

Bolesław ZAPOROWSKI\*

## Analiza efektywności energetycznej elektrowni gazowo-parowych zintegrowanych ze zgazowaniem węgla

**STRESZCZENIE.** W artykule jest przedstawiona kompleksowa analiza efektywności energetycznej elektrowni gazowo-parowych zintegrowanych ze zgazowaniem węgla. Podstawą wykonanej analizy są opracowane modele matematyczne podstawowych elementów elektrowni gazowo-parowej zintegrowanej ze zgazowaniem węgla, takich jak: generator gazu, chłodnica gazu z układem jego odsiarczania, bloku turbiny gazowej, kotła odzysknicowego oraz obiegu turbiny parowej. Jako wielkość charakteryzującą efektywność energetyczną elektrowni gazowo-parowych zintegrowanych ze zgazowaniem węgla wyznaczono sprawność wytwarzania energii elektrycznej, dla układów technologicznych z różnymi metodami zgazowania węgla, różnymi metodami odsiarczania gazu oraz różnymi parametrami turbin gazowych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** zgazowanie węgla, elektrownia gazowo-parowa zintegrowana ze zgazowaniem węgla

### Wprowadzenie

Udział energii elektrycznej wytwarzanej w elektrowniach opalanych węglem, w całkowitej światowej jej produkcji, nadal utrzymuje się na wysokim poziomie około 39%. Natomiast w niektórych krajach takich jak: USA, Chiny, Indie, Australia czy Republika

\* Dr hab. inż. — Instytut Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Eugeniusz MOKRZYCKI

Południowej Afryki przekracza 50%, a w Polsce w roku 2006 wyniósł blisko 93,5%. Duże światowe i krajowe zasoby węgla kamiennego i brunatnego, w porównaniu z zasobami ropy naftowej i gazu ziemnego, oraz duża dostępność tego paliwa, na światowym rynku przy umiarkowanych cenach, pozwalają przewidywać, że elektrownie opalane węglem będą nadal odgrywały ważną rolę w światowej produkcji energii elektrycznej. W sposób szczególny dotyczy to również Polski. Za takim przewidywaniem przemawia również problem bezpieczeństwa energetycznego kraju.

Jednak coraz ostrzejsze wymagania w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego, 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 energetycznie efektywny i możliwy do zaakceptowania przez środowisko, wytwarzać energię elektryczną z węgla?

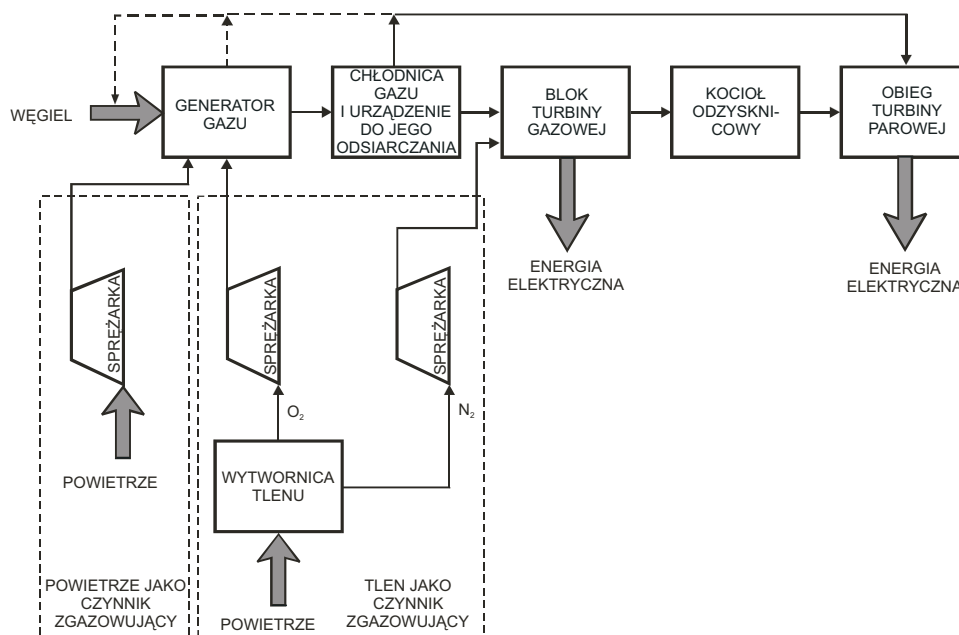
Najwięcej zalet energetycznych i ekologicznych, wśród rozważanych przyszłościowych technologii wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach opalanych węglem, ma technologia stosowana w elektrowniach gazowo-parowych zintegrowanych ze zgazowaniem węgla (*Integrated Coal Gasification Combined Cycle – IGCC*). Technologia ta należy do grupy czystych technologii węglowych (*Clean Coal Technologies – CCT*). Cechuje ją wysoka sprawność energetyczna (około 50%), uzyskiwana dzięki kombinowanemu obiegowi gazowo-parowemu, prawie całkowite wyeliminowanie emisji pyłów i SO<sub>2</sub> oraz istotne ograniczenie emisji NO<sub>x</sub> i CO<sub>2</sub> do środowiska przyrodniczego.

Podstawowym, nowym elementem w technologii wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach gazowo-parowych zintegrowanych ze zgazowaniem węgla jest zastąpienie jednostopniowego, bezpośredniego spalania węgla (obecnie powszechnie stosowanego) spalaniem dwustopniowym. W pierwszym stopniu odbywa się wytwarzanie paliwa gazowego w procesie całkowitego, ciśnieniowego zgazowania węgla i oczyszczenie go (odpylenie i odsiarczenie), a w drugim spalanie w komorze spalania turbiny gazowej wytworzonego paliwa gazowego. Ponadto nowym elementem w technologii wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach gazowo-parowych zintegrowanych ze zgazowaniem węgla jest zastosowanie kombinowanego obiegu gazowo-parowego. W porównaniu z obiegiem parowym, powszechnie obecnie stosowanym, obieg ten pozwala na znaczne podwyższenie sprawności wytwarzania energii elektrycznej, podobnie jak w elektrowniach gazowo-parowych opalanych gazem ziemnym.

## 1. Układ technologiczny elektrowni gazowo-parowej zintegrowanej ze zgazowaniem węgla

W układzie technologicznym elektrowni gazowo-parowej zintegrowanej ze zgazowaniem węgla można wyróżnić 5 podstawowych urządzeń energetycznych: generator gazu,

chłodnicę gazu z urządzeniem do jego odsiarczania, blok turbiny gazowej, kocioł odzysknicowy oraz obieg turbiny parowej. Schemat blokowy takiej elektrowni przedstawiono na rysunku 1, a schemat układu technologicznego na rysunku 2.



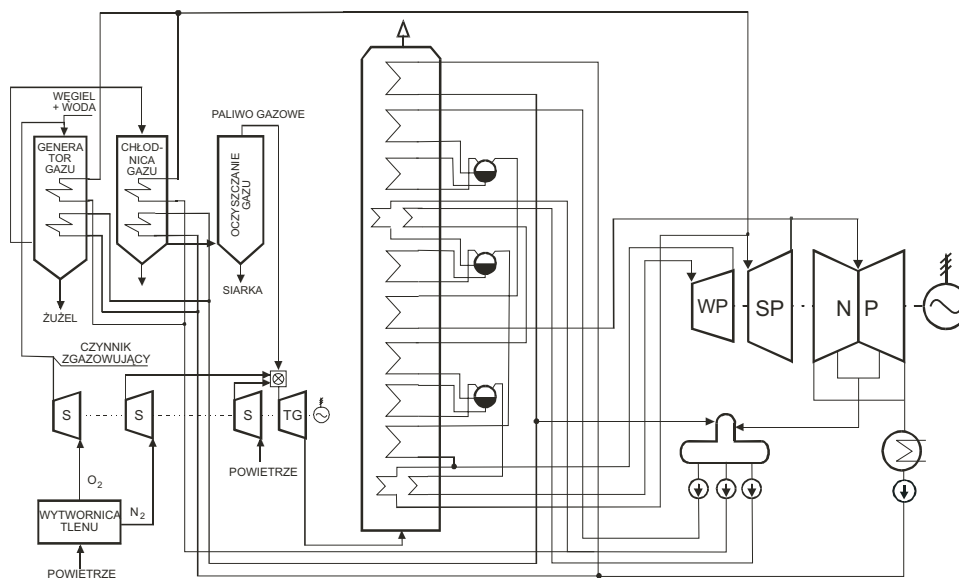
Rys. 1. Schemat blokowy elektrowni gazowo-parowej zintegrowanej ze zgazowaniem węgla

Fig. 1. Block scheme of gas-steam power plant integrated with coal gasification

## 2. Modelowanie procesów energetycznych w podstawowych urządzeniach energetycznych elektrowni

Modelowanie procesu zgazowania węgla w generatorze gazu zostało przedstawione między innymi w pracy [1]. Jego podstawą jest równowagowy model matematyczny, złożony z układu równań opisujących procesy chemiczne, fizyczne i energetyczne w generatorze gazu. Bardzo ważnym równaniem tego modelu jest równanie bilansu energetycznego generatora gazu, odniesionego do 1 kg wytwarzanego gazu, które zostało sformułowane w następującej postaci:

$$\frac{1}{\sum_{i=1}^{31} M_i p_{gi}} \sum_{i=1}^{31} p_{gi} (\Delta H_{i(T_0, T_g)} + \Delta H_{gi(T_0)}) - a \Delta i_c(T_0) - b \frac{1}{\sum_{i=1}^n M_i p_{uti}} \sum_{i=1}^n p_{uti} \Delta H_{i(T_0, T_{ut})} + (-c \Delta i_{H_2O}(T_0, T_{H_2O}) + d \Delta i_A(T_0, T_g) + Q_{qqp} + \Delta Q = 0 \quad (1)$$



Rys. 2. Schemat układu technologicznego elektrowni gazowo-parowej zintegrowanej ze zgazowaniem węgla metodą Texaco

Fig. 2. Scheme of technological system of gas-steam power plant integrated with coal gasification

Proces zgazowania węgla może być charakteryzowany przez sprawność chemiczną i energetyczną. Do oceny efektywności energetycznej procesu zgazowania szczególnie jest przydatna sprawność chemiczna tego procesu, która została zdefiniowana jako stosunek energii chemicznej wytwarzanego paliwa gazowego do energii chemicznej (wartości opałowej) zgazowywanego węgla. Jej wartość ma między innymi istotny wpływ na wartość opałową wytwarzanego gazu. Program komputerowy, opracowany na podstawie wyżej omówionego modelu, pozwala na wyznaczanie: składu gazu syntezowego, zużycia czynnika zgazowującego na 1 kg węgla, objętości gazu wytwarzanego z 1 kg węgla, wartości współczynnika nadmiaru czynnika zgazowującego, wartości opałowej gazu oraz sprawności chemicznej i energetycznej procesu zgazowania.

Drugim ważnym urządzeniem energetycznym elektrowni gazowo-parowej zintegrowanej ze zgazowaniem węgla (rys. 1) jest chłodnica gazu. Gaz syntezowy przed skierowaniem go do komory spalania turbiny gazowej musi zostać oczyszczony ze związków siarki (odsiarzony). Stosowane są dwie metody oczyszczania gazu syntezowego: niskotemperaturowa (311 K) i wysokotemperaturowa (810 K). Ciepło odbierane od gazu syntezowego, w procesie jego chłodzenia, jest zużywane w całości do wytwarzania pary albo w części również do podgrzewania czynnika zgazowującego. Bilans energetyczny chłodnicy gazu można zatem przedstawić w następującej postaci:

$$Q_{chp} = D_g (i_{g_1} - i_{g_2}) - D_{zg} (i_{zg_2} - i_{zg_1}) \quad (2)$$

Urządzeniem energetycznym, w którym odbywa się zamiana energii chemicznej paliwa gazowego w energię elektryczną jest blok turbiny gazowej, składający się ze sprężarki, komory spalania i turbiny gazowej. Moc elektryczna generatora turbiny gazowej była wyznaczana za pomocą zależności:

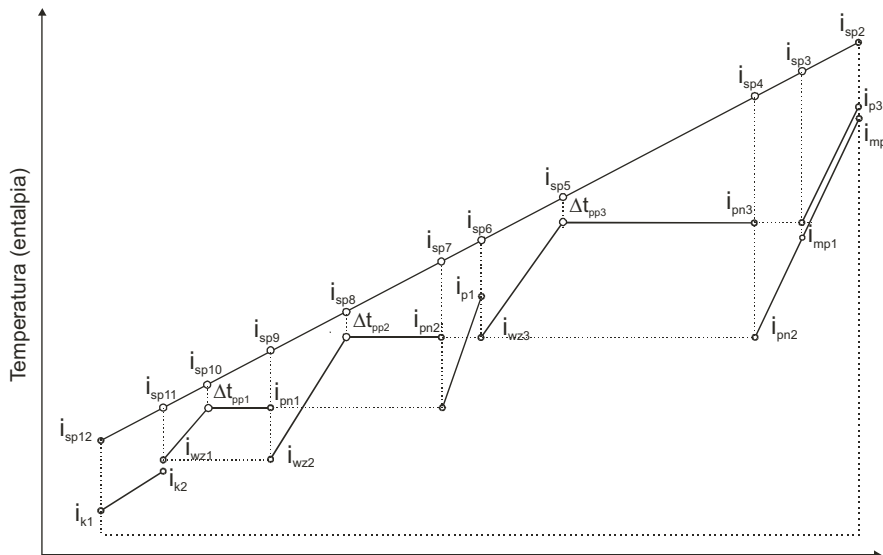
$$P_{eltg} = (P_{itg} - P_{is}) \eta_{mg} \eta_{gg} \quad (3)$$

Dla wyznaczenia składu gazów spalinowych, będących czynnikiem roboczym w turbinie gazowej, oraz mocy wewnętrznej sprężarki ( $P_{is}$ ) konieczne było rozwiązanie nieliniowego równania bilansu energetycznego komory spalania turbiny gazowej, sformułowanego w postaci:

$$\frac{1}{\sum_{i=1}^{i=6} M_i P_{spi}} \sum_{i=1}^{i=6} p_{spi} \Delta H_{i(T_0, T_{sp})} - e \frac{1}{\sum_{i=1}^{i=31} M_i P_{gi}} \sum_{i=1}^{i=31} p_{gi} (Q_{gi} + \Delta H_{i(T_0, T_g)}) +$$

$$- f \frac{1}{\sum_{i=1}^{i=3} M_i P_{uti}} \sum_{i=1}^{i=3} p_{uti} \Delta H_{i(T_0, T_{ut})} - g \Delta i(T_0, T_{N_2}) + \Delta Q = 0 \quad (4)$$

Urządzeniem energetycznym, w którym w elektrowni gazowo-parowej następuje połączenie obiegu gazowego z obiegiem parowym, jest kocioł odzysknicowy. Rozkład temperatury spalin z turbiny gazowej i wytwarzanej pary wodnej do zasilania turbiny parowej w 3-ciśnieniowym kotle odzysknicowym przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Rozkład temperatury (entalpii) spalin i wody (pary wodnej) w kotle odzysknicowym  
 Fig. 3. Combustion gases and water (steam) temperature profile in heat recovery steam generator

Dla określenia optymalnych wartości parametrów (temperatury i ciśnienia) oraz ilości pary nisko, średnio i wysokoprężnej, dla zadanych wartości temperatury (entalpii) spalin na wlocie ( $i_{sp2}$ ) i wylocie z kotła odzysknicowego ( $i_{sp12}$ ), należało rozwiązać układ równań, złożony z równań bilansów energetycznych poszczególnych części kotła odzysknicowego (5–11):

$$D_{p3}(i_{p3} - i_{pn3}) + D_{p2}(i_{mp2} - i_{mp1}) = D_{sp}(i_{sp2} - i_{sp3}) \quad (5)$$

$$D_{p2}(i_{mp1} - i_{pn2}) = D_{sp}(i_{sp3} - i_{sp4}) \quad (6)$$

$$D_{p3}(i_{pn3} - i_{wz3}) = D_{sp}(i_{sp4} - i_{sp6}) \quad (7)$$

$$D_{p1}(i_{p1} - i_{pn1}) = D_{sp}(i_{sp6} - i_{sp7}) \quad (8)$$

$$D_{p2}(i_{pn2} - i_{wz2}) = D_{sp}(i_{sp7} - i_{sp9}) \quad (9)$$

$$D_{p1}(i_{pn1} - i_{wz1}) = D_{sp}(i_{sp9} - i_{sp11}) \quad (10)$$

$$(D_{p1} + D_{p2} + D_{p3} - D_u)(i_{k2} - i_{k1}) = D_{sp}(i_{sp11} - i_{sp12}) \quad (11)$$

Moc elektryczna generatora turbiny parowej była wyznaczana za pomocą następującej zależności:

$$P_{eltp} = \left[ \begin{aligned} &D_{p3}(i_{p31} - i_{p32}) + (D_{p3} + D_{p2} + D_{pgg} + D_{pchg})(i_{mp21} - i_{mp22}) + \\ &+ (D_{p3} + D_{p2} + D_{pgg} + D_{pchg})(i_{p11} - i_{p12}) \end{aligned} \right] \eta_{mp} \eta_{gp} \quad (12)$$

Entalpia fizyczna spalin, paliwa gazowego oraz utleniacza (powietrza lub tlenu) była wyznaczana za pomocą ciśnień cząstkowych i molowej entalpii fizycznej ich składników:

$$h = \frac{1}{\sum_{i=1}^{i=6} M_i p_i} \sum_{i=1}^{i=n} p_i \Delta H_{i(T_0, T)} \quad (13)$$

Zależności opisujące funkcje temperaturowe molowej entalpii fizycznej poszczególnych składników spalin  $\left[ \Delta H_{i(T_0, T_{sp})} \right]$ , paliwa gazowego  $\left[ \Delta H_{i(T_0, T_g)} \right]$  i utleniacza  $\left[ \Delta H_{i(T_0, T_{ut})} \right]$  były wyznaczane metodą fizyki statystycznej (za pomocą sum stanów) [4].

Jako kryterium oceny efektywności energetycznej elektrowni gazowo-parowej zintegrowanej ze zgazowaniem węgla przyjęto w niniejszej pracy sprawność wytwarzania energii elektrycznej (sprawność elektrowni) zdefiniowaną za pomocą następującej zależności:

$$\eta_e = \frac{P_{eltg} + P_{eltp} - \Delta P_{O_2} - \Delta P_{ut}}{BQ_w^w} \quad (14)$$

### 3. Badania symulacyjne efektywności energetycznej elektrowni

Na podstawie omówionych wyżej modeli matematycznych podstawowych urządzeń energetycznych elektrowni gazowo-parowej zintegrowanej ze zgazowaniem węgla opracowany został komputerowy program do badań symulacyjnych efektywności energetycznej wytwarzania energii elektrycznej w tego typu elektrowniach. Badania symulacyjne wykonano dla trzech zmiennych parametrów:

- a) sposobu zasilania w węgiel generatora gazu (metoda mokra Texaco, metoda sucha Prenflo),
- b) metody odsiarczania gazu syntezowego (niskotemperaturowa – 311 K, wysokotemperaturowa – 810 K),
- c) temperatury spalin przed turbiną gazową (turbiny firmy Siemens V94.3A – 1503 K i V94.2 – 1323 K).

Badania symulacyjne wykonano dla 3 metod zgazowania węgla [1]: Texaco, Prenflo i KRW (*Kellogge Rust and Westinghouse*). Najważniejsze wyniki badań symulacyjnych przedstawiono w tabeli 1 i 2.

### Wnioski

Wykonane wielowariantowe badania symulacyjne efektywności energetycznej elektrowni gazowo-parowych zintegrowanych ze zgazowaniem węgla pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Znaczny wpływ na efektywność energetyczną elektrowni gazowo-parowej zintegrowanej ze zgazowaniem węgla ma sposób zasilania w węgiel generatora gazu. Stosowanie mokrej metody (mieszaniny pyłu węglowego i wody) powoduje obniżenie sprawności elektrowni, w stosunku do metody suchego zasilania, o około 3,5 punktu procentowego.





2. Istotny wpływ na sprawność elektrowni gazowo-parowej zintegrowanej ze zgazowaniem węgla mają również parametry turbiny gazowej, a szczególnie temperatura na wlocie do turbiny. Zwiększenie tej temperatury o 180 K (z 1323 K do 1503 K) powoduje wzrost sprawności elektrowni o około 3,5 punktu procentowego.

3. Wpływ metody odsiarczania spalin na sprawność elektrowni gazowo-parowej zintegrowanej ze zgazowaniem węgla jest mniejszy niż czynników wymienionych we wnioskach 1 i 2. Zastosowanie wysokotemperaturowej technologii odsiarczania paliwa gazowego (810 K), w miejsce niskotemperaturowej technologii (311 K), powoduje wzrost sprawności elektrowni o około 1,5 punktu procentowego.

4. Stosowanie w elektrowniach gazowo-parowych zintegrowanych ze zgazowaniem węgla technologii zgazowania z czynnikiem zgazowującym w postaci tlenu (Texaco, Destec, Prenflo, Shell) powoduje zużycie przez wytwornicę tlenu 5–6% wytworzonej energii elektrycznej, co pociąga za sobą obniżenie sprawności elektrowni o 2,5–3 punktów procentowych. Rozwój membranowych metod rozdzielania powietrza może doprowadzić do znacznego zmniejszenia zużycia energii przez wytwornicę tlenu.

## Oznaczenia

$B$	– zużycie węgla przez elektrownię [kg/s],
$D_g$	– natężenie przepływu wytwarzanego paliwa gazowego [kg/s],
$D_{sp}$	– natężenie przepływu spalin w turbinie gazowej [kg/s],
$D_{zg}$	– natężenie przepływu czynnika zgazowującego [kg/s],
$D_{p1}, D_{p2}, D_{p3}$	– natężenie przepływu pary nisko, średnio i wysokoprężnej [kg/s],
$D_{chp}$	– natężenie przepływu pary wytwarzanej w chłodnicy gazu, syntezowego [kg/s],
$D_{ggp}$	– natężenie przepływu pary wytwarzanej w układzie chłodzenia generatora gazu [kg/s],
$Du$	– natężenie przepływu paryupustowej [kg/s],
$\Delta H_{i(T_0, T_g)}$	– molowa entalpia fizyczna poszczególnych składników paliwa gazowego odniesiona to temperatury $T_0$ [kJ/kmol],
$\Delta H_{i(T_0, T_{sp})}$	– molowa entalpia fizyczna poszczególnych składników spalin [kJ/kmol],
$\Delta H_{i(T_0, T_{ut})}$	– molowa entalpia fizyczna poszczególnych składników czynnika zgazowującego lub utleniacza [kJ/kmol],
$\Delta H_{gi(T_0)}$	– molowa entalpia chemiczna poszczególnych składników paliwa gazowego [kJ/kmol] w temperaturze $T_0$ ,
$M_i$	– masa molowa poszczególnych składników paliwa gazowego, spalin i utleniacza [kg/kmol],
$P_{el\lg}, P_{eltp}$	– moc elektryczna generatora turbiny gazowej i parowej [kW],
$P_{itg}, P_{is}$	– moc wewnętrzna turbiny gazowej i sprężarki [kW],
$\Delta P_{O_2}$	– moc elektryczna zużywana przez wytwornicę tlenu [kW],
$\Delta P_{ut}$	– moc zużywana przez sprężarkę czynnika zgazowującego [kW],
$Q_w^w$	– wartość opałowa węgla [kJ/kg],
$Q_{gi}$	– ciepło spalania poszczególnych składników paliwa gazowego [kJ/kg],

$\Delta Q$	– straty ciepła do otoczenia odniesione do 1 kg paliwa gazowego lub spalin [kJ/kg],
$T_g, T_{sp}, T_{ut}$	– temperatura paliwa gazowego, spalin i utleniacza,
$T_0$	– temperatura odniesienia równa 298,15 K,
$a, b, c, d$	– współczynniki liczbowe określające udziały masowe węgla, czynnika zgazowującego, wody lub pary wodnej i żużła odniesione do 1 kg gazu,
$e, f, g$	– współczynniki liczbowe określające udziały masowe paliwa gazowego, utleniacza i azotu odniesione do 1 kg spalin,
$n$	– liczba założonych składników czynnika zgazowującego (tlen lub powietrze),
$i_{g1}, i_{g2}$	– entalpia paliwa gazowego na wlocie i wylocie z chłodnicy gazu [kJ/kg],
$i_{k1}, i_{k2}$	– entalpia kondensatu na wylocie z kondensatora i wlocie do odgazowywacza [kJ/kg],
$i_{mp1}, i_{mp2}$	– entalpia pary na wlocie i wylocie z międzystopniowego przegrzewacza pary [kJ/kg],
$i_{p1}, i_{p2}, i_{p3}$	– entalpia pary przegrzanej nisko, średnio i wysokociśnieniowej [kJ/kg],
$i_{pn1}, i_{pn2}, i_{pn3}$	– entalpia pary nasyconej nisko, średnio i wysokoprężnej [kJ/kg],
$i_{wz1}, i_{wz2}, i_{wz3}$	– entalpia wody zasilającej nisko, średnio i wysokociśnieniowej [kJ/kg],
$i_{zg1}, i_{zg2}$	– entalpia czynnika zgazowującego na wylocie i wlocie do chłodnicy gazu [kJ/kg],
$i_{sp2...}, i_{sp12}$	– entalpia spalin w poszczególnych częściach kotła odzysknicowego [kJ/kg],
$i_{p31}, i_{p32}$	– entalpia pary na wlocie i wylocie z części wysokoprężnej turbiny parowej [kJ/kg],
$i_{pmp21}, i_{pmp22}$	– entalpia pary na wlocie i wylocie z części średnioprężnej turbiny parowej [kJ/kg],
$P_{gb}, P_{spi}, P_{uti}$	– ciśnienia cząstkowe poszczególnych składników paliwa gazowego, spalin i utleniacza (czynnika zgazowującego) [Pa],
$\Delta i_{A(T_0, T_g)}$	– entalpia fizyczna stopionego żużła lub popiołu [kJ/kg],
$\Delta i_n(T_0, T_{N2})$	– entalpia fizyczna azotu [kJ/kg],
$\Delta i_{H_2O(T_0, T_{H_2O})}$	– entalpia fizyczna wody lub pary wodnej [kJ/kg],
$\Delta i_c(T_0)$	– entalpia chemiczna węgla w temperaturze $T_0$ [kJ/kg],
$\Delta i_n(T_0, T_{N2})$	– entalpia fizyczna azotu wprowadzonego do komory spalania turbiny gazowej [kJ/kg],
$\Delta i_{H_2O(T_0, T_{H_2O})}$	– entalpia wody lub pary wodnej wprowadzanej do generatora gazu [kJ/kg],
$\Delta t_{pp1}, \Delta t_{pp2}, \Delta t_{pp3}$	– krytyczne różnice temperatur (pinch point) między temperaturą spalin a temperaturą nasycenia odpowiednio pary nisko, średnio i wysokoprężnej [kJ/kg],
$\eta_e$	– sprawność elektrowni,
$\eta_{mp}$	– sprawność mechaniczna turbiny parowej,
$\eta_{gp}$	– sprawność generatora turbiny parowej,
$\eta_{mg}$	– sprawność mechaniczna turbiny gazowej,
$\eta_{gg}$	– sprawność generatora turbiny gazowej.

## Literatura

- [1] ZAPOROWSKI B., 2006 — Analiza efektywności energetycznej wytwarzania paliwa gazowego w procesie zgazowania węgla. Polityka energetyczna t. 9, z. spec., s. 299–310.

- [2] ZAPOROWSKI B., 2003— Analysis of Energy Conversion Processes in Gas-Steam Power plants Integrated with Coal Gasification. *Applied Energy*, Vol. 74, Nos. 3–4, p. 297–304.
- [3] VAN DIJK J.C., PFEIFFER M.J., HOPE T., 1989 — Integrated gasification combined cycle power generation using an advanced coal gasification process. 14th Congress of World Energy Conference, Montreal., Vol. 4, Paper 4.2.4
- [4] 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.
- [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, pp. 015–031.
- [6] 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, pp. 032–045.
- [7] PLESS D.E., 1994 — Tampa Electric Company Integrated Gasification Combined Cycle Project Current Status. *Proceedings of Third Annual Clean Coal Technology Conference*, Chicago, pp. 046–063.
- [8] DURRFELD R., SCHELLBERG W., 1996 — Efficient Power Generation from Coal with IGCC Technology. *Proceedings of The 6<sup>th</sup> International Energy Conference*. Beijing, pp. 69–74.
- [9] 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, pp. 301–317.
- [10] 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, pp. 318–328.
- [11] BAUMANN H.R., ULLRICH N., HAUPT G., ZIMMERMANN G., PRUSCHEK R., OELJEKLAUS G., 1998 — Development of the Cost-Effective IGCC 98 Power Plant. *Proceedings of Power Gen Europe'98*, Milan.

Bolesław ZAPOROWSKI

## Analysis of energy effectiveness of gas-steam power plants integrated with coal gasification

### Abstract

The paper presents the complex energy analysis of technological systems of gas-steam power plants integrated with coal gasification. The basis of the performed energy analysis are the elaborated mathematical models describing the behaviour of main elements of the gas-steam power plants integrated with coal gasification, such as: gas generator, gas cooler with the gas desulphurisation system, gas turbine block (compressor, combustion chamber, and gas turbine), heat recovery steam

generator and steam turbine cycle. The mathematical models of particular elements of power plant were the basis for computer programs for multivariant numerical simulation of energy effectiveness of power plants. The influence of: coal gasification technology, gasifying medium, gas fuel desulphurisation technology and gas turbine parameters on the efficiency of electric energy generation were taken into account.

KEY WORDS: clean coal technology, coal gasification, integrated gasification combined cycle (IGCC)