

Maciej Michałowski
Instytut Metalurgii
Eugeniusz Skwaradowski
Huta "Katowice"

PROBLEMATYKA ZAMIENNOŚCI PALIW GAZOWYCH W PIECACH PRZEMYSŁOWYCH

Streszczenie. Znaczne różnice warunków spalania i wymiany ciepła w tzw. przyborach gazowych i w piecach przemysłowych powodują nieprzydatność dotychczas stosowanych kryteriów wymienności paliw gazowych. Zmiany w strukturze gospodarki paliwami gazowymi w polskim przemyśle ciężkim, jakie zaszły w ostatnich latach, a polegające głównie na eliminacji gazów ubogich i zastępowania ich gazami bogatymi, pociągnęły za sobą konieczność opracowania ogólnych zasad wymienności gazów opałowych przy możliwie niewielkich zmianach w układzie piecowym i przy zachowaniu dotychczasowej technologii nagrzewania lub jej polepszenia.

Warunki wymienności opracowane przez Wobbego, Veavera, Delbourga, opierają się przede wszystkim na zasadzie równoważności strumienia energii chemicznej dostarczanych paliw wymiennych, ich zupełnym spalaniu w przestrzeni otwartej, zaś nie uwzględniają warunków wymiany ciepła. Nowe kryteria dla wymienności paliw gazowych w piecach przemysłowych uwzględniają także ruch ciepła, zależny między innymi od temperatury płomienia. Ujęto je liczbowo w postaci wskaźnika użytecznej mocy palnika. Wskaźnik ten zaproponowano jako podstawowe kryterium wymienności paliw gazowych w określonym układzie piecowym.

1. Wstęp

Zmiany w gospodarce paliwowo-energetycznej polskiego hutnictwa, opisane dość obszernie w krajowej literaturze naukowo-technicznej [2], [3], [4], [5], [6], wynikają zarówno z modernizacji hut jak i ze zmian w bilansie paliw gazowych całego kraju. Zastępowanie paliw ubogich paliwami bogatymi powodowały w licznych zakładach szereg trudności, przeważnie technologicznych, które rozwiązywano drogą kolejnych praktycznych prób [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]. Podany wyżej sposób rozwiązywania problemu był podyktowany brakiem opracowania ogólnych podstaw teoretycznych zmienności gazów w piecach przemysłowych, które dałyby się zastosować w praktyce przemysłowej.

Podstawy zmienności gazów spalanych w przestrzeni otwartej w palnikach kinetyczno-dyfuzyjnych, rozpowszechnionych w gospodarce komunalnej i drobnym przemyśle, są już od dawna opracowane w postaci liczbowych i wykreślonych kryteriów [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25]. Wykorzystanie tych kryteriów zmienności gazów dla oceny

możliwości zamiany gazów przy ich spalaniu w zamkniętych przestrzeniach pieców przemysłowych okazało się niemożliwe, ponieważ warunki spalania paliw w pierwszym i drugim przypadku różnią się znacznie [1], [6], [14].

W palnikach używanych w gospodarce komunalnej paliwo gazowe spala się w otwartej przestrzeni ze swobodnym, nieograniczonym dostępem powietrza [16], [17], [18].

Wymiana ciepła między płomieniem i gazami grzejnymi a nagrzewanym materiałem jest prawie całkowicie konwekcyjna i przy bardzo dużej różnicy temperatur przekraczającej niekiedy 1000°C , dlatego nawet paliwa o niskiej temperaturze spalania zapewniają odpowiedni strumień ciepła do wsadu. Dla oceny pracy układu spalania i paliwa ważniejsze jest więc osiągnięcie odpowiedniej wartości strumienia dostarczanej energii chemicznej [1] [6], gdyż użyteczny strumień energii cieplnej jest w tym przypadku proporcjonalny do strumienia energii chemicznej.

W przestrzeniach pieców przemysłowych paliwo gazowe spala się w przestrzeni zamkniętej z ograniczonym dostępem powietrza. Wymiana ciepła między płomieniem, gazami grzejnymi a nagrzewanym wsadem zachodzi przede wszystkim przez promieniowanie, dość często przy niewielkiej różnicy temperatur między gazami grzejnymi a końcową temperaturą nagrzewanej powierzchni.

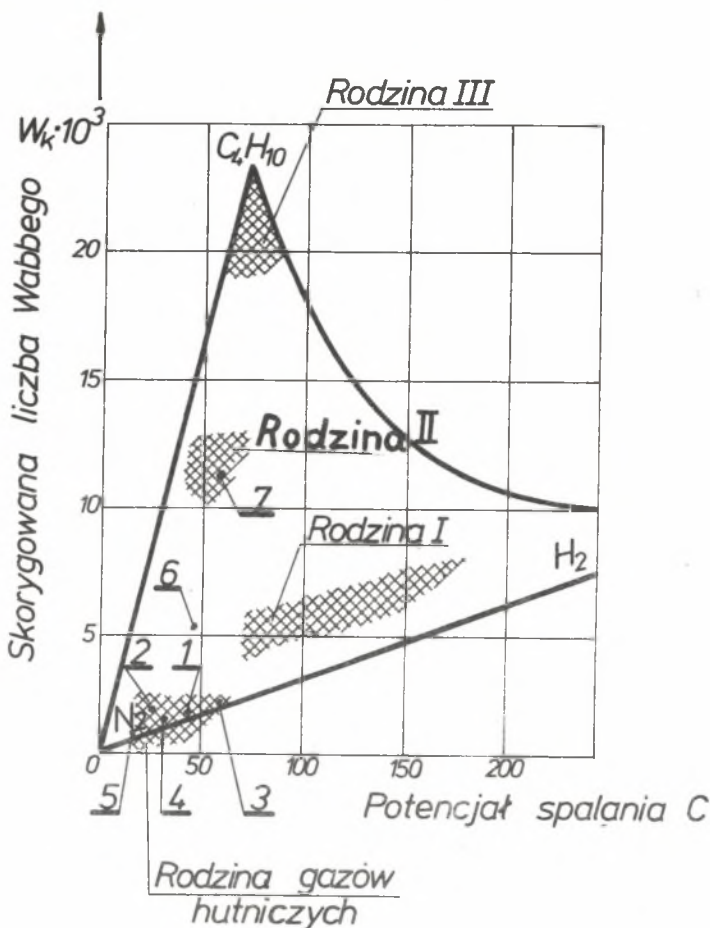
Zbyt niska temperatura spalania paliwa powoduje, że wytwarza się niewielki strumień cieplny, który przy stosowaniu gazów ubogich o niskich temperaturach spalania i koniecznych wysokich temperaturach nagrzewania, może w ogóle zaniknąć, co doprowadza do niedogrzenia wsadu.

2. Dotychczas stosowane kryteria zamienności gazów

Definicja zamienności gazów w komunalnych paliwach kinetyczno-dyfuzyjnych brzmi: "zamiennością gazów nazywa się możliwość spalania nowego gazu w palniku przeznaczonym do spalania innego gazu bez zmiany konstrukcji palnika" [17]. Muszą być wtedy spełnione następujące warunki:

- A. Zachowanie stałej mocy energetycznej (chemicznej) palnika, której wskaźnikiem jest liczba Wobbego.
- B. Zachowanie tego samego przebiegu spalania pod względem kształtu płomienia, zakresem regulacji mocy palnika i maksymalnej zawartości CO w spalinach [2], [22], [23]. Wskaźnikami takimi są liczby opracowane przez Veawera.

Obydwa te warunki można spełnić jedynie w obrębie tej samej rodziny gazów [2] (rys. 1). Równoczesne spełnienie tych warunków dla gazów należących do różnych rodzin nie jest możliwe. Wymagania te opracowane są również w formie wykresów [2], [25], nie obejmują temperatury spalania paliw gazowych, tak istotnego parametru procesu spalania gazów w piecach przemysłowych.



Rys. 1. Rodziny gazowe [1], [2]

I - gazy koksownicze, II - gazy ziemne (% CH_4 90%) - 7 gaz ziemny małopolski i zach. ukraiński, III - gazy płynne (butan, propan), IV - gazy hutnicze o dużej zawartości CO , CO_2 , N_2 - 1 - mieszany koksowniczo-wielkopieczowy, 2 - mieszany wielkopieczowo-ziemny, 3 - mieszany koksowniczo-czaźnicowy, 4 - czaźnicowy półwodny, 5 - wielkopieczowy
 Gaz kopalniany z ROW: 6 - znajduje się poza zakresem rodzin

3. Określenie zamienności gazów opałowych w piecach przemysłowych

W palnikach typu kinetyczno-dyfuzyjnego różnice składów chemicznych gazów należących do tej samej rodziny mogą być przyczyną niezamienności gazów. W piecach przemysłowych problem ten nie ma tak istotnego znaczenia [1] i bez przebudowy układu piecowego osiąga się w większości przypadków podobne wyniki technologiczno-energetyczne.

Wyjątkiem jest gaz wielkopieczowy, należący do IV rodziny gazów, którą zdefiniowano w pracy [1], gdyż swymi własnościami odbiega znacznie od pozostałych gazów rodziny IV (rys. 1). Poza gazem wielkopieczowym, stosowanym dość rzadko jako wyłączne paliwo piecowe, nie ma praktycznie trudności z zamiennością gazów palnych w piecach przemysłowych w zakresie tej samej rodziny.

Trudności w zamienności gazów zachodzą wówczas, gdy gazy podstawowy i zamienny należą do różnych rodzin. Sytuacja taka zachodzi często w hutniczej gospodarce cieplnej. Różnice między własnościami gazów należących do różnych rodzin i efektami ich spalania zwiększają przyjęcie dotychczasowej definicji zamienności gazów [1].

Zaproponowano więc [1], że "zamiennością gazów w palnikach pieców przemysłowych nazywa się możliwość spalania gazu zamiennego zamiast gazu podstawowego po przeróbce dyszy gazowej palnika przy zachowaniu jego korpusu. Wszystkie pozostałe elementy układu piecowego nie ulegają zmianie. Wprowadzenie gazu zamiennego musi umożliwiać kontynuowanie dotychczasowego technologiczno-energetycznego procesu nagrzewania przy zachowaniu jego przebiegu pod względem ilościowym i jakościowym na co najmniej dotychczasowym poziomie".

4. Zagadnienie zamienności paliw gazowych w piecach przemysłowych oraz kryteria zamienności

Zasadniczym warunkiem zamienności paliw gazowych w piecach przemysłowych jest zachowanie co najmniej takiej samej wartości strumienia ciepłego od gazów grzejnych do wsadu. Spełnienie tego warunku po zastąpieniu gazu podstawowego zamiennym powoduje, że:

- a) piec zachowa dotychczasową wydajność grzewczą,
- b) przebieg nagrzewania wsadu w przestrzeni i w czasie pozostanie niezmieniony.

Dla spełnienia tych warunków nie jest wystarczające utrzymanie stałej wartości liczby Wobbego i rozszerzonej liczby Wobbego W_p , gdyż zapewnia to tylko utrzymanie stałej mocy palników odniesionej do energii chemicznej, czyli utrzymania stałego strumienia energii chemicznej.

Kryterium Wobbego nie określa jednak stałości strumienia ciepłego od gazów grzejnych do wsadu.

Uwzględniając jednocześnie współczynnik wykorzystania paliwa η_{pal} [28] [29], zaproponowano "zmodyfikowaną liczbę Wobbego" W_m [1], gdzie:

$$W_m = W_p \cdot \eta_{pal} \quad (1)$$

Jest to wskaźnik charakteryzujący równocześnie paliwo i wymianę ciepła w przestrzeni roboczej, przy czym między innymi:

$$W_m = f(Q_w, \zeta, \Delta p, \lambda, t_{sp}, t_w), \quad (2)$$

gdzie:

- Q_w - wartość opałowa
- ρ - gęstość gazu
- Δp - nadciśnienie gazu w palniku
- λ - współczynnik nadmiaru powietrza
- t_{sp} - temperatura gazów grzejnych opuszczających przestrzeń roboczą (spalin odlotowych),
- t_w - temperatura wsadu opuszczającego przestrzeń roboczą.

Zaproponowano również wskaźnik użytecznej mocy energetycznej palnika $W_{uż}$, gdzie:

$$W_{uż} = W_m \cdot F \cdot \alpha = W_p \cdot \eta_{pal} \cdot F \cdot \alpha, \quad (3)$$

przy czym

- F - przekrój gazowej dyszy wylotowej palnika,
- α - współczynnik wpływu gazu z dyszy.

Jeżeli po zamianie paliwa gazowego wartość tego wskaźnika nie zmienia się, czyli $W_{uż} = const$, to zostanie zachowany niezmienny strumień ciepły płynący od płomienia i gazów grzejnych do wsadu [1]. Wyrażenie na wskaźnik użytecznej mocy energetycznej palnika ujmuje wynik zamiany paliwa ściślej niż opublikowane dotychczas sformułowania [30], [31], w których nie uwzględniono zmian warunków wymiany ciepła w przestrzeni roboczej, a także i od dokładniejszych już opisów termodynamicznej pracy pieców przemysłowych [32], [33], w których przyjęto pewne uproszczenia, zakładając zawsze jednakową entalpię gazów odlotowych oraz pominięto zagadnienie wpływu gazu z dyszy. Okazuje się jednak, że średnica dyszy gazowej, gęstość i prędkość wpływu gazu z dyszy wpływają na wartość współczynnika wpływu. Współczynnik ten zmienia swoją wartość, gdy struga wpływającego gazu ma $Re < 50\ 000$ według zależności $\alpha = f(Re)$. Gdy $Re > 50\ 000$, wartość α można uważać za stałą i nie trzeba jej uwzględniać przy porównywaniu wskaźników $W_{uż}$.

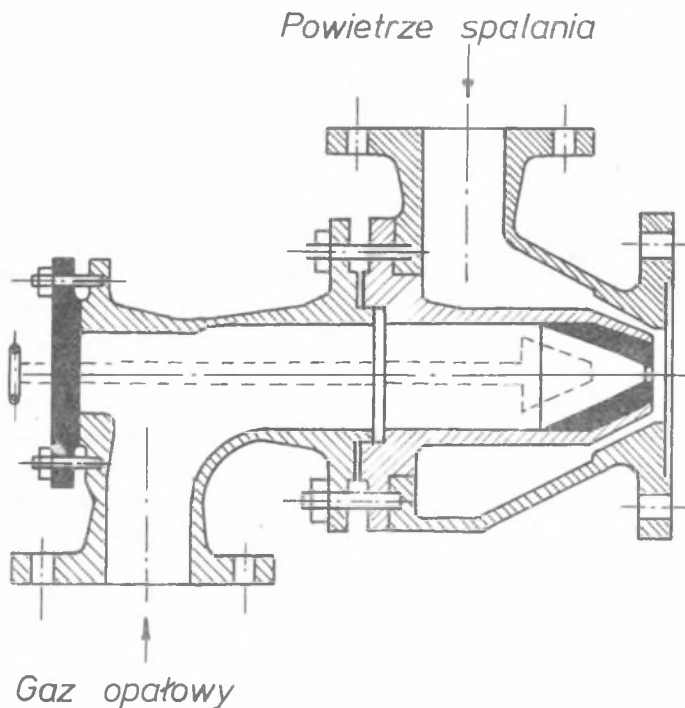
Z zależności (3) wynika, że w piecach przemysłowych zamienność gazów zależy od:

- a) własności zamiennych gazów W_p, α, η_{pal} ,
- b) cech konstrukcyjnych palnika (profilu i średnicy wylotu) W_p, F, α ,
- c) cech konstrukcyjnych pieca (kształt przestrzeni roboczej i system rekuperacji),
- d) procesu technologiczno-energetycznego nagrzewania.

Kryteria zamienności paliw gazowych w piecach przemysłowych opierają się więc na szerszym zakresie własności gazów niż w przypadku spalania w przyborach gazowych.

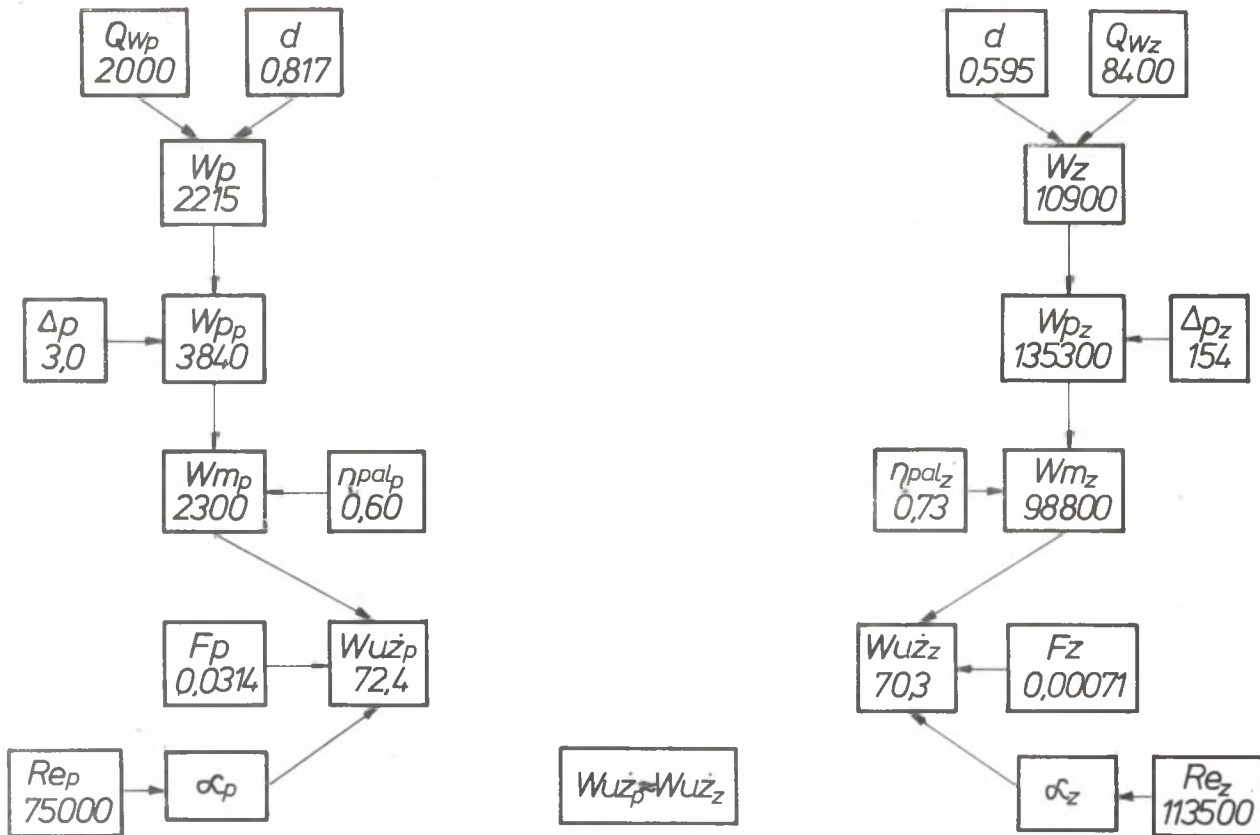
5. Pomiary cieplne pieca przemysłowego przy zamianie paliwa

Dla potwierdzenia przyjętej tezy przeprowadzono pomiary cieplne pieca przepychowego [1]. Piec początkowo był opalany gazem mieszanym ($Q_w = 2000 \text{ kcal/Nm}^3 = 8250 \text{ kJ/nm}^3$), przyjętym jako gaz pierwotny, a następnie gazem ziemnym ($Q_w = 8400 \text{ kcal/Nm}^3 = 34700 \text{ kJ/nm}^3$), który był gazem zamiennym. W obydwu przypadkach zachowano tę samą technologię, tj. wymiary, gatunek wsadu i sposób jego nagrzewania oraz niezmienną konstrukcję pieca. Przy zamianie paliwa umieszczono tylko wkładki w dyszach palników (rys. 2). Stosunek przekroju wewnętrznej dysz tych wkładek do przekroju dysz pierwotnych określono wg równania (3). Wartość współczynników wykorzystania paliwa η_{pal} przyjęto wstępnie wg [28]. Wartości współczynników wypływu α przyjęto w obydwu przypadkach takie same, gdyż $Re > 50\ 000$.

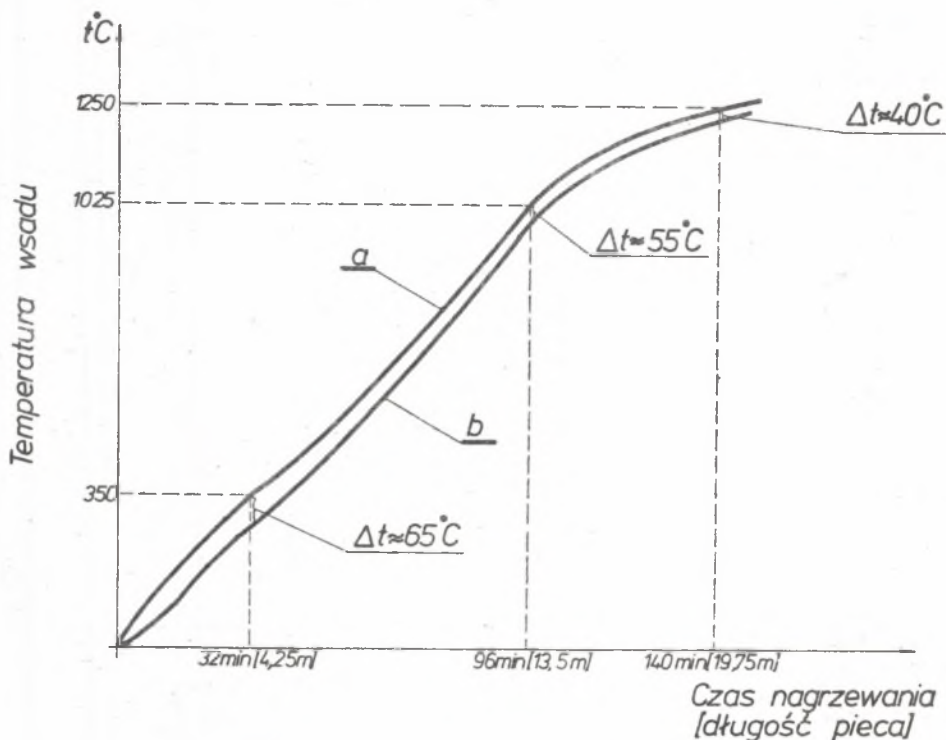


Rys. 2. Schemat przeróbki palnika z gazu mieszanego na ziemny - linią przerywaną oznaczono usunięty grzybek regulacyjny, pola zaczerńnione oznaczają nowe elementy [1]

W oparciu o zmierzone pole temperatur w układzie piecowym, składy chemiczne spalin, masy nagrzewanego wsadu oraz przebiegi zmian temperatur we wsadzie przy jego przejściu przez piec [1] obliczono wielkości, według których można ocenić porównawczo pracę pieca przy opalaniu go gazem pierwotnym i zamiennym (rys. 3).



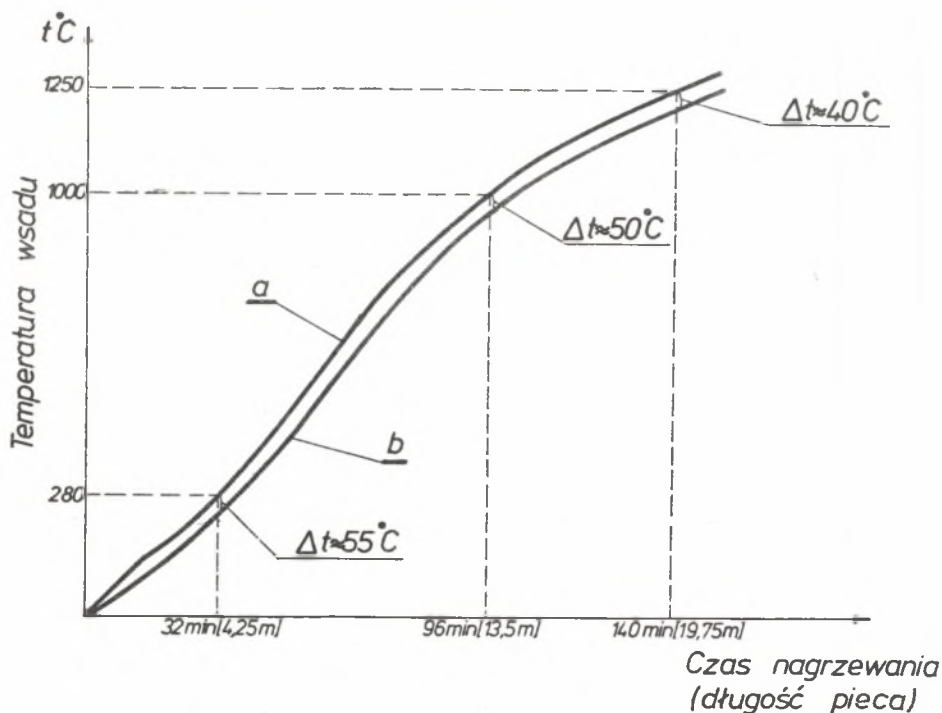
Rys. 3. Schemat obliczenia wskaźnika użytecznej mocy energetycznej palnika przed i po zamianie gazu (p - gaz podstawowy, z - gaz zamienny; dane w jednostkach układu technicznego z uwagi na dyspozycyjne dane przemysłowe i tabelaryczne)



Rys. 4. Przebieg zmian temperatur powierzchni (a) i środka (b) kęsa przy opalaniu pieca gazem mieszanym [1]

Wskaźniki użytecznej mocy pieca $W_{u\dot{z}}$ przy opalaniu go obydwoma gazami różnią się pomiędzy sobą zaledwie o 2,9%. Można więc uznać równoważność pracy energetycznej pieca po zmianie paliwa. Równoważność pracy technologicznej, tj. przebieg nagrzewania rozpatrywany ze względu na szybkość nagrzewania i rozkład temperatur w masie kęsa [1], ocenia się na podstawie danych z rys. 4 i 5.

Niewielka różnica zmian temperatur w czasie nie spowodowała żadnych istotnych zmian w przebiegu różnic temperatur wnętrza i powierzchni kęsa. Zapewnia to takie same wyniki nagrzewania kęsa w przypadku stosowania obydwu paliw mimo różniących się przebiegów przekazywania ciepła. Stwierdzono więc, że przy zachowaniu prawie niezmięnionej wartości wskaźnika $W_{u\dot{z}}$ dla obydwu paliw, otrzymano prawie niezmięnione przebiegi i wyniki nagrzewania wsadu, co świadczy o zamienności tych paliw w rozpatrywanym przypadku.



Rys. 5. Przebieg zmian temperatur powierzchni (a) i środka (b) kęsa przy opalaniu gazem ziemnym [1]

6. Omówienie wyników pomiarów i obliczeń

Otrzymane wyniki pomiarów i obliczeń wskazują na pewne różnice temperatury w przestrzeni roboczej pieca w zależności od użytego gazu opałowego (tabl. 1 i tabl. 2). Przyczyną tego jest samokarburyzacja gazu ziemnego oraz zdolność gazu ziemnego do wytworzenia wyższej temperatury w jądrze płomienia. Dlatego też temperatury spalin uchodzących z pieca różniły się między sobą (tabl. 3), a także entalpie spalin odlotowych były różne (rys. 5).

Badania praktyczne nie potwierdziły teoretycznych założeń Černocho [32] przyjmującego w swej teorii zamienności równość entalpii gazów odlotowych.

Z rys. 5 widać również, że godzinowe przepływy gazów grzewczych przez oba piece są różne. Gaz ziemny jako paliwo bogate, posiadające większy, sumaryczny współczynnik emisji, może być doprowadzony do pieca w mniejszych ilościach energii chemicznej niż gaz mieszany.

Z powyższego wynika, że doprowadzenie do pieca gazu ziemnego w takiej samej ilości pod względem energii chemicznej jak gazu mieszanego może doprowadzić do intensyfikacji procesu nagrzewania, co potwierdziły praktyczne przykłady w wielu hutach.

Średnie strumienie ciepłne od gazów grzejnych do wsadu i całkowita ilość wnikażącego ciepła przy opalaniu pieca gazem mieszanym

Strefa pieca	Srednia temperatura gazów grzejnych T_{sp} °C K	Srednia temperatura pow. wsadu T_w °C K	Strumień ciepła do wsadu drogą promieniowania q_{pr} kcal/m ² h, W/m ²	Strumień ciepła do wsadu drogą konwekcji q_k kcal/m ² h, W/m ²	Sumaryczny strumień ciepła do wsadu q_{sum} kcal/m ² h, W/m ²	Powierzchnia wsadu odbierającego ciepło F m ²	Całkowita godzinowa ilość ciepła wnikażącego do wsadu $Q_{całk}$ kcal/h, W
Podgrzewcza	1125 (1398)	350 (623)	83 690 (97 330)	4320 (5024)	88 010 (102 360)	51,0	4 488 500 (5 220 100)
Grzewcza	1290 (1563)	1025 (1298)	76 842 (89 366)	605 (704)	77 447 100 070	60,0	4 646 800 (5 404 250)
Wyrównawcza	1400 (1673)	1250 (1523)	58 848 (68 440)	242 282	59 090 (68 722)	9,1	537 700 625 350

Razem 9 673 000

(11 249 700)

Średnie strumienie ciepłne od gazów grzejnych do wsadu i całkowita ilość ciepła wnikaącego przy opalaniu pieca gazem ziemnym

Strefa pieca	Srednia temperatura gazów grzejnych T_{sp} °C K	Srednia temperatura powierzchni wsadu T_w °C K	Strumień ciepła do wsadu drogą promieniowania q_{pr} kcal/m ² h W/m ²	Strumień ciepła do wsadu drogą konwekcji q_k kcal/m ² h W/m ²	Strumień ciepła do wsadu drogą promieniowania płomienia $q_{pł}$ kcal/m ² h W/m ²	Sumaryczny strumień ciepła do wsadu q_{sum} kcal/m ² h W/m ²	Powierzchnie wsadu odbierającego ciepło F m ²	Całkowita godzinowa ilość ciepła wnikająca do wsadu $Q_{cał}$ kcal/h W
Podgrzewcza	950 (1223)	280 (553)	48 755 (56 700)	2810 (3270)	-	51 656 (59 970)	51,0	2 629 800 (3 058 500)
Grzewcza	1325 (1598)	1000 * (1273)	95 860 (111 500)	560 (652)	9 523 (11 075)	105 940 (123 210)	60,0	6 356 600 (7 392 700)
Wyrównawcza	1415 (1688)	1250 (1523)	65 710 (76 420)	216 (251)	9 523 (11 075)	75 450 (87 750)	9,1	686 600 (798 500)

Razem

9 673 000
(11 249 700)

Dane liczbowe do wykresu zmiennosci gazow sposobem Černocho, przedstawionego na rys. 6

Tablica 3

Rodzaj paliwa	Współczynnik nadmiaru powietrza λ	Temperatura spalin odlotowych t_k °C K	Temperatura podgrzewania powietrza t_r °C K	Entalpia początkowa gazów grzejnych i_o kcal/Nm ³ kJ/nm ³	Entalpia kominowa spalin i_k kcal/Nm ³ kJ/Nm ³	Godzinowa objętość gazów grzejnych V_s Nm/h	Współczynnik sprawności przeszerzeni roboczej pieca η_{pr}	Wielkość $V_s \cdot \eta_{pr}$ Nm ³ /h	Wielkość $V_s / (1 - \eta_{pr})$ Nm ³ /h
Gaz mieszany	1,05	1010 (1283)	390 (663)	797 (3290)	372 (1535)	26 700	0,625	16 550	10 050
Gaz ziemny	1,05	890 (1163)	360 (633)	886 (3660)	317 (1305)	19 900	0,625	12 450	7 450

Zamiana odwrotna z gazu bogatego na ubogi przy doprowadzeniu do pieca tej samej ilości energii chemicznej musi więc prowadzić do zmniejszenia zdolności grzewczej pieca.

Otrzymanie poprzedniej wydajności grzewczej pieca, takiej jaka była uzyskiwana przy opalaniu pieca paliwem bogatym gazowym, wymagałoby doprowadzenia do pieca większej ilości energii chemicznej w postaci gazu uboższego w celu uzyskania większej mocy gazów grzejnych (rys. 5), co prowadzić musi do zwiększenia średnic rurociągów gazowych powietrznych i kanałów spalinowych. W związku z tak dużymi zmianami i ogólną przebudową pieca zamiana taka nie mieści się w przyjętej poprzednio definicji zamienności gazów w piecach przemysłowych.

7. Wnioski

1. Zamiennność gazów w piecach przemysłowych zależy nie tylko od własności paliw gazowych ale również od cech konstrukcyjnych pieca i technologii procesu.
2. Z dotychczasowych kryteriów zamienności gazów wykorzystano jedynie kryterium Wobbego, którego spełnienie nie jest jednak warunkiem koniecznym.
3. Określono nowe kryterium zamienności uwzględniające nie tylko własności paliwa ale również warunki spalania w procesie nagrzewania w przestrzeni zamkniętej.
4. W świetle przyjętej definicji zamienności gazów w piecach przemysłowych zamienność może zachodzić bez ograniczeń od gazów ubogich do gazów bogatych.

LITERATURA

- [1] Skwaradowski E.: Wybór kryteriów zamienności paliw gazowych w palnikach hutniczych, praca doktorska - Wydział Metalurgiczny Politechniki Śląskiej, Katowice 1975.
- [2] Delbourg P.: Die Austauschbarkeit der Gase - Gas, Wärme 1958, nr 10 s. 342-357.
- [3] Wojtacha Zb.: Obecny stan i zamierzenia w zakresie gospodarki paliwo-cieplnej hutnictwa żelaza. Technika cieplna w przemyśle hutniczym. Materiały konferencyjne, cz. II, SITPH, Katowice 1969, s. 420-444.
- [4] Mikulski S., Sitej W.: Perspektywa rozwoju gospodarki energetycznej w hutnictwie żelaza. Gospodarka paliwami energią, 1969 nr 1, s. 10-18.
- [5] Warczewski Z.: Aktualne kierunki rozwoju hutnictwa żelaza i jego gospodarki energetycznej. Hutnik 1971 nr 12, s. 643-648.
- [6] Michałowski M.: Wymienność paliw gazowych w grzewczych piecach hutniczych. Hutnik 1972 nr 11, s. 562-564.
- [7] Wawrzyk P.: Niektóre problemy związane z przedstawieniem urządzeń grzewczych z gazu koksowniczego na ziemny. Wiadomości Hutnicze 1970 nr 4, s. 116-120.

- [8] Espey R.: Technisch-technologische, ökonomische und organisatorische Aufgaben des Industriebetriebs bei der Vorbereitung und Durchführung der Umstellung auf Erdgas. *Energieanwendung*, 1972 nr 10, s. 305-309.
- [9] Baron H., Hanus R.: Przystosowanie hutniczych pieców grzewczych do opalania gazem ziemnym zubożonym powietrzem. *Technika ciepła w przemyśle hutniczym. Materiały konferencyjne. Cz. II, SITPH, Katowice 1969*, s. 272-388.
- [10] Petela K., Kokot J., Machura K.: Przystosowanie palników istniejących do spalania gazu ziemnego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Energetyka 1969*, z. 33, s. 89-97.
- [11] Schnorr W.: Erfahrungen bei der Umstellung einer Harterei auf Erdgas *Hart. Techn. Mitt.*, 1970 nr 3, s. 172-176.
- [12] Michałowski M., Rozpondek M., Wiśniewski T., Skwaradowski E.: Przebudowa palników pieców grzewczych przy zmianie paliwa gazowego. *Hutnik 1973 nr 11*, s. 514-518.
- [13] Michałowski M., Rozpondek M., Piotrowska E., Stojer S., Skwaradowski E.: Opracowanie metod ustalania zasad przebudowy palników hutniczych przy zmianie paliwa gazowego. *Praca naukowo-badawcza, Instytut Metalurgii Politechniki Śląskiej. Symbol pracy NB-142/87/RM1/5/5/73, Katowice, Styczeń 1973*.
- [14] Michałowski M., Skwaradowski E.: Zagadnienie zmienności paliwa w piecach grzewczych. *Sesja naukowa Dnia Hutnika, Katowice 1972, Wyd. SITPH*, s. 25-29.
- [15] Zieleniewski E.: Liczba Wobbego. *Gaz woda i technika sanitarna*, 1963 nr 9, s. 276-277.
- [16] Zieleniewski R.: Zmiennosc gazow w eksploatacji. *Gaz woda i technika sanitarna*, 1962 nr 7, s. 254-257.
- [17] Zieleniewski R., Kozakiewicz K.: Metody określenia wymiennosci gazow. *Gaz woda i technika sanitarna*, 1962 nr 11, s. 418-423.
- [18] Zieleniewski R.: Warunki techniczne zmiennosci gazu. *XXV III Zjazd Naukowy Gazownikow. Materiały Zjazdowe, cz. III, Sekcja II, Warszawa 1958 nr 79*, s. 81.
- [19] Tallat J.: Ocena wymiennosci gazow. *Gaz woda i technika sanitarna*, 1972 nr 3, s. 96-100.
- [20] Tallat J.: Zasady teoretyczne przedstawienia aparatow gazowych. *Gaz woda i technika sanitarna*, 1972 nr 5, s. 168-171.
- [21] Hessler N.: Die Wobbezahl und ihre Deutung. *Gas Wärme*, 1964 nr 12.
- [22] Hofman P.: Die Berechnung der veaver-Kennzahlen. *Das Gas und Wasserfach*, 1964 nr 35, s. 966-968.
- [23] Schuster F.: Über eine Erweiterung der Veaver-Methode zur Beurteilung der Austauschbarkeit von Brenngasen. *Das Gas und Wasserfach*, 1964 nr 12, s. 329-332.
- [24] Skunca J.: Eine einfache Methode zur überschlaglichen Untersuchung der Austauschbarkeit von Brenngasen. *Gas Wärme*, 1952 nr 10, s.
- [25] Schuster F.: Wissenschaftlich-technische Grundlagen der Umstellung von Gasarten. Umstellung auf Erdgas. *Mitteilung Nr 546 der Wärme-stelle des VDE. Düsseldorf 1964*, s. 4-8.
- [26] Zieleniewski R.: Przystosowanie do warunkow krajowych wybranej metody określania wymiennosci gazow. *Praca naukowo-badawcza GIG, Kraków 1959*.
- [27] Leggevie G.: Die Ermittlung der Wobbezahl von Gasgemischen auf graphischem Weg. *Gas Wärme*, 1952 nr 11, s. 386-390.
- [28] Heiligensteadt W.: *Wärmetechnische Rechnungen für Industrieöfen. Verlag Stahleisen MBH, Düsseldorf 1966*.
- [29] Pod red. Tajca M. Ju.: *Razczisty nagriewatielnykh pieczej. Technika Kijów 1969*.

- [30] Michjajew W.P.: Sziganije prirodnogo gaza w promyszlennych ustanowkach. Gostoptiechizdat, Leningrad 1962, s. 146-150.
- [31] Michjajew W.P.: Gazoweje topliwo i jego szigania. Niedra, Leningrad 1966, s. 256-259.
- [32] Cernoch S.: Vergleichende warmetechnische Bewertung von Brennstoffen fur Industrieofen. Archiv fur das Eisenhüttenwesen 1973 nr 7, s. 521-527.
- [33] Cernoch S.: Beitrag zu der Entwicklung der Thermodynamik der Ofenwarmearbeit. Gas Wärme international, 1967 nr 12, s. 577-582.

КРИТЕРИЙ ЗАМЕНЫМОСТИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ГАЗОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧАХ

Резюме

Существенные различия условий сжигания и обмена тепла в так называемых газовых приборах и в промышленных печах вызывают неприродность применяемых до сих пор критериев заменяемости отопительных газов, разработанных для газовых приборов. В результате изменений в структуре хозяйства газовым топливом в польской тяжелой индустрии, которые произошли за последние годы, состоящих главным образом в исключении бедных газов и замены их богатыми газами, возникла необходимость разработки новых принципов заменяемости отопительных газов при возможно небольших изменениях в системе печей, и одновременно при сохранении прежних технологий нагревания, или их улучшения. Критерии заменяемости основываются между прочим на принципе эквивалентности струи химических энергий поставляемых заменяемыми топливами, их совершенном сгорании в открытой поверхности, однако не учитывают условий обмена тепла. Новые критерии для заменяемости отопительных газов в промышленных печах учитывают тоже движение тепла, зависящее между прочим от температуры пламени. Принято их численно в виде показателя полезной мощности горелки. Показатель этот предложен в качестве основного критерия заменяемости газовых топлив в определенной системе печей.

THE CRITERIA OF EXCHANGING OF FUEL GASSES IN INDUSTRIAL FURNACES

Summary

The fundamental differences of combustion conditions and heat exchange in gaseous instruments and in industrial furnaces make the criteria of exchanging of fuel gasses worked out for gaseous instruments which were applied up to the present unserviceable.

As a result of changes in the structure of gaseous fuel economy in Polish heavy industry which occurred during the last few years and which consisted in elimination of lean gasses and replacing them by rich gasses there arised a necessity to work out broad principles of exchanging of fuel gasses with inconsiderable changes in furnace system and simu

taneously with maintenance of previous technology of heating or its improving.

The criteria of Wobbe s, Weaver s, Delbourg s are based among other things on the principle of chemical energy flux equivalence of the supplied exchangeable fuels, their complete combustion in a open space but they do not take into consideration the conditions of heat exchange.

New criteria of exchanging of fuel gasses in industrial furnace aalso take into account heat transfer depending among other things upon flame temperature. The criteria have been put into the form of useful blowpipe size coefficient. This coefficient has been suggested as the fundamental criterion of exchanging of gaseous fuels in a well-defined furnace system.