

Bolesław ZAPOROWSKI\*

## Analiza efektywności energetycznej wytwarzania paliwa gazowego w procesie zgazowania węgla

STRESZCZENIE. W artykule jest przedstawiona analiza energetyczna procesu całkowitego zgazowania węgla. Podstawą wykonanej analizy jest opracowany równowagowy model matematyczny procesu zgazowania. Model ten składa się z układu nieliniowych równań algebraicznych opisujących procesy fizyczne, chemiczne i energetyczne zachodzące w generatorze gazu. Procesy fizyczne w tym modelu opisane są metodą fizyki statystycznej. Wykorzystując opracowany model matematyczny wykonano badania symulacyjne różnych metod (Texaco, Destec, Prenflo, Shell, KRW, MEET) zgazowania węgla kamiennego i brunatnego. Wyniki wykonanych badań symulacyjnych przedstawiono w tablicy i na rysunkach.

SŁOWA KLUCZOWE: węgiel, zgazowanie węgla, czynnik zgazowujący

### Wprowadzenie

Duże światowe i krajowe zasoby węgla kamiennego i brunatnego, w porównaniu z zasobami ropy naftowej i gazu ziemnego, oraz sytuacja na światowym rynku paliw wskazują, że węgiel pozostanie jeszcze przez kilkadziesiąt lat ważnym paliwem zarówno w krajach rozwiniętych jak i rozwijających się. Dotyczy to w sposób szczególny również Polski. Jednak coraz ostrzejsze wymagania w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego

---

\* Dr hab. inż., prof. PP — Instytut Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej, Poznań;  
e-mail: boleslaw.zaporowski@put.poznan.pl

Recenzent: prof. dr hab. inż. Eugeniusz MOKRZYCKI

a szczególnie ratyfikowanie, przez większość krajów świata w tym również przez Polskę, Protokołu z Kioto do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, zmuszają do rozwiązania złożonego i trudnego problemu jak w przyszłości, w sposób efektywny energetycznie i możliwy do zaakceptowania przez środowisko, wykorzystywać węgiel w szeroko rozumianej energetyce. Jedną z możliwych technologii jest zastąpienie bezpośredniego spalania węgla jego zgazowaniem.

Istota procesu całkowitego zgazowania węgla polega na konwersji energii chemicznej paliwa stałego w energię chemiczną paliwa gazowego. Gaz wytwarzany w procesie zgazowania węgla jest jednak nośnikiem nie tylko energii chemicznej, ale również entalpii fizycznej, gdyż proces zgazowania węgla odbywa się w temperaturach 1500—1700 K. Do istotnych zalet zgazowania węgla, odróżniających ten proces od bezpośredniego jego spalania, należą: prowadzenie procesu zgazowania węgla przy minimalnym współczynniku nadmiaru czynnika zgazowującego, dla zapewnienia wysokiej sprawności chemicznej tego procesu oraz niskiej zawartości  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  w wytwarzanym gazie, możliwość przetwarzania, wytworzonego z węgla gazu, prowadzącego do wytwarzania np. wodoru lub paliw ciekłych, przetworzenie około 98% zawartej w węglu siarki (pirytowej i organicznej) w  $\text{H}_2\text{S}$  i  $\text{COS}$ , a w minimalnym stopniu w  $\text{SO}_2$ , możliwość usuwania związków siarki ( $\text{COS}$  i  $\text{H}_2\text{S}$ ) oraz  $\text{CO}_2$  z paliwa gazowego przed jego spalaniem oraz skuteczne oddzielenie popiołu od paliwa gazowego przez jego stopienie.

## Modelowanie procesu zgazowania węgla

Dla umożliwienia przeprowadzenia wielowariantowych badań symulacyjnych aspektów energetycznych procesu zgazowania węgla, przy zmiennych jego parametrach takich jak: temperatura i ciśnienie procesu, rodzaj i temperatura czynnika zgazowującego oraz współczynnik nadmiaru czynnika zgazowującego (utleniacza), został opracowany model matematyczny procesu całkowitego zgazowania węgla. Omawiany model oparty jest na podstawach kwantowej fizyki statystycznej i opracowany został w postaci, pozwalającej na symulację numeryczną różnych metod całkowitego zgazowania różnych rodzajów węgla, przy zastosowaniu różnych czynników zgazowujących. Opracowany model matematyczny stanowi układ równań, opisujących zjawiska chemiczne, fizyczne i energetyczne towarzyszące procesowi zgazowania węgla i jest modelem równowagowym. Przyjęto bowiem założenie, że gaz wytwarzany w procesie zgazowania węgla znajduje się w stanie lokalnej równowagi termodynamicznej, a wszystkie reakcje chemiczne przebiegają w fazie gazowej. Model składa się z nieliniowych równań algebraicznych opisujących reakcje chemiczne, przebiegające w procesie zgazowania węgla, równań opisujących bilanse pierwiastków tworzących paliwo i czynnik zgazowujący, a także równania bilansu energii generatora gazu, opisującego zachodzące w nim energetyczne procesy fizyczne i chemiczne. Sformułowany układ równań pozwala na wyznaczenie składu wytwarzanego gazu (w stanie równowagi chemicznej) oraz określenie warunków równowagi energetycznej w generatorze

gazu. Wszystkie właściwości fizyczne i energetyczne gazu, wytwarzanego w procesie zgazowania węgla, są funkcjami jego składu, temperatury i ciśnienia.

Opracowany równowagowy model procesu zgazowania węgla składa się z układu nieliniowych równań algebraicznych, których liczba określona jest przez liczbę założonych składników wytwarzanego gazu. Rodzaj i liczbę składników gazu ustalono w oparciu o analizę przebiegających w nim reakcji chemicznych. W wyniku przeprowadzonych badań i obliczeń założono, że w wytwarzanym gazie występują następujące składniki: CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O, NO<sub>2</sub>, CO, COS, H<sub>2</sub>S, HCN, CS<sub>2</sub>, CO, CN, CH, OH, NO, NH, CS, SH, SO, C<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, C, H, O, N, S i Ar a zatem 31 składników utworzonych z 6 pierwiastków. Należało zatem sformułować model matematyczny w postaci układu złożonego z 31 algebraicznych równań nieliniowych, w tym:

- ✧ 25 równań opisujących przebieg reakcji chemicznych w generatorze gazu,
- ✧ 5 równań bilansu pierwiastków,
- ✧ 1 równania bilansu ciśnień cząstkowych składników gazu.

Dodatkowym 32 równaniem, uzupełniającym wyżej wymieniony układ równań, jest równanie bilansu energii generatora gazu, które stanowi podstawę wyznaczania temperatury procesu zgazowania lub, w przypadku jej założenia, podstawę określania wymaganej wartości współczynnika nadmiaru czynnika zgazowującego i jego temperatury. Powstaje w ten sposób nowy układ algebraicznych równań nieliniowych, który stanowi podstawę jednoznacznego wyznaczania składu i równowagowej temperatury gazu wytwarzanego w procesie zgazowania węgla. Równanie bilansu energii generatora gazu, odniesione do 1 kg gazu, zostało sformułowane w następującej postaci:

$$\frac{1}{\sum_{i=1}^{i=31} M_i p_{gi}} \sum_{i=1}^{i=31} p_{gi} \left( \Delta H_{i(T_o, T_g)} + \Delta H_{i(T_o)} \right) - a \Delta h_{c(T_o)} - b \frac{1}{\sum_{i=1}^{i=n} M_i p_{oxi}} \sum_{i=1}^{i=n} p_{oxi} \Delta H_{i(T_o, T_{ox})} +$$

$$-c \Delta h_{H_2O(T_o, T_{H_2O})} + d \Delta h_{A(T_o, T_g)} + Q_{sgg} + \Delta Q = 0 \quad (1)$$

Zależności opisujące funkcje temperaturowe przyrostów molowej entalpii fizycznej poszczególnych składników gazu ( $\Delta H_{i(T_o, T_g)}$ ) oraz czynnika zgazowującego ( $\Delta H_{i(T_o, T_{ox})}$ ), a także stałych równowagi reakcji chemicznych przebiegających w generatorze były wyznaczane metodą fizyki statystycznej, za pomocą sum stanów poszczególnych składników gazu [1].

## Sprawność chemiczna i energetyczna procesu zgazowania węgla

Proces zgazowania węgla może być charakteryzowany przez sprawność chemiczną i energetyczną tego procesu. Chemiczna sprawność procesu zgazowania została zdefinio-

wana jako stosunek energii chemicznej paliwa gazowego, wytwarzanego w procesie zgazowania, do energii chemicznej zgazowywanego węgla. Można ją wyznaczyć za pomocą zależności:

$$\eta_{ch} = \frac{v_g Q_w^g}{Q_w^c} \quad (2)$$

Energetyczną sprawność zgazowania węgla zdefiniowano za pomocą zależności:

$$\eta_T = \frac{v_g (Q_w^g + \Delta h_f^g) - v_{ox} \Delta h_f^{ox} - q_{H_2O} \Delta h_{H_2O}(T_o, T_{H_2O})}{Q_w^c} \quad (3)$$

Jako kryterium oceny efektywności energetycznej procesu zgazowania węgla w niniejszej pracy przyjęto sprawność chemiczną procesu zgazowania, gdyż określa ona stosunek energii chemicznej wytwarzanego paliwa gazowego do energii chemicznej zgazowywanego węgla. Entalpia fizyczna wytwarzanego gazu nie zawsze może być efektywnie wykorzystana w układzie energetycznym, w którym stosowany jest proces zgazowania węgla.

## Symulacja procesu zgazowania węgla

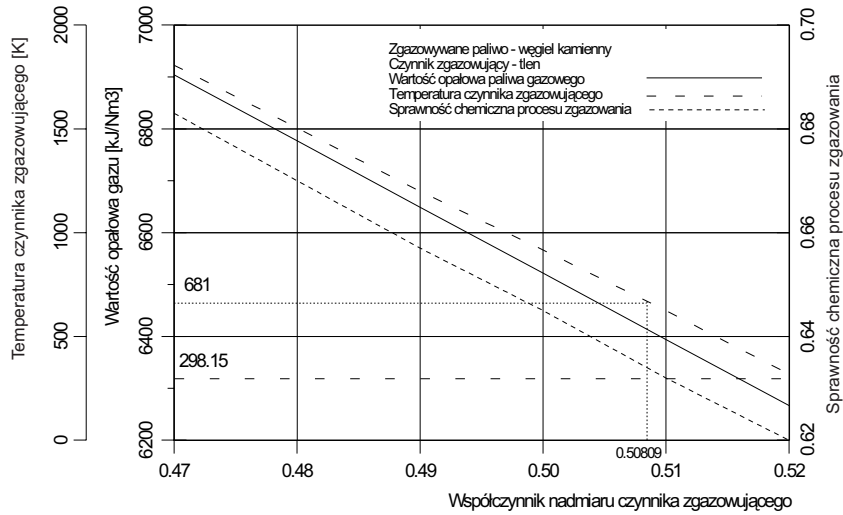
Na podstawie opracowanego modelu matematycznego procesu zgazowania węgla, wykonany został program komputerowy umożliwiający przeprowadzenie wielowariantowej symulacji procesu zgazowania dla sześciu metod zgazowania węgla kamiennego: Texaco [9], Destec [3, 10], Prenflo [2,4], Shell [11], KRW (*Kellogge Rust and Westinghouse*) [5,7], MEET (*Multi-Stage Enthalpy Extraction Technology*) [8], oraz dwóch metod zgazowania węgla brunatnego: Prenflo i KRW.

W każdym wariantcie symulacji wyznaczano: skład gazu, ilość gazu uzyskiwanego z 1 kg węgla, wartość opałową gazu, zużycie czynnika zgazowującego na 1 kg węgla oraz chemiczną i energetyczną sprawność procesu zgazowania. Parametrami różnicującymi poszczególne warianty symulacji były: rodzaj zgazowywanego paliwa, rodzaj czynnika zgazowującego, temperatura czynnika zgazowującego, współczynnik nadmiaru czynnika zgazowującego oraz temperatura procesu zgazowania. Do obliczeń przyjęto następujący skład węgla kamiennego: C = 56,0%; H = 3,83%; S = 0,89%; O = 6,7%; N = 0,990%; W = 8,53%; A = 23,0% oraz skład węgla brunatnego: C = 26,9%; H = 2,13%; S = 0,5%; O = 7,9%; N = 0,57%; W = 50,0% i A = 12,0%. Wybrane wyniki obliczeń symulacyjnych procesu zgazowania węgla kamiennego i brunatnego przedstawiono zostały w tabeli 1 oraz w na rysunkach 1—8.

TABELA 1. Wyniki obliczeń symulacyjnych procesu zgazowania węgla

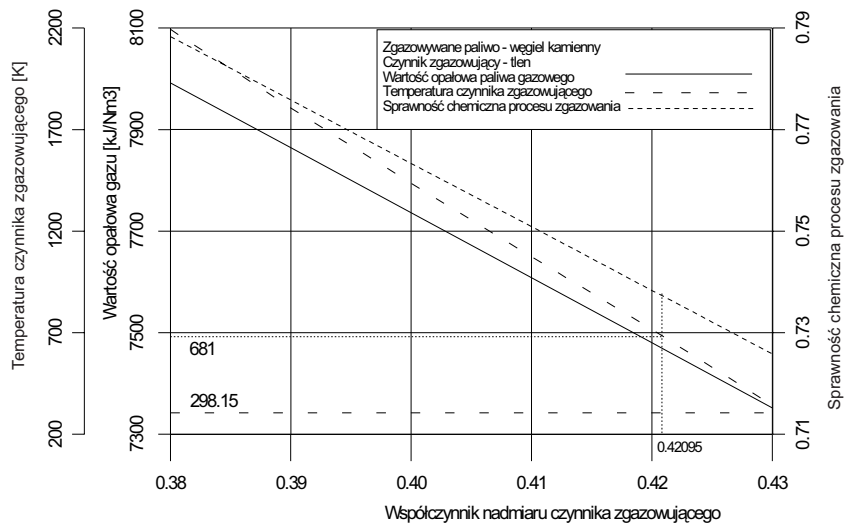
TABLE 1. Results of simulation calculations of the coal gasification process

Metoda zgazowania węgla	Texaco	Destec	Prenflo	Shell	KRW	MEET	Prenflo	KRW	
Ciśnienie zgazowania [MPa]	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	
Temperatura zgazowania [K]	1 700	1 700	1 700	1700	1 255	1 700	1 600	1 255	
Temperatura paliwa gazowego na wylocie z generatora gazu [K]	1 700	1 311	1 700	1 700	1 255	1 700	1 600	1 255	
Zgazowywane paliwo	węgiel kamienny	węgiel kamienny	węgiel kamienny	węgiel kamienny	węgiel kamienny	węgiel kamienny	węgiel brunatny	węgiel brunatny	
Czynnik zgazowujący	tlen	tlen	tlen	tlen	powietrze	powietrze	tlen	powietrze	
Współczynnik nadmiaru czynnika zgazowującego	0,50809	0,42095	0,42086	0,4111	0,3758	0,4397	0,6538	0,6057	
Temperatura czynnika zgazowującego [K]	681	681	681	681	681	1 273	681	681	
Zużycie czynnika zgazowującego na 1kg węgla [Nm <sup>3</sup> /kg]	0,6171	0,5113	0,5112	0,4993	2,1735	2,5431	0,3238	1,4283	
Zużycie wody na 1kg węgla [kg/kg]	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	
Zużycie pary wodnej na 1kg węgla [kg/kg]	-	-	0,2	0,1	-	-	0,1	-	
Objętość gazu wytworzona z 1 kg węgla [Nm <sup>3</sup> /kg]	2,2044	2,2009	1,8307	1,8001	3,2748	3,5945	1,3766	2,3825	
Główne składniki wytwarzanego gazu [%]	CO	32,7005	33,2115	48,6441	51,9186	29,6611	26,2178	12,2806	6,7851
	H <sub>2</sub>	20,5876	29,4328	27,0784	26,4021	14,2734	11,0571	11,0733	8,6732
	CO <sub>2</sub>	14,2726	13,7706	7,9136	5,5963	1,4933	2,5488	19,6999	11,6729
	H <sub>2</sub> O	31,7951	22,8558	15,5873	10,0699	1,1806	3,8035	55,2736	24,5148
	N <sub>2</sub>	0,3596	0,3602	0,4331	5,6624	52,1152	55,5023	1,1636	47,4704
	Ar	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,6515	0,6943	0,0000	0,5878
	COS	0,2516	0,2383	0,3069	0,3147	0,1731	0,1607	0,4307	0,2313
	H <sub>2</sub> S	0,0310	0,0448	0,0334	0,03132	0,0179	0,0133	0,0776	0,0634
Wartość opałowa paliwa gazowego [MJ/Nm <sup>3</sup> ]	6,419	7,468	9,146	9,489	5,490	4,548	2,868	1,867	
Sprawność chemiczna procesu zgazowania węgla [%]	63,46	73,72	75,10	76,61	80,63	73,33	51,09	57,56	
Sprawność energetyczna procesu zgazowania węgla [%]	91,28	91,28	96,88	96,88	97,43	96,88	95,51	96,33	



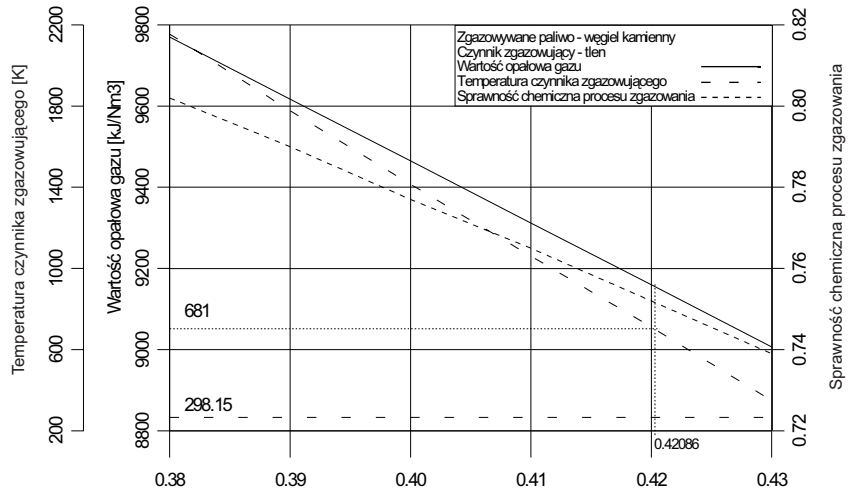
Rys. 1. Zależność sprawności chemicznej procesu zgazowania węgla, wartości opałowej wytwarzanego gazu oraz wymaganej temperatury czynnika zgazowującego od współczynnika nadmiaru czynnika zgazowującego dla zgazowania węgla kamiennego metodą Texaco

Fig. 1. Dependence of chemical efficiency of the process of coal gasification, of lower heating value of produced gas and of desired temperature of gasifying agent on the excess factor of gasifying agent for Texaco method of hard coal gasification



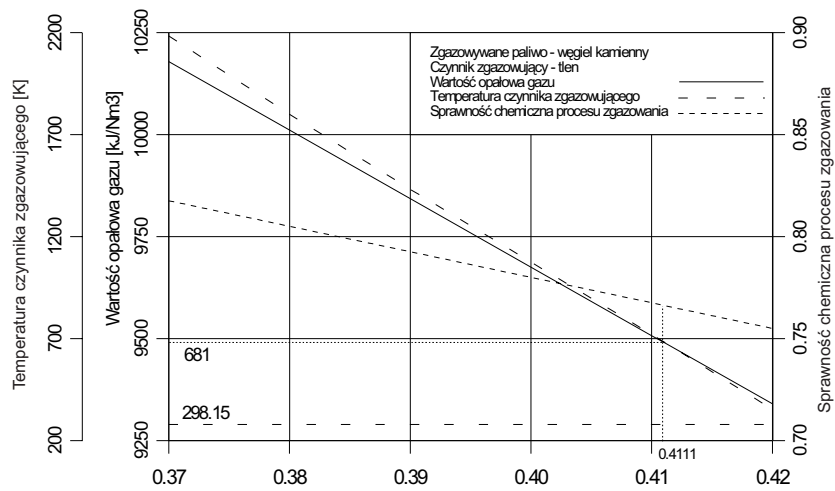
Rys. 2. Zależność sprawności chemicznej procesu zgazowania węgla, wartości opałowej wytwarzanego gazu oraz wymaganej temperatury czynnika zgazowującego od współczynnika nadmiaru czynnika zgazowującego dla zgazowania węgla kamiennego metodą Destec

Fig. 2. Dependence of chemical efficiency of the process of coal gasification, of lower heating value of produced gas and of desired temperature of gasifying agent on the excess factor of gasifying agent for Destec method of hard coal gasification



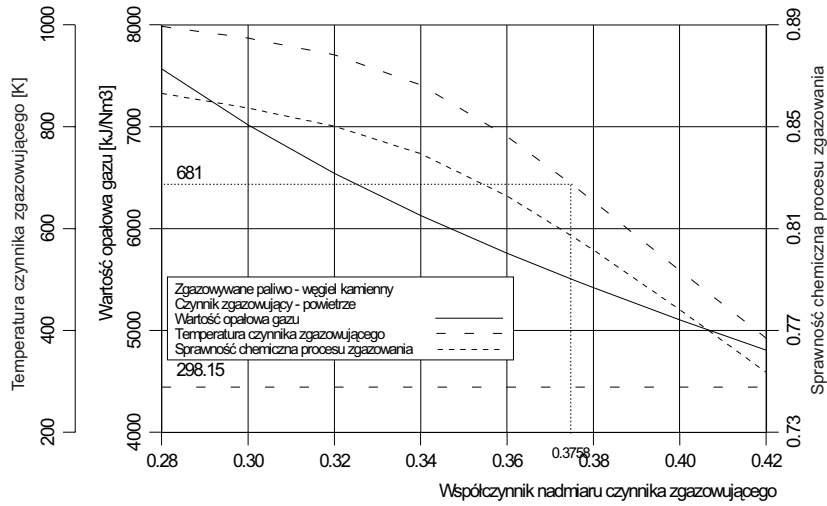
Rys. 3. Zależność sprawności chemicznej procesu zgazowania węgla, wartości opałowej wytwarzanego gazu oraz wymaganej temperatury czynnika zgazowującego od współczynnika nadmiaru czynnika zgazowującego dla zgazowania węgla kamiennego metodą Prenflo

Fig. 3. Dependence of chemical efficiency of the process of coal gasification, of lower heating value of produced gas and of desired temperature of gasifying agent on the excess factor of gasifying agent for Prenflo method of hard coal gasification



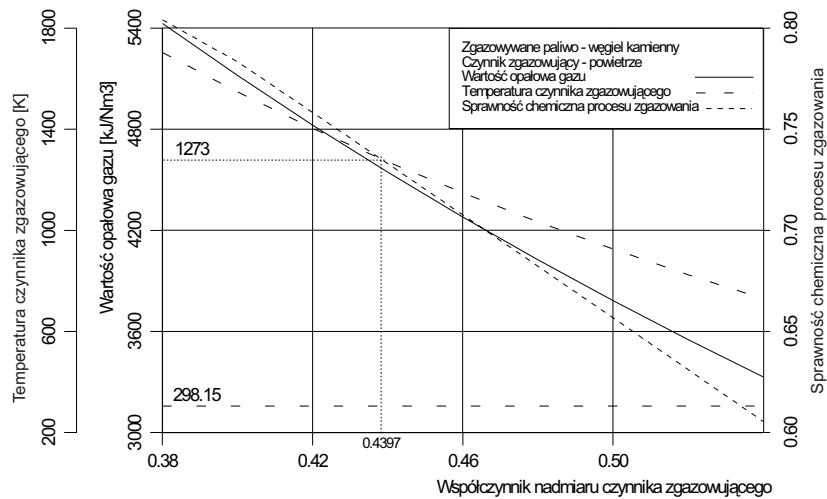
Rys. 4. Zależność sprawności chemicznej procesu zgazowania węgla, wartości opałowej wytwarzanego gazu oraz wymaganej temperatury czynnika zgazowującego od współczynnika nadmiaru czynnika zgazowującego dla zgazowania węgla kamiennego metodą Shell

Fig. 4. Dependence of chemical efficiency of the process of coal gasification, of lower heating value of produced gas and of desired temperature of gasifying agent on the excess factor of gasifying agent for Shell method of hard coal gasification



Rys. 5. Zależność sprawności chemicznej procesu zgazowania węgla, wartości opałowej wytwarzanego gazu oraz wymaganej temperatury czynnika zgazowującego od współczynnika nadmiaru czynnika zgazowującego dla zgazowania węgla kamiennego metodą KRW

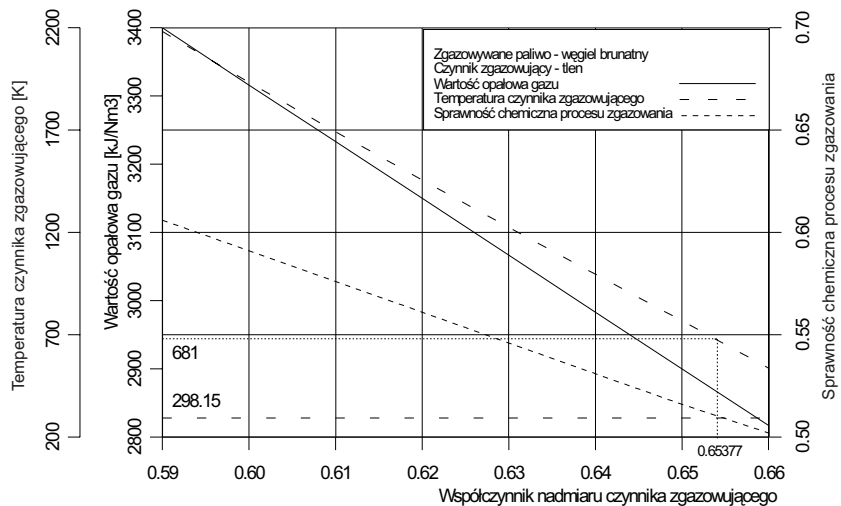
Fig. 5. Dependence of chemical efficiency of the process of coal gasification, of lower heating value of produced gas and of desired temperature of gasifying agent on the excess factor of gasifying agent for KRW method of hard coal gasification



Rys. 6. Zależność sprawności chemicznej procesu zgazowania węgla, wartości opałowej wytwarzanego gazu oraz wymaganej temperatury czynnika zgazowującego od współczynnika nadmiaru czynnika zgazowującego dla zgazowania węgla kamiennego metodą MEET

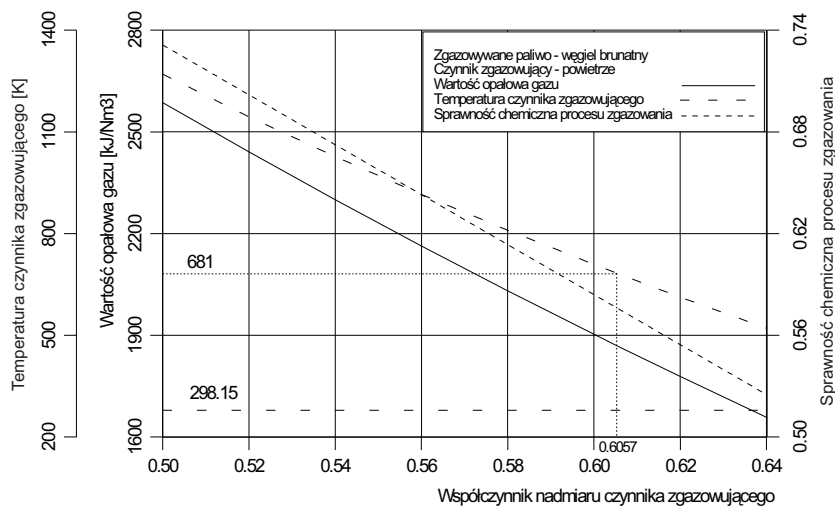
Fig. 6. Dependence of chemical efficiency of the process of coal gasification, of lower heating value of produced gas and of desired temperature of gasifying agent on the excess factor of gasifying agent for MEET method of hard coal gasification





Rys. 7. Zależność sprawności chemicznej procesu zgazowania węgla, wartości opałowej wytwarzanego gazu oraz wymaganej temperatury czynnika zgazowującego od współczynnika nadmiaru czynnika zgazowującego dla zgazowania węgla brunatnego metodą Prenflo

Fig. 7. Dependence of chemical efficiency of the process of coal gasification, of lower heating value of produced gas and of desired temperature of gasifying agent on the excess factor of gasifying agent for Prenflo method of brown coal gasification



Rys. 8. Zależność sprawności chemicznej procesu zgazowania węgla, wartości opałowej wytwarzanego gazu oraz wymaganej temperatury czynnika zgazowującego od współczynnika nadmiaru czynnika zgazowującego dla zgazowania węgla brunatnego metodą KRW

Fig. 8. Dependence of chemical efficiency of the process of coal gasification, of lower heating value of produced gas and of desired temperature of gasifying agent on the excess factor of gasifying agent for KRW method of brown coal gasification

## Wnioski

Wyniki wykonanego szerokiego programu procesu zgazowania węgla pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- ✧ Istotny wpływ na sprawność chemiczną procesu zgazowania węgla i wartość opałową wytwarzanego gazu ma sposób dostarczania węgla do generatora gazu. Mokry sposób w metodzie Texaco i Destec (pył węglowy + woda) obniża sprawność chemiczną procesu zgazowania o ponad 12% oraz wartość opałową wytwarzanego gazu o ponad 30%, w porównaniu ze sposobem suchym (metoda Prenflo i Shell).
- ✧ Bardzo korzystnie na sprawność chemiczną procesu zgazowania węgla oraz wartość opałową wytwarzanego paliwa gazowego wpływa dwustopniowe zgazowanie węgla w metodzie Destec, w której dzięki częściowej redukcji CO<sub>2</sub> na CO (w drugim stopniu generatora gazu), obniżeniu ulega temperatura paliwa gazowego na wylocie z generatora gazu z 1700 K do 1311 K. Powoduje to znaczny wzrost sprawności chemicznej procesu zgazowania i wartości opałowej wytwarzanego gazu.
- ✧ Sprawność chemiczna procesu zgazowania węgla brunatnego jest o ponad 20% niższa od sprawności chemicznej procesu zgazowania węgla kamiennego tymi samymi metodami.

## Oznaczenia

a, b, c, d	— współczynniki liczbowe określające udziały masowe węgla, czynnika zgazowującego, wody lub pary wodnej i żużla odniesione do 1 kg gazu,
$M_i$	— masy molowe poszczególnych składników gazu lub czynnika zgazowującego,
n	— liczba założonych składników czynnika zgazowującego (tlen lub powietrze),
$p_{gi}, p_{oxi}$	— ciśnienia cząstkowe poszczególnych składników gazu lub czynnika zgazowującego,
$q_{H_2O}$	— ilość wprowadzanej wody lub pary do generatora gazu w kg na 1 kg węgla,
$Q_{sgg}$	— ciepło odprowadzane z generatora gazu przez układ chłodzenia (wytwarzanie pary wodnej odniesione do 1 kg gazu),
$Q_w^g$	— wartość opałowa wytwarzanego gazu [kJ/Nm <sup>3</sup> ],
$Q_w^c$	— wartość opałowa zgazowywanego węgla [kJ/kg],
$T_g$	— temperatura gazu,
$T_{ox}$	— temperatura czynnika zgazowującego,

$T_o$	—	temperatura odniesienia (298,15 K),
$v_g$	—	objętość gazu wytwarzanego z 1 kg węgla ,
$v_{ox}$	—	zużycie czynnika zgazowującego na 1 kg węgla,
$\Delta h_{A(T_o, T_g)}$	—	entalpia fizyczna stopionego żużla lub popiołu odprowadzanego w stanie stałym,
$\Delta h_c(T_o)$	—	entalpia chemiczna węgla w temperaturze odniesienia $T_o$ ,
$\Delta h_f^g$	—	entalpia fizyczna wytwarzanego gazu [kJ/Nm <sup>3</sup> ],
$\Delta h_f^{ox}$	—	entalpia fizyczna czynnika zgazowującego [kJ/Nm <sup>3</sup> ],
$\Delta h_{H_2O(T_o, T_{H_2O})}$	—	entalpia wody lub pary wodnej wprowadzanej do generatora gazu,
$\Delta H_i(T_o, T_g)$	—	przyrosty molowej entalpii fizycznej poszczególnych składników paliwa gazowego, przy przyroście temperatury od $T_o$ do $T_g$ ,
$\Delta H_i(T_o, T_{ox})$	—	przyrosty molowej entalpii fizycznej poszczególnych składników czynnika zgazowującego, przy przyroście temperatury od $T_o$ do $T_{ox}$ ,
$\Delta H_i(T_o)$	—	entalpia chemiczna poszczególnych składników gazu w temperaturze odniesienia $T_o$ ,
$\Delta Q$	—	straty ciepła do otoczenia odniesione do 1 kg gazu.

## Literatura

- [1] ZAPOROWSKI B., 1993 — Analysis of Parameters of Coal Gasification Process for Demand of Clean Coal Technology. Proceedings of the Second International Conference on Combustion Technologies for Clean Environment. Lisbon, vol. I, 17.4.24—17.4.32.
- [2] BAUMANN H.R., ULLRICH N., HAUPT G., ZIMMERMANN G., PRUSCHEK R., OEL-JEKLAUS G., 1998 — Development of the Cost-Effective IGCC 98 Power Plant. Proceedings of Power Gen Europe'98, Milan.
- [3] COOK J.J., LEDNICKY L.A., 1994 — The Wabash River Coal Gasification Repowering Project an Investment in the Future. Proceedings of Third Annual Clean Coal Technology Conference, Chicago, p. 032—045.
- [4] DURRFELD R., SCHELLBERG W., 1996 — Efficient Power Generation from Coal with IGCC Technology. Proceedings of The 6<sup>th</sup> International Energy Conference. Beijing, p. 69—74.
- [5] GONZALEZ M., MOTTER J.W., NICKS P.E., 1994 — Piñon Pine Power Project — an Update. Proceedings of Third Annual Clean Coal Technology Conference, Chicago, p. 015—031.
- [6] HOFFMAN E.J., 1978 — Coal conversion. Laramie (WY), The Energon Company.
- [7] HOWELS L., TATAR G.A., GONZALEZ M., MATHUR G.K., 1997 — Pinon Pine Power Project Nears Start-Up. Proceedings of Fifth Annual Clean Coal Technology Conference, Tampa, p. 318—328.
- [8] KOBAYASHI H., YOSHIKAWA K., SHIODA S., 1999 — Gasification of Coal and Solid Wastes Using High Temperature Air. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Efficiency,

- Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Tokyo, p. 317—321.
- [9] PLESS D.E., 1994 — Tampa Electric Company Integrated Gasification Combined Cycle Project Current Status. Proceedings of Third Annual Clean Coal Technology Conference, Chicago, p. 046—063.
- [10] TROXCLAIR E.J., STULTZ J., 1997 — Wabash River Coal Gasification Repowering Project-First Year Operation Experience. Proceedings of Fifth Annual Clean Coal Technology Conference, Tampa, p. 301—317.
- [11] VAN DIJK J.C., PFEIFFER M.J., HOPE T., 1989 — Integrated gasification combined cycle power generation using an advanced coal gasification process. Proceedings of the 14th Congress of World Energy Conference, Montreal, vol. 4, Paper 4.2.4.

Bolesław ZAPOROWSKI

## Analysis of energy effectiveness of gaseous fuel generation in coal gasification process

### Abstract

In the paper there is presented the complex energy analysis of the process of complete, pressure coal gasification. The basis of energy analysis performed, is the elaborated mathematical model of the process of coal gasification. The mathematical model was elaborated to allow one to perform multivariant calculation of energy aspects of this process with changeable parameters such as: temperature and pressure of the process and kind, excess ratio and temperature of gasifying medium. It allows numerical simulation of various methods of complete, pressure gasification of various kinds of coal, with the help of various gasifying medium compositions. This model includes the system of equations which describe chemical, physical and energy phenomena occurring in gas generator. The physical processes are described with the help of the statistical physics. The formulated system of equations allows one to determine the composition of produced gas, and to determine the conditions of energy equilibrium in the gas generator. It is composed of 31 non-linear algebraic equations. Additional, the 32nd equation expresses the energy balance of gas generator. On the basis of this model a computer programme was elaborated. Six technologies of hard coal gasification (Texaco, Destec, Prenflo, Shell, KRW MEET) and two technologies of brown coal gasification (Prenflo, KRW) were taken into account in simulation. The results of numerical simulation are shown in the form of table and charts.

KEY WORDS: coal, coal gasification, gasifying agent