modelu pomiaru wszystkich istotnych parametrów za pomocą dostępnej aparatury, jak również, aby zakres wartości parametrów termicznych nie był uciążliwy dla prowadzenia modelu [8].

5. Konstrukcja modelu

5.1. Skale modelu

Przyjęto skale:

- długości $S_l = 1:15$
- różnicy temperatur $S_{\Delta t} = 0,8$

Pozostałe skale według obliczeń:

- prędkości $S_w = 0,23$
- różnicy ciśnień $S_{\Delta p} = 5,3 \cdot 10^{-2}$
- strumienia masy $S_m = 1 \cdot 10^{-3}$
- strumienia ciepła niesionego ze spalinami $S_Q = 0,8 \cdot 10^{-3}$

- strumienia ciepła promienistego $S_{Q_r} = 0,8 \cdot 10^{-3}$
- strumienia ciepła konwekcyjnego $S_{Q_k} = 3,3 \cdot 10^{-3}$
- współczynnika wnikania ciepła $S_{\alpha} = 0,94$
- emisyjności powierzchni $S_{\varepsilon} = 0,48$

Praktycznie nie zachodziła potrzeba wprowadzania korekty bezwzględnych wartości cieplnych parametrów czynników, gdyż modelowanie przeprowadza się przy użyciu powietrza, którego gęstości i temperatura w modelu jest bardzo zbliżona do parametrów powietrza i gazów w obiekcie naturalnym.

Dla przykładu podaje się sposób wyliczenia skali emisyjności powierzchni, którą wyprowadza się z warunków odwzorowania ciepła i masy.

Skala wymiany ciepła promienistego jest stosunkiem ilości ciepła wymienionego w modelu do ilości wymienionej w naturalnym obiekcie:

$$S_{Q_r} = \frac{5,67 \ \varepsilon_1'' \ \varepsilon_2'' \ \varphi'' A'' \ \Theta'' (t_1'' - t_2'')}{5,67 \ \varepsilon_1' \ \varepsilon_2' \ \varphi' A' \ \Theta' (t_1' - t_2')}$$

$$S_{Q_r} = S_{\varepsilon}^2 \ S_{\varphi} \ S_1^2 \ S_{\Theta} \ S_{\Delta t} \qquad (1)$$

oznaczenia:

$$\Theta = \frac{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{t_1 - t_2}$$

- indeksy z dwiema kreskami dotyczą modelu
- indeksy z jedną kreską dotyczą obiektu naturalnego
- pozostałe oznaczenia przyjęto zgodnie ze stosowanymi w termodynamice [9].

Ponieważ $S_\varphi = 1$, gdyż jest zachowano podobieństwo geometryczne, a $S_\Theta \cong 1$, gdyż wartości temperatury w modelu i w naturalnym obiekcie są zbliżone, wobec tego równanie (1) przyjmuje następującą postać:

$$S_{Q_r} = S_\varepsilon^{\,2}\, S_1^{\,2}\, S_{\Delta t} \tag{2}$$

Skalę strumienia masy można przedstawić jako:

$$S_m = \frac{\dot{m}''}{\dot{m}'} = \frac{A''\ \varrho''\ w''}{A'\ \varrho'\ w'} = S_1^{\,2}\, S_\varrho\ S_w \tag{3}$$

a skalę strumienia ciepła:

$$S_Q = \frac{\dot{Q}''}{\dot{Q}'} = \frac{c''\ \dot{m}''\ (t_1'' - t_2'')}{c'\ \dot{m}'\ (t_1' - t_2')} = S_c\ S_{\dot{m}}\ S_{\Delta t} \tag{4}$$

Rozpatrując wspólnie równania (2), (3) i (4) można wyliczyć skalę emisyjności powierzchni:

$$S_c\ S_1^{\,2}\ S_\varrho\ S_w\ S_{\Delta t} = S_\varepsilon^{\,2}\ S_1^{\,2}\ S_{\Delta t}$$

$$S_\varepsilon^{\,2} = S_c\ S_\varrho\ S_w$$

$$S_\varepsilon = \sqrt{S_c\ S_\varrho\ S_w} \tag{5}$$

Ponieważ w rozpatrywanym przypadku $S_c = 1$ i $S_\varrho = 1$ pozostaje

$$S_\varepsilon = \sqrt{S_w}$$

wstawiając uprzednio wyliczoną wartość S_w otrzymano

$$S = \sqrt{0{,}23} = 0{,}48$$

5.2. Opis stanowiska do badań modelowych

Dla umożliwienia wstępnego porównania pracy modelu z istniejącym obiektem naturalnym wykonano nie tylko model pieca, ale również obejmującego go odcinka hali.

Model hali stalowni został wykonany jako drewniany, zabezpieczony płytami azbestowymi i pokryty paskami folii aluminiowej. Powierzchnie okien są otwieralne i można w dowolny sposób zmieniać warunki aeracji, aby upodobnić ruchy powietrza do występujących w naturalnym obiekcie. W ścianach bocznych modelu umieszczono przeźroczyste szyby ze szkła organicznego, w celu umożliwienia bezpośrednich obserwacji ruchów powietrza.

Poprzeczny przepływ powietrza przez model hali stalowni zrealizowano przy pomocy wentylatorów osiowych o zmiennej, regulowanej wydajności. Wyrównanie przepływu zapewnia gęsta siatka druciana.

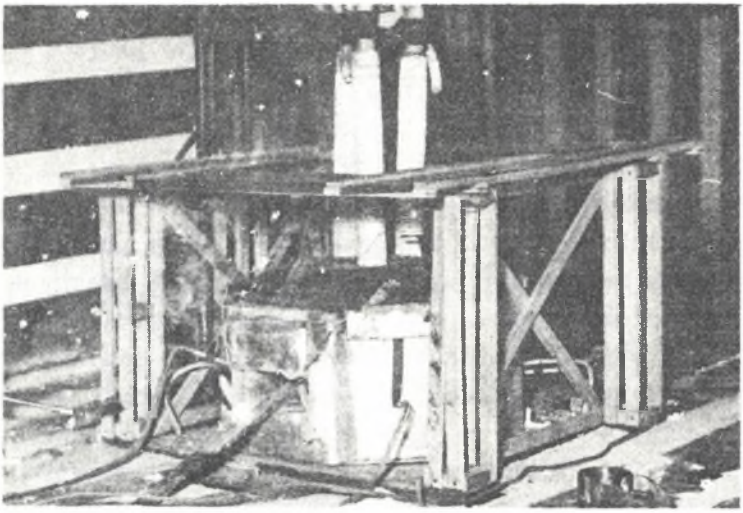
Model pieca został wykonany z blachy stalowej czarnej, o grubości 0,5 mm. Od wewnątrz został on pokryty warstwą ogniotrwałej masy formierskiej o grubości około 20 mm, z zatopionymi w niej spiralami grzewczymi z drutu oporowego.

Elektrody zostały zamocowane w sposób umożliwiający ich przesuwanie, tak jak w obiekcie naturalnym.

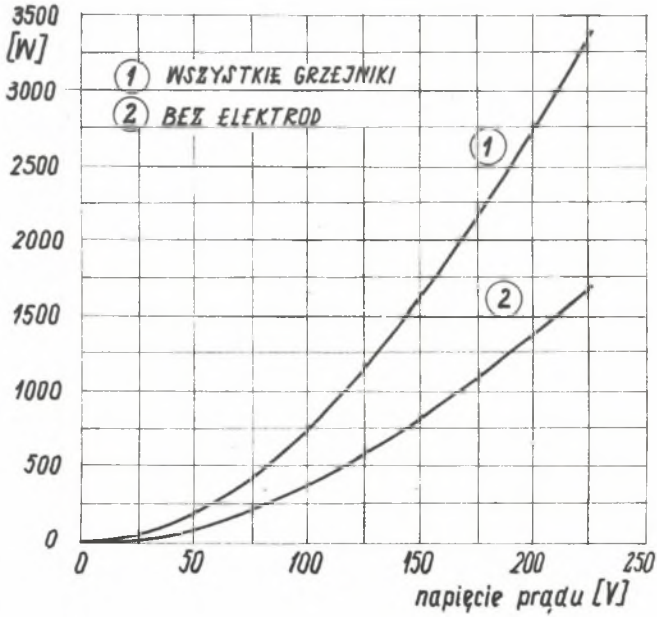
Konstrukcja wsporcza mocowania modelu pieca została wykonana w sposób umożliwiający dokonywanie przechyłów pieca do odżużlania i do spustu stali. Odpowiednio oś pionową pieca można przechylić o 15° lub 45°. Można też unosić sklepienie pieca, jak w warunkach ruchowych (rys. 3).

W płaszczu pieca zabudowano trzy grzejniki o mocy 400 W każdy, w sklepieniu pieca jeden grzejnik o mocy 400 W. Każda z elektrod jest ogrzewana spiralą z drutu oporowego o mocy 620 W. Moc grzejników zainstalowanych w piecu wynosi łącznie 3200 W. Napięcie zasilania grzejników można regulować w granicach od 50 do 220 V, a natężenie prądu elektrycznego, zasilającego grzejniki, w granicach od 0 do 15 A.

Podane powyżej moce grzejników oraz ich rozmieszczenie w modelu pieca zostały dobrane dla modelowania potrzebnego rozkładu temperatur powierzchni pieca i jego strat do otoczenia.

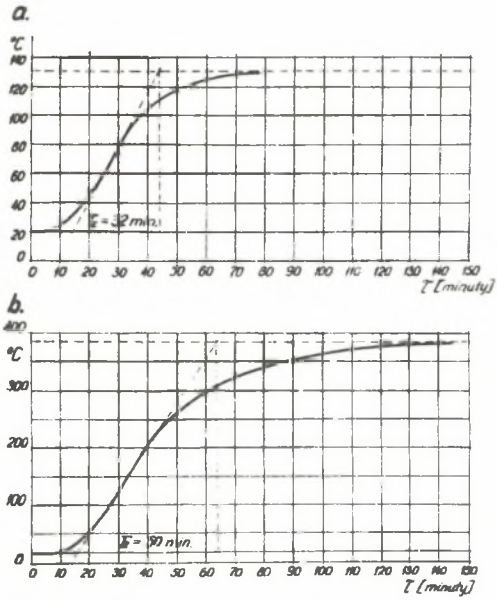


Rys. 3. Model pieca elektrycznego o pojemności 6 ton



Rys. 4. Cieplna charakterystyka statyczna modelu pieca łukowego

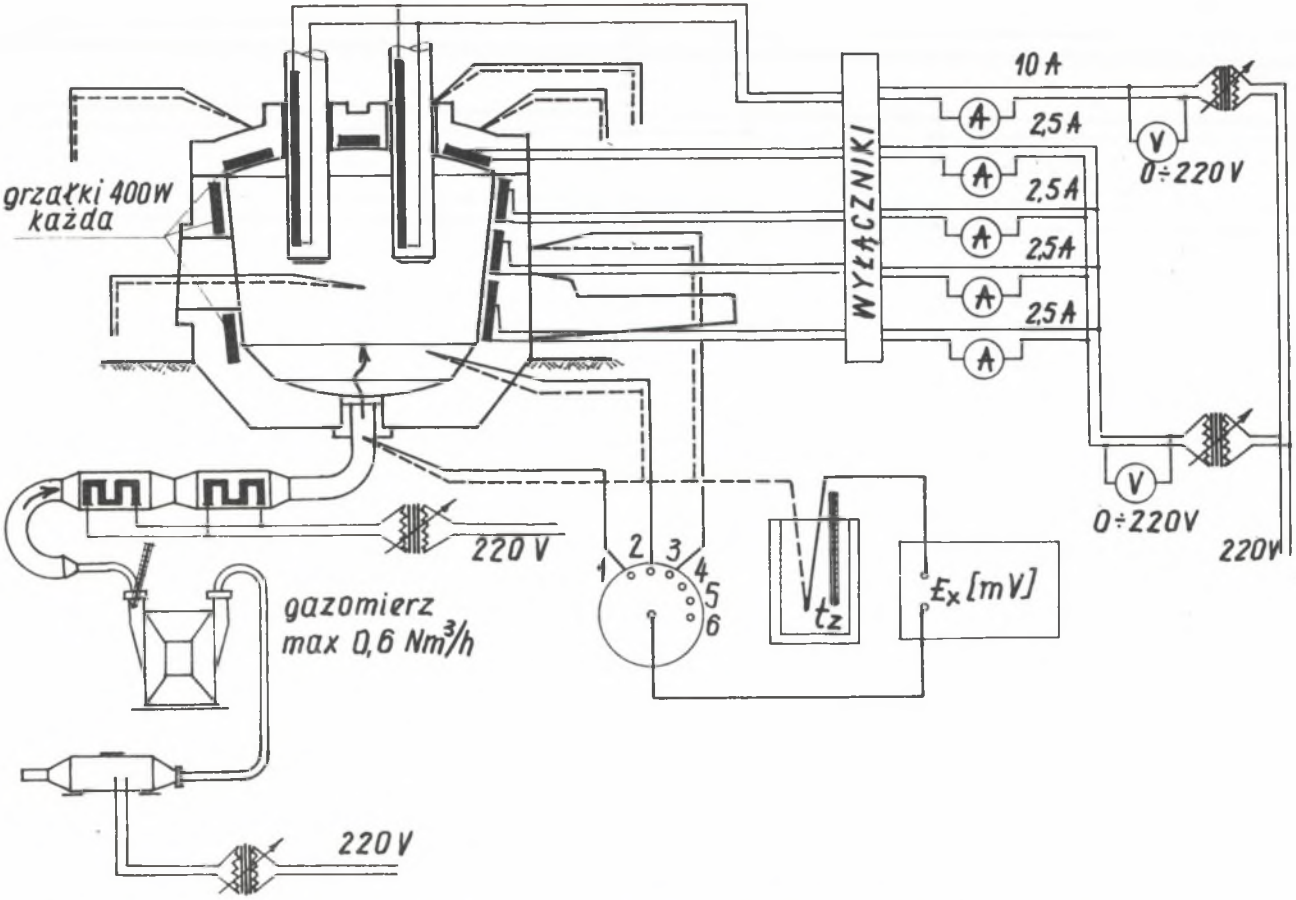
Na rys. 4 i 5 podano charakterystykę cieplną statyczną i dynamiczną modelu pieca. Od spodu piec posiada otwór, przez który wprowadza się odpowiednią ilość gorącego powietrza modelującego spaliny, jakie normalnie powstają podczas pracy pieca. Powietrze to dostarczane jest przy pomocy dmuchawy. Pomiar ilości odbywa się przy pomocy gazomierza. Na drodze przepływu umieszczony jest elektryczny wymiennik ciepła, który podgrzewa wstępnie powietrze do temperatury 350°C. W piecu następuje dalszy przyrost temperatury do około 850°C. W układzie odciągowym gorącego powietrza z modelu pieca została zabudowana chłodnica, zasilana zimną wodą, obniżająca temperaturę powietrza do około 35-40°C. Za chłodnicą znajduje się filtr, oddzielający zanieczyszczenia, powstające w trakcie modelowanego procesu przy zadymianiu dla obserwacji wizualnych. Układy pomiarowe pokazano na rys. 6 i 7.



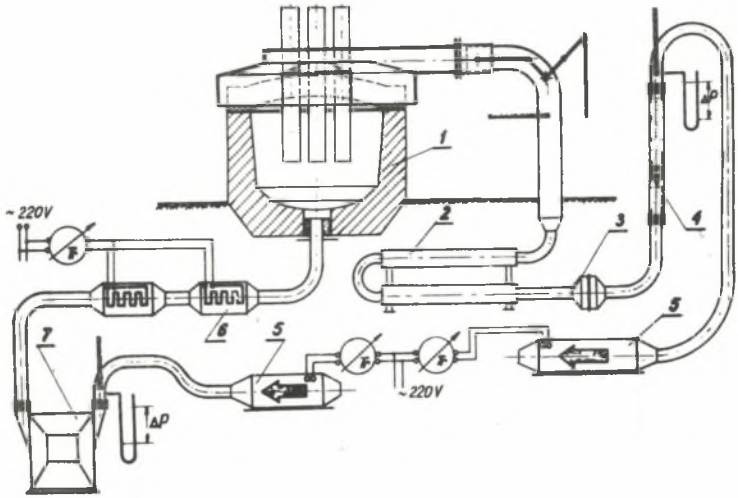
Rys. 5. Cieplna charakterystyka dynamiczna modelu pieca łukowego: a - dla płaszcza zewnętrznego, b - dla wnętrza pieca

Dla pomiaru ilości odciąganych gazów przewidziano rotametr. Jego zakres pomiarowy wynosi 2 - 20 m^3/h, co po przeliczeniu na wartości rzeczywiste daje 1,8 - 18 m^3/h.

Ilości ciepła pochodzące od gorących wlewnic zamodelowano przy pomocy grzejników elektrycznych o łącznej mocy 1000 W, których wydajność cieplną można zmieniać w zależności od potrzeby.



Rys. 6. Schemat układu pomiarowego temperatur, rozmieszczenia grzejników oraz nadmuchu gazów w modelu pieca łukowego



Rys. 7. Układ aparatury dla pomiaru ilości gazu dostarczanego i odciąganego z modelu pieca: 1 - model pieca, 2 - chłodnica, 3 - filtr, 4 - rotametr, 5 - dmuchawa, 6 - grzejnik elektryczny, 7 - gazomierz

5.3. Oprzyrządowanie pomiarowe stanowiska do badań modelowych

Wyposażenie aparaturowe stanowiska doświadczalnego umożliwia dokonywanie pomiaru takich wielkości, jak:

Temperatury

1. Średnie temperatury powietrza w modelu i w hali za pomocą termometrów rtęciowych o zakresie od 0-40°C (wartość działki 0,1 deg).
2. Rozkład temperatury powietrza w wybranych płaszczyznach pomiarowych - za pomocą termoelementów miedź-konstantan, rozmieszczonych na centymetrowej siatce pomiarowej. Zastosowany mikrowoltomierz w badanym zakresie temperatur umożliwia pomiar z dokładnością około ± 0,25 deg.
3. Temperatura gazów gorących wewnątrz pieca, pod okapem, w przewodach odciągowych - za pomocą termoelementów żelazo-konstantan. Zastosowany kompensator w badanym zakresie temperatur umożliwia pomiar z dokładnością około ± 0,25 deg.

4. Rozkład temperatur na powierzchni pieca - za pomocą termoelementów żelazo-konstantan jak wyżej oraz termopary stykowej z miernikiem w zakresie od 0-250°C z dokładnością ±5 deg.

Prędkości

5. Prędkość powietrza w wybranych płaszczyznach pomiarowych za pomocą:
   - termoanemometru elektrycznego o zakresie pomiarowym od 0-10 m/s, z dokładnością odczytu ± 0,1 m/s
   - anemometru skrzydełkowego różnicowego o zakresie pomiarowym od 0-6 m/s, z dokładnością odczytu ± 0,05 m/s.
6. Prędkość powietrza w obrębie okapu, za pomocą:
   - termoanemometru elektrycznego DISA o zakresie pomiarowym od 0-60 m/s, z dokładnością odczytu ± 0,1 m/s
   - mikrorurki Prandtla z mikromanometrem Recknagla.

Ciśnienie

7. Ciśnienie statyczne panujące w obrębie okapu - za pomocą mikromanometru z rurką pochyłą, dokładność odczytu ± 0,098 N/m^2 (± 0,01 mm H_2O).

Ilość przepływającego powietrza

8. Ilość powietrza doprowadzanego do pieca - za pomocą gazomierza o pojemności 5 l.
9. Ilość powietrza odciąganego - za pomocą rotametru o zakresie 2 - 20 m^3/h, z dokładnością odczytu 0,1 m^3/h.

5.4. Zakres wykorzystania modelu

Przy pomocy opracowanego modelu można przeprowadzać badania warunków ujęcia i odciągu gazów z elektrycznych pieców łukowych oraz warunków wentylacji hali stalowni w następującym zakresie:

- modelowanie rozpływu gazów odlotowych, a także temperatury i koncentracji tych gazów,

- modelowanie procesu wymiany ciepła między piecem i otoczeniem,
- modelowanie przepływu gazów przez piec, związanego z procesami technologicznymi w piecu,
- usprawnianie konstrukcji okapów przez dobór ich kształtów, zmiany rozmieszczenia punktów odciągowych, umieszczenia przepustnic regulacyjnych itp.,
- określanie potrzebnej ilości odciąganych gazów przy pełnym ujęciu pyłu dla różnych rozwiązań ujęć okapowych,
- modelowanie warunków wentylacji hali przy pracy pieca z okapem i bez okapu [10]; warunki te mogą być charakteryzowane za pomocą rozkładu temperatur i prędkości powietrza oraz koncentracji zanieczyszczeń powietrza w hali.

Ze względu na przeznaczenie modelu zakres modelowania nie obejmuje zatem wszystkich zjawisk związanych z procesami technologicznymi w piecu, a tylko te, które wpływają na pracę ujęcia i odciągu gazów.

LITERATURA

[1] MÜHLRAD W.: Aufgaben bei der Rauchgasentstaubung von Lichtbogenöfen. Stahl u. Eisen 83, s. 921-929, 1963.

[2] MÜHLRAD W.: Rauchgasentstaubung bei Lichtbogenöfen. Stahl u. Eisen 81, 41-46, 1961.

[3] TRZENSIOK H., MARTIN W.: Erfahrungen bei der Entstaubung eines 80 t Lichtbogenöfens. Stahl u. Eisen 84, 1136-1144, 1964.

[4] SEPTIER L.: Etat actuel du probleme pose par lepuration des fumes de fours a arc. Ciro. Inf. techn. 18, 455-469, 1961.

[5] NISZCZYJ P.A.: Udalenije i oczistka gazow ot elektrostalepławilnych dugowych pieczej. Mietałłurg Nr 2, 9, 1968.

[6] KAZANSKIJ W.W., GAŁKIN A.S.: Uławliwanije i oczistka gazow ot elektrostalepławilnych pieczej. Stal 26, 1966, 910-914.

[7] BATURIN W.W., ELTERMAN: Aeracja promyszlennych zdanij. Gos. Izd: Lit. po Stroit. Arch. i Stroit. Mat. Moskwa 1963.

[8] JODKO E.A., SZKLAR W.S.: Modelirowanie tiepłowych processow w mietałurgii, Moskwa 1967.

[9] OCHĘDUSZKO St.: Termodynamika stosowana. PWN Warszawa, 1967 r.

[10] MIERZWIŃSKI S., PIOTROWSKI J.: Badania warunków wentylacji hali stalowni z nieosłoniętymi piecami łukowymi. Zesz Nauk. Politech. Śl. Inż.-San. 15/1970.

S t r e s z c z e n i e

Omówiono zagadnienia związane z modelowaniem warunków wentylacji hali stalowni oraz ujęcia i odciągu gazów z elektrycznych pieców łukowych. Szczegółowo omówiono konstrukcję i sposób wykonania fizykalnego modelu do badania tych zjawisk, z podaniem założeń technologicznych, potrzebnych do modelowania. Opisano również wyposażenie aparaturowe stanowiska badań modelowych oraz zakres możliwości wykorzystania modelu.

ФИЗИКАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТВОДА ГАЗОВ ИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ ПЕЧИ

Р е з ю м е

Обсуждены вопросы моделирования условий вентиляции сталилитейного зала а также улавливания и отвода газов электропечей. Детально обсуждено конструкцию и выполнение физикальной модели для исследования этих явлений. Представлено технологические предпосылки необходимые к моделированию. Описано тоже аппаратурное оборудование установки для моделных исследований и предел возможности использования модели.

A PHYSICAL MODEL FOR TESTING OF PULLING OFF THE GASES FROM ELECTRICAL ARC FURNACES

S u m m a r y

A discussion is given of the problems concerning the modelling of the conditions of ventilation in the hall of a steel plant and of the intake and pull-off of the gases from electrical arc furnaces. A detailed discussion is presented of the construction and execution of a physical model for testing those phenomena, with a list of technological data which are necessary for the modelling. The equipment of the stand for model testing is described as well as the range of the possible use of the model.