

RYSZARD PETELA  
Katedra Energetyki Ciepłej

## PRZEDSTAWIANIE NIEKTÓRYCH PARAMETRÓW PROCESU ZGAZOWANIA NA WYKRESIE DOLIŃSKIEGO

**Streszczenie.** Na wykresie Dolińskiego przedstawiono temperaturę reakcji w czadnicy, zewnętrzną stratę ciepła strefy reakcyjnej, stopień zawilżenia produktów zgazowania oraz temperaturę nasyconego powietrza podmuchowego. Parametry te według sposobu podanego przez W. Gumza [4] zostały określone przez E. Rammlera i P. Göhlera [3] dla zgazowywania wysokotemperaturowego koksu z węgla brunatnego. Przedstawiono również na wykresie optymalną sprawność zgazowania.

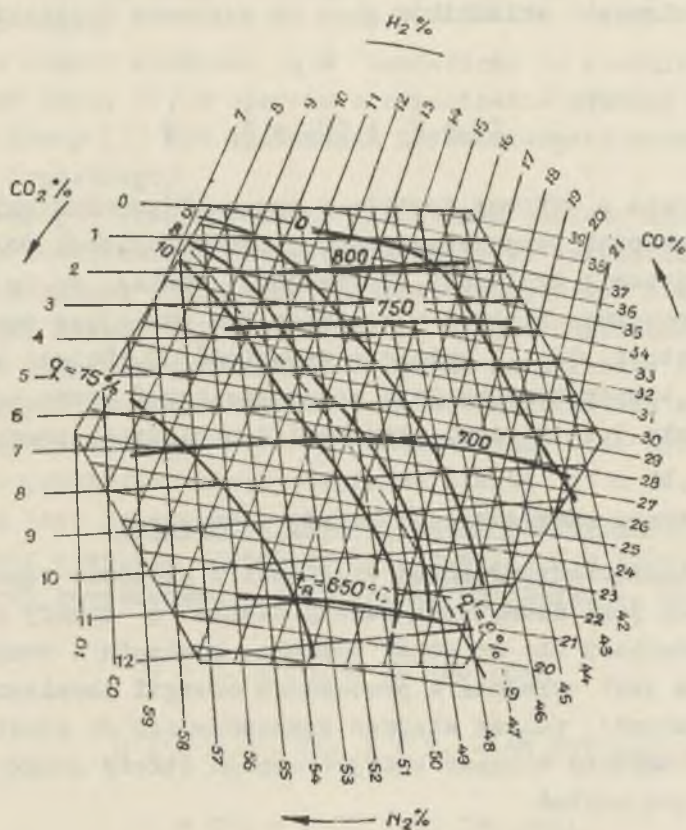
### 1. Wstęp

Przy wykresalnej kontroli biegu czadnic z podmuchiem powietrzno-parowym stosuje się często sześciobok Dolińskiego [2], za pomocą którego przy znanych dwóch parametrach można w sposób wygodny i przejrzysty określać inne parametry procesu zgazowania. Sześciobok Dolińskiego stanowi wykresalne ujęcie stechiometrycznych zależności w procesie zgazowania przy praktycznych założeniach upraszczających i został dokładnie przeanalizowany przez R. Dawidewskiego [1]. Każdy punkt na tym wykresie odpowiada składowi chemicznemu końcowych gazowych produktów zgazowania. Określenie składu gazu w stanie równowagi chemicznej dla danej temperatury przeprowadza się w oparciu o stałe równowagi chemicznej, lecz sposób na obliczenie temperatury reakcji w czadnicy podał dopiero W. Gumz [4]. Dzięki określonej temperaturze reakcji można obliczyć skład końcowych produktów oraz inne parametry procesu zgazowania. W pracy niniejszej przedstawiono na sześcioboku Dolińskiego niektóre parametry procesu zgazowania w czadnicy obliczone w pracy [3] według metody W. Gumza [4].

## 2. Temperatura reakcji w czadnicy

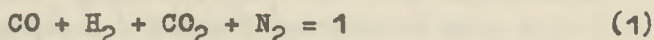
Pojęcie temperatury reakcji w czadnicy wprowadził W. Gumz [4]. Posiada ona duże znaczenie przy obliczaniu procesu zgazowania. Jest to temperatura praktycznie równa temperaturze gazu opuszczającego strefę reakcyjną oraz temperaturze paliwa stałego wchodzącego do strefy reakcyjnej. Temperatura reakcji jest określona równaniem bilansu energetycznego strefy reakcyjnej przy założeniu, że skład chemiczny gazu opuszczającego bilansowaną strefę odpowiada stanowi równowagi chemicznej przy tej temperaturze. Dzięki wprowadzeniu temperatury reakcji skład produkowanego gazu i inne parametry procesu zgazowania można obliczać z układu równań składającego się z bilansu energetycznego strefy reakcyjnej oraz z równań równowagi chemicznej. Temperatura reakcji jest pojęciem pomocniczym, lecz wartość jej charakteryzuje jednak w pewnym stopniu średnią temperaturę w strefie reakcyjnej. Dla orientacji przedstawiono na wykresie Dolińskiego (rys. 1) linie stałej wartości temperatury  $t_R$  reakcji w czadnicy. Dla przedstawienia tej temperatury wykorzystano wyniki obliczeń E. Rammlera i P. Göhlera [3], którzy metodę obliczeń procesu zgazowania podaną przez W. Gumza [4] zastosowali dla przypadku zgazowania wysokotemperaturowego koksu z węgla brunatnego. W pracy [3] założono między innymi, że strata pierwiastka węgla w żuźlu wynosi 2,2%.

W zasadzie sześciobok Dolińskiego odnosi się do zgazowania czystego chemicznie pierwiastka węgla przy założeniu, że para wodna w podmuchowym powietrzu rozkłada się całkowicie. Wykres ten przedstawia zależność między tylko czterema składnikami gazu, którymi są  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  i  $\text{N}_2$ . W rzeczywistości produkty zgazowania składają się jeszcze z innych składników, które oprócz pary wodnej  $\text{H}_2\text{O}$  pomija się w praktycznych rozważaniach jako małe (np.  $\text{O}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$ ). Na wykresie Dolińskiego można więc przedstawić produkty procesu zgazowania, w którym para wodna rozłożyła się całkowicie lub jak to ma miejsce w pracy niniejszej, suche produkty, gazowe procesu zgazowania tj. po odliczeniu nierozłożonej pary wodnej. Suma udziałów molowych



Rys. 1. Zewnętrzna strata ciepła strefy reakcyjnej

(objętościowych) składników gazu na wykresie Dolińskiego wynosi 100%.



W oparciu o wykresy zawarte w pracy [3] naniesienie linii stałej wartości temperatury reakcji na sześciobok Dolińskiego nie przedstawia trudności. Z rysunku 1 wynika, że im wyższa jest temperatura reakcji w czadnicy tym zmniejsza się wyraźnie zawartość  $\text{CO}_2$  i zwiększa zawartość CO. Dalsze wnioski odnośnie temperatury reakcji można wyciągnąć przez porównanie rysunku 1 z dalszymi rysunkami w niniejszej pracy.

### 3. Zewnętrzna strata ciepła strefy reakcyjnej

Jedną z charakterystycznych wielkości w procesie zgazowania w czadnicy jest zewnętrzna strata ciepła  $q$  strefy reakcyjnej składającej się ze stref popiołu, spalania i redukcji. Strata ta jest wyrażona w procentach energii chemicznej (wartości opałowej) paliwa stałego wprowadzanego do strefy reakcyjnej. Równanie bilansu energetycznego strefy reakcyjnej ma następującą postać

$$G (W_d + i) + G_p i_p = W_{dg} + i_g + q G W_d \quad (2)$$

gdzie:

$G, G_p$  - doprowadzana ilość paliwa stałego i czynnika podmuchowego,

$W_d, W_{dg}$  - wartość opałowa paliwa stałego i produkowanego gazu,

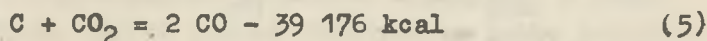
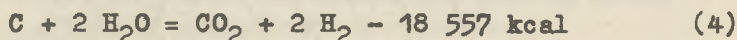
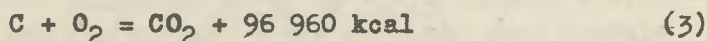
$i, i_p, i_g$  - właściwa entalpia paliwa stałego, czynnika podmuchowego i gazu.

W równaniu bilansu energetycznego strefy reakcyjnej pomija się entalpię popiołu opuszczającego strefę reakcyjną jako ma-

ią (nie wchodzi więc w rachubę czadnice np. z odprowadzaniem ciekłego żuźla).

Linie stałej wartości  $q\%$  naniesiono na sześciobok Dolińskiego (rys. 1), w oparciu o odpowiednie wykresy zamieszczone w pracy [3] dla zgazowania wysokotemperaturowego koksu z węgla brunatnego.

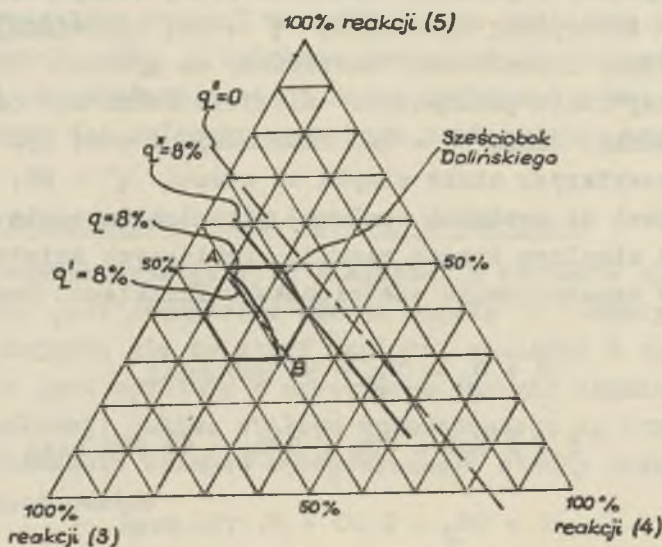
W pracy [4] przeprowadzono obliczenia procesu zgazowania czystego chemicznie pierwiastka węgla przy założeniu najczęściej spotykanej w praktyce wartości zewnętrznej straty ciepła strefy reakcyjnej wynoszącej  $q' = 8\%$ . Odpowiadającą tej wartości linię (kreskowaną) naniesiono na wykresie (rys. 1). Przebieg tej linii praktycznie niewiele różni się od przebiegu odpowiedniej linii  $q = 8\%$ . Interesujące może być też porównanie powyższych strat ciepła ze stratą  $q'' = 8\%$ , która odniesiona jest do wartości opałowej pierwiastka węgla przy bilansowaniu cieplnym trzech reakcji chemicznych wziętych pod uwagę przy konstruowaniu sześcioboku Dolińskiego. Reakcjami tymi są:



Porównanie takie przedstawiono na rysunku 2. Rozbieżność odpowiednich linii  $q$  i  $q'$  oraz linii  $q''$  jest znaczna. Rozbieżność ta wynika głównie stąd, że temperatury produktów i substratów w reakcjach (3), (4) i (5) są równe, natomiast przy rozważaniu strefy reakcyjnej w czadnicy produkty tych reakcji opuszczają bilansowany układ mając temperaturę znacznie wyższą od temperatury gazowych substratów reakcji.

Dawidowski analizując wpływ czynników ruchowych na zmianę położenia punktu w sześcioboku stwierdził między innymi, że przy dobrze działającej czadnicy zmiany ilości pary wodnej przesuwają skład gazu wzdłuż przekątnej AB (rys. 2). Przekątna AB pokrywa się w przybliżeniu z linią stałej wartości  $q = 8\%$ .

Wynikają stąd pewne wnioski. Zewnętrzna strata ciepła strefy reakcyjnej w czadnicy jest praktycznie wartością stałą dla danej czadnicy i w małym stopniu zależy od ilości pary wodnej w powietrzu podmuchowym. Wartość straty ciepła  $q$  najczęściej spotykana w praktyce wynosi około 8%, co potwierdza również W. Gumz [4] oceniając wartość tej straty w granicach od 7 do 8% dla czadnic z normalnie obciążonym rusztem obrotowym z płaszczem wodnym, a więc dla najczęściej spotykanego przypadku.



Rys. 2. Porównanie wartości zewnętrznej straty ciepła strefy reakcyjnej

#### 4. Zawilżenie powietrza podmuchowego i gazu

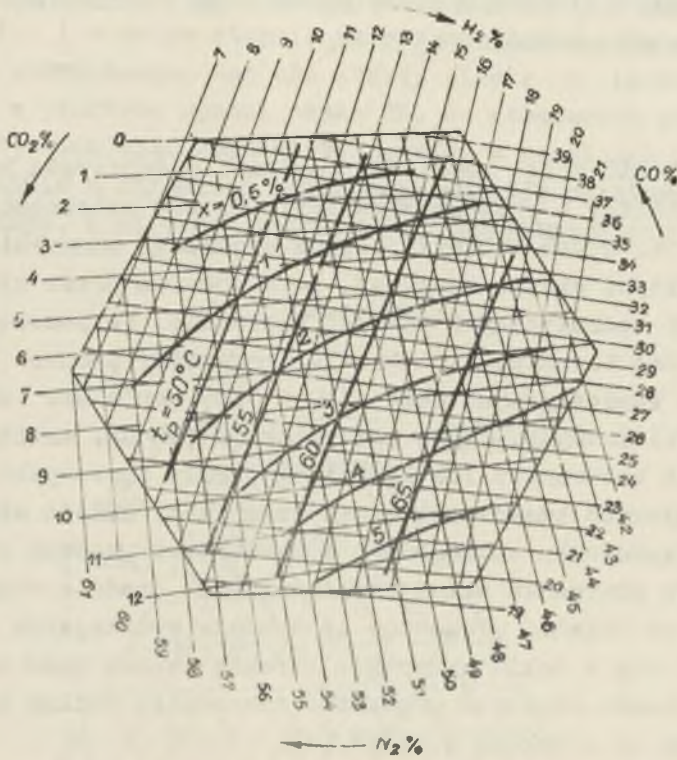
Na przebieg zgazowania wpływa zawilżenie powietrza podmuchowego. Miarą zawilżenia powietrza podmuchowego jest temperatura  $t_p$  nasyconego powietrza podmuchowego, miarą zaś zawilżenia gazu powstającego w procesie zgazowania może być molowy stopień zawilżenia  $X$  kmol  $H_2O$ /(kmol suchego gazu). Na podstawie wykresów dla zgazowania wysokotemperaturowego koksu z wę-

gla brunatnego [3] naniesiono w sześcioboku Dolińskiego (rys. 3) linie stałej wartości  $t_p$  i  $X$ .

## 5. Wnioski

Sześciobok Dolińskiego umożliwia szybką i przejrzystą kontrolę biegu czadnicy i przy uwzględnieniu na nią zależności podanych przez W. Gumza nabiera jeszcze większego znaczenia nie tylko w praktyce eksploatacyjnej, lecz również przez ułatwienie rozważań teoretycznych procesu gazowania. Za pomocą sześcioboku można bezpośrednio określać parametry procesu zgazowania paliw zawierających małe ilości lub wcale nie zawierających części lotnych, a więc paliw takich jak np. antracyt, koks z węgla kamiennego lub brunatnego. Przy zgazowywaniu paliw zawierających części lotne gaz czadnicowy składa się z produktów zgazowania zmieszanych z produktami procesu odgazowania. W tym przypadku skład chemiczny gazu czadnicowego nie zgadza się ze składem produktów zgazowania wynikającym z wykresu. Stosuje się w takim przypadku korektę składu gazu czadnicowego do składu czystych produktów zgazowania według metod wymienionych na przykład w pracy [1].

Niezależnie od rodzaju paliwa w strefie reakcyjnej w reakcjach zgazowania biorą udział zawsze praktycznie tylko podstawowe pierwiastki chemiczne C, H i O. Obliczanie więc procesu zgazowania opierające się na równaniach stechiometrycznych bilansu pierwiastków, stałych równowagi chemicznej oraz bilansu energetycznego nie powinny zależeć od natury zgazowywanego w czadnicy paliwa. Wyniki obliczeń w pracy [3] przeprowadzone dla zgazowania wysokotemperaturowego koksu z węgla brunatnego powinny więc być słuszne w pewnym stopniu również przy rozpatrywaniu zgazowania innych paliw. Wpływ na wyniki obliczeń mogą mieć jednak pewne czynniki jak na przykład ilość popiołu w paliwie lub ilość pierwiastka węgla w odprowadzanym żużlu. Wielkości powyższe wahają się w praktyce jednak w niewielkich granicach i dlatego można by dla orientacyjnych rozważań przyjąć, że zawarte w pracy niniejszej wykresy mają znaczenie ogól-



Rys. 3. Temperatura nasyczonego powietrza podmuchowego i molo-  
wy stopień zawilżenia gazu



ne i słuszne są przy zgazowywaniu spotykanych typowych paliw czadnicowych.

Oceny energetycznej procesu zgazowania dokonuje się zazwyczaj za pomocą chemicznej sprawności zgazowania określonej wzorem

$$\eta = \frac{V_g W_{dg}}{W_d}, \quad (6)$$

gdzie:

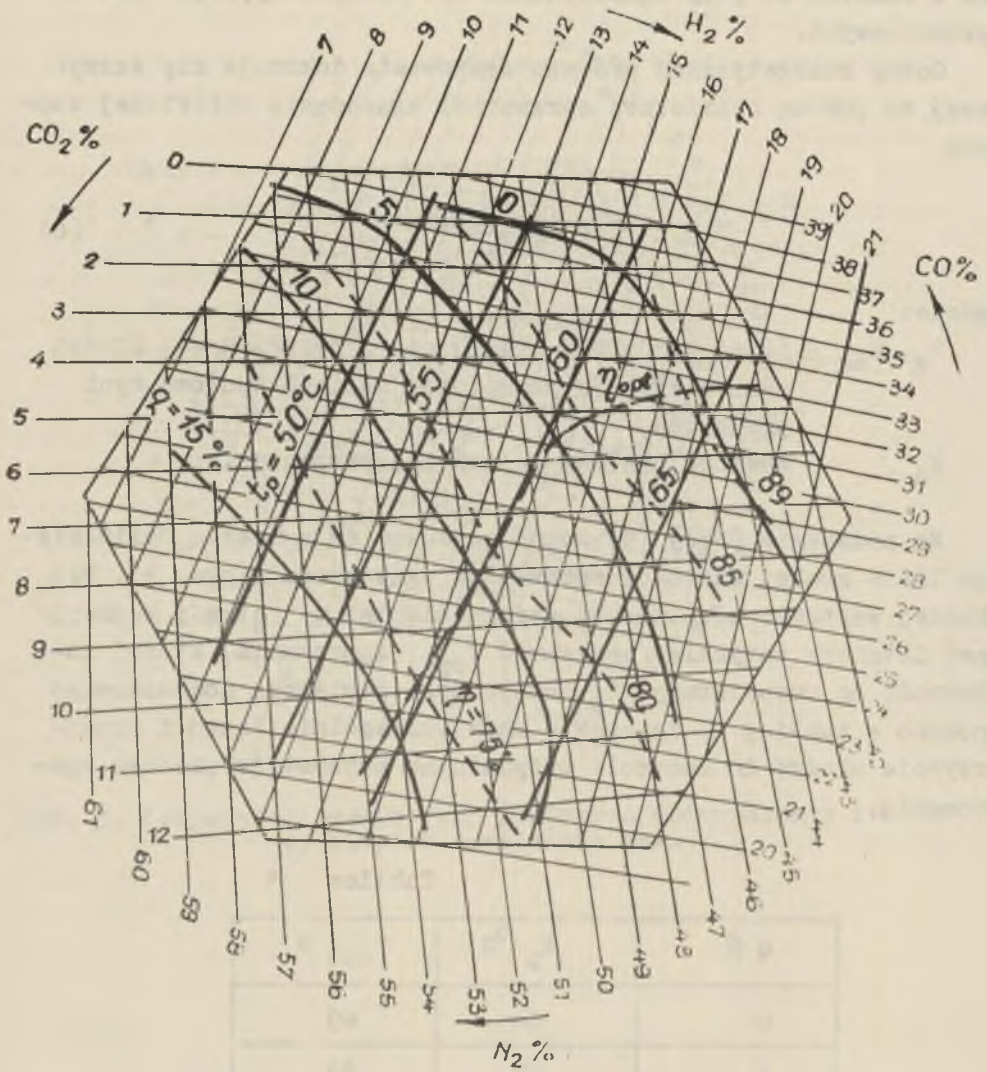
$V_g, W_{dg}$  - ilość produktów zgazowania z jednostkowej ilości paliwa zgazowywanego oraz wartość opałowa tych produktów,

$W_d$  - wartość opałowa paliwa zgazowywanego.

Na podstawie pracy [3] można wrysować na wykresie Dolińskiego linie stałej wartości sprawności zgazowania (rys. 4). Dla każdej wartości zewnętrznej straty ciepła  $q$  strefy reakcyjnej istnieje optymalna sprawność  $\eta_{opt}$  zgazowania, której zależność od temperatury  $t_p$  nasyconego powietrza podmuchowego podano w tabelicy 1. Rysunek 4 może szczególnie łatwo i przejrzysto służyć do kontroli optymalnych parametrów procesu zgazowania.

Tabelica 1

$q$ %	$t_p$ °C	$\eta_{opt}$ %
0	64	89
5	60	84
10	60	79
15	59	73



Rys. 4. Optymalna sprawność zgazowania

## LITERATURA

- [1] DAWIDOWSKI R.: Schaubildliche Darstellung des Gaserzeugerbetriebes. Feuerungstechnik 25 (1937), str. 183/195 lub tłum. ang.: The graphical representation of gas producer operation. Fuel in Science and Practice XVII (1938), nr 6 i 7, str. 164/171 i 210/217.
- [2] DOLIŃSKI J.: Przemysł Chem. 11, (1927), str. 757.
- [3] RAMMLER E., GÖHLER P.: Üeber die Einflüsse des Dampfzuges zur Vergasungsluft und der Wärmeverluste der Reaktionszone auf die Ergebnisse der Vergasung von Koks in Festbettgeneratoren. Freiberg Forschungsheft Ser. A82 (1957), str. 20/48.
- [4] GUMZ W.: Gas producers and blast furnaces. John Wiley, New York 1950.

ИЗОБРАЖЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА  
ГАЗИФИКАЦИИ НА ДИАГРАММЕ ДОЛИНСКОГО

## Р е з ю м е

Автор изображает на диаграмме Долинского температуру реакции в газогенераторе, внешнюю потерю тепла реакционной зоны, влагосодержание продуктов процесса а также температуру насыщенного влагой дутья. Эти параметры были рассчитаны Э. Раммлером и П. Геллером [3] по методу Гумца [4] для процесса газификации высокотемпературного кокса, полученного из бурого угля. На диафрагме изображен также оптимальный КПД процесса газификации.

GRAPHICAL REPRESENTATION OF SOME GASIFICATION PROCESS  
PARAMETERS ON DOLIŃSKI'S HEXAGON

S u m m a r y

The reaction temperature in gas producer, the external heat loss of reaction zone, the moisture content of gasification products and the saturation temperature of air blast are presented on Doliński's graph. These parameters according to W. Gumz method [4], were determined by E. Rammler and P. Göhler [3], when gasifying the high temperature coke of lignite. The best gasification efficiency is also presented on the graph.