

Tadeusz CHMIELNIAK, Janusz KOTOWICZ

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechnika Śląska, Gliwice

MODELOWANIE UKŁADÓW GAZOWO-PAROWYCH. PRZEGLĄD ZAGADNIEŃ I WYNIKÓW OBLICZEŃ

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodologię obliczeń i układów gazowo-parowych. Pozwala ona zarówno określić wpływ wybranych parametrów na sprawność wytwarzania energii jak i określić wartość maksymalną tej sprawności. Główną uwagę skupiono na:

- układach gazowo-parowych jednopaliwowych,
- układach gazowo-parowych zintegrowanych z częściowym zgazowaniem węgla.

Ze względu na ograniczone ramy opracowania przedstawiono tylko niektóre wyniki obliczeń. Szczegółową ich charakterystykę zawiera cytowana w artykule literatura.

THE MODELING COMBINED GAS-STEAM CYCLE. STAND OF PROBLEMS AND CALCULATION RESULTS

Summary. In paper the calculation methodology of combined gas-steam cycles has been presented. This methodology gives possibility to determine the effect of choosen parameters on energy generation efficiency. The aim is directed to:

- combined gas-steam cycles with one fuel
- combined gas-steam cycles integrated with partial coal gasification.

In regard to restricted volume of this paper has been only chosen results of works showed. Detail list of own literature references was supplemented to this paper.

MODELIERUNG VON KOMBIBLÖCKE. EINE FÜBERSICHT DER BERECHNUNGEN UND PROBLEME

Zusammenfassung. Im Aufsatz eine Berechnungsmethodologie von Gas und Dampfanlagen wurde vorgestellt. Durch diese Methodologie den Einfluss vorgewählten Daten auf Energieerzeugungswirkungsgrad sowie die Ermittlung des maximalen

Wirkungsgrades wird erlaubt. Der Schwerpunkt ist gerichtet auf:

- Gas-Dampferzeugungsanlagen mit einem Brennstoff,
- Gas-Dampferzeugungsanlagen die mit Teilkohlevergasung integriert werden.

Aus dem Grund einer begrenzten Rahmen dieses Aufsatzes wurden auf einige Berechnungs resultate verzichtet. Die aufdem Ende vorgegebene Literatur ergänzt die Probleme.

1. Wstęp

W wyniku intensywnych badań naukowych i prac projektowo-konstrukcyjnych oraz szeroko zakrojonych przedsięwzięć demonstracyjnych opracowano w ostatnich latach wiele nowych technologii wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Zapewnić one muszą:

- 1) zwiększenie sprawności konwersji energii chemicznej paliwa na energię elektryczną i ciepłą,
- 2) zmniejszenie obciążenia środowiska naturalnego poprzez:
 - zasadnicze ograniczenie emisji SO_2 , NO_x , CO_2 i popiołu,
 - ograniczenie zapotrzebowania i strat bezwrotnych wody,
- 3) obniżenie kosztów produkcji energii elektrycznej i ciepła.

Istotne znaczenie dla najbliższej przyszłości, jak się obecnie wydaje, mają elektrownie gazowo-parowe o różnej strukturze. W szczególności można tutaj wymienić:

- elektrownie gazowo-parowe opalane gazem ziemnym,
- kombinowane układy gazowo-parowe uptylizujące gaz ziemny i węgiel,
- elektrownie parowo-gazowe z ciśnieniowym kotłem fluidalnym,
- elektrownie gazowo-parowe zintegrowane ze zgazowaniem węgla (zarówno całkowitym, jak i częściowym stanowiącym podstawę tzw. hybrydowych układów energetycznych).

Podstawę wszystkich wymienionych technologii stanowi układ parowo-gazowy. Dlatego też od wielu lat w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej prowadzone są prace mające na celu analizę układów parowo-gazowych za pomocą modelu matematycznego.

Modelowanie układów kombinowanych zawiera wszystkie elementy modelowania układów autonomicznych (gazowego i parowego). Modelowanie analityczne, ograniczone zazwyczaj do części gazowej układu i aproksymacji własności czynników roboczych przybliżeniem gazu kalorycznie doskonałego, jest przedmiotem najczęstszych rozważań. Zaletą tego rodzaju analizy jest możliwość otrzymania zamkniętych formuł określających optymalne parametry dowolnie rozbudowanego konturu gazowego z punktu widzenia sprawności układu lub jego mocy maksymalnej.

Modelowanie numeryczne, uwzględniające rzeczywiste własności mediów roboczych, przeprowadzone jest zazwyczaj dla wcześniej przyjętych struktur gazowej i parowej części układu kombinowanego.

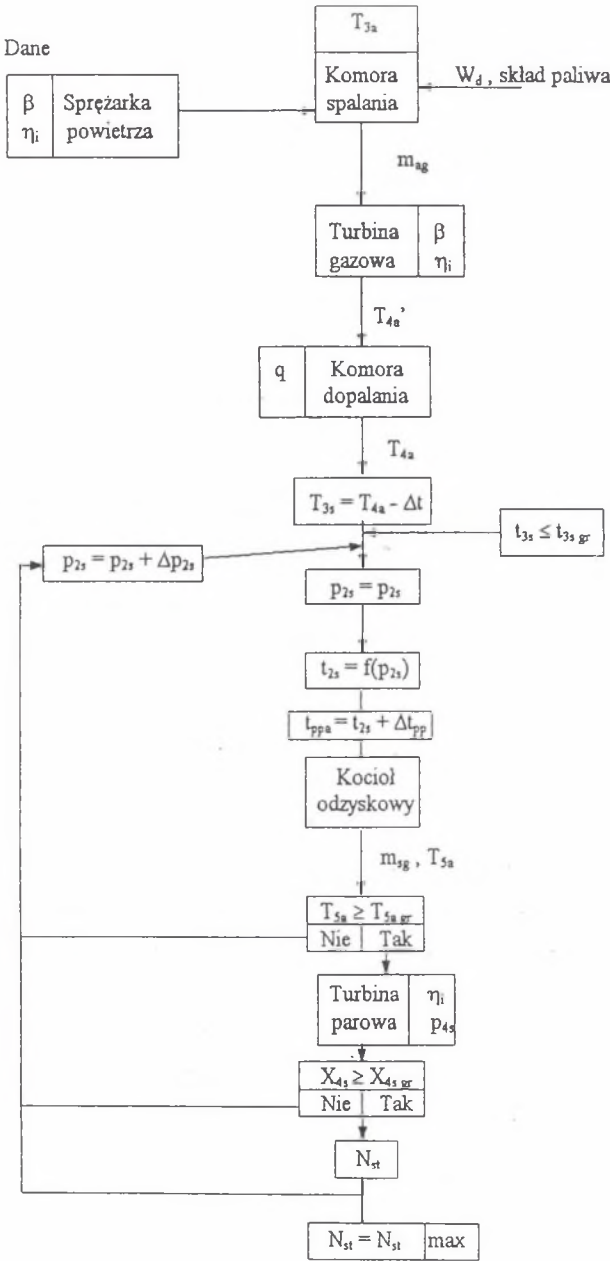
2. Algorytm obliczeń układów parowo-gazowych

Opracowane modele parowo-gazowe umożliwiają wyznaczenie zarówno parametrów czynników w poszczególnych punktach instalacji, jak i wielkości charakteryzujących prace poszczególnych maszyn i urządzeń. Pozwalają też określić sprawność wytwarzania energii elektrycznej w badanym układzie. Celem badań może też być optymalizacja układu. Za kryterium optymalizacji w większości przypadków wybierana jest maksymalna efektywność termodynamiczna układu kombinowanego.

Algorytm obliczeń układu parowo-gazowego pokazano na rys. 2. Opracowany on jest dla układu jednopaliwowego, którego schemat przedstawia rys. 1a, tj. układu z kotłem utylizacyjnym jednoprzężnym. Założone zmiany temperatur czynników w tym kotle ilustruje rys. 1b. Obliczenia dotyczące obiegu gazowego stanowiącego część kombinowanego układu gazowo-parowego odniesione są do jednostki masy spalanego gazu w komorze spalania.

W pierwszej kolejności wykonywany jest dla znanego stosunku ciśnień (β) i określonej sprawności wewnętrznej (η_i) podprogram „sprężarki powietrza”. W podprogramie „komora spalania” założoną wielkością jest temperatura spalin na wylocie z komory spalania (T_{3a}). Przy znanym składzie paliwa umożliwia on określenie stosunku strumieni masy powietrza do gazu (m_{ag}). Blok „turbina gazowa” pozwala wyznaczyć przy znanym stosunku ciśnień i sprawności wewnętrznej między innymi temperaturę spalin na wylocie z turbiny gazowej (T_{4a}).

Tok obliczeń w podprogramie „komora dopalania” zależy od tego, czy ilość utleniacza zawartego w spalinach z turbiny gazowej jest wystarczająca do spalania dodatkowego paliwa wynikającego z przyjęcia stopnia dopalania (q), tj. stosunku energii chemicznej paliwa spalane w komorze dopalania i spalania. Głównym parametrem wyjściowym tego bloku jest temperatura spalin na wylocie z komory dopalania (T_{4a}). Założenie różnicy temperatur (Δt) pomiędzy spalinami dolatującymi do kotła utylizatora (T_{4a}) i parą produkowaną w nim umożliwia określenie tej ostatniej temperatury (T_{3s}). Założenie ciśnienia w walczaku kotła (p_{2s}) oraz przyjęcie minimalnej różnicy temperatur pomiędzy spalinami i czynnikiem roboczym w kotle równej (Δt_{pp}) (tzw. Pinch Point) pozwala wykorzystać podprogram „kocioł odzyskowy”. Ten ostatni spośród ważniejszych wielkości oblicza stosunek strumieni masy pary do gazu



Rys. 2. Algorytm obliczeń układu gazowo-parowego z rys. 1

Fig. 2. The calculation algorithm of combinedcycle from fig. 1

doprowadzonego do układu gazowo–parowego (m_{sg}), jak również temperaturę na wylocie z kotła (T_{5a}).

Blok „turbina parowa” wymaga wprowadzenia jako danych sprawności wewnętrznej turbiny (η_i) i ciśnienia w kondensatorze p_{4s} .

W dalszej kolejności wyznaczamy moc turbiny parowej wg zależności:

$$N_{st} = m_{sg}(i_{3s} - i_{4s})\eta_m \eta_g \quad [\text{kJ/kg pal}] \quad (1)$$

gdzie:

- i_{3g}, i_{4s} – entalpia właściwa pary odpowiednio na wlocie i wylocie z turbiny,
- η_m, η_g – odpowiednio sprawność mechaniczna i generatora,
- m_{sg} – stosunek strumieni masy pary do gazu.

Zmieniając ciśnienie w walczaku (p_{2s}) dla przyjętych wcześniej założeń poszukujemy maksymalnej wartości równania (1), tj. $N_{st \max}$. Dla tak wyznaczonego ekstremum określamy sprawność wytwarzania energii elektrycznej w badanym układzie w postaci:

$$\eta = \frac{N_{st \max} + N_{gt} - N_{sp} \text{ csot } m_{ag}}{W_d(1 + q)} \quad (2)$$

gdzie:

- N_{gt} – moc turbiny gazowej [kJ/kg pal],
- N_{sp} – moc potrzebna do napędu sprężarki powietrza [kJ/kg pow],
- m_{ag} – stosunek strumieni powietrza i gazu doprowadzonego do komory spalania [kg pow/kg pal],
- W_d – wartość opałowa paliwa [kJ/kg pal],
- q – stopień dopalania.

Podane w algorytmie wielkości mogą zmieniać się wewnątrz pewnego obszaru z zachowaniem bilansów energii i masy, równania stanu, czynników technologicznych i fizycznych, i tak:

- temperatura pary świeżej może przyjmować wartości od temperatury nasycenia w walczaku wysokociśnieniowym do temperatury granicznej t_{3sgr} podyktowanej wymaganiami konstrukcyjnymi,
- ciśnienie pary świeżej i jej temperatura są związane ze stopniem suchości pary X na wylocie z turbiny, która nie może przekroczyć wartości X_{4sgr} ,
- minimalna różnica temperatur pomiędzy spalinami i parą w kotle odzyskownicowym jest w każdym punkcie wyższa niż przyjęty „Pinch Point” Δt_{pp} ,
- wartość „Pinch Point” we wszystkich obliczeniach jest taka sama,
- temperatura wylotowa spalin nie może zmaleć poniżej wartości t_{5agr} , dla której może wystąpić korozja niskotemperaturowa.

3. Symulator układów gazowo-parowych

Będący w fazie końcowej opracowany w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych komputerowy symulator układów parowo-gazowych pozwoli na badanie układów parowo-gazowych o dowolnie przyjętej strukturze.

Symulator układu parowo-gazowego składa się z następujących elementów program:

- edytor schematów,
- symulator urządzeń,
- translator schematów na wewnętrzną listą połączeń.

Edytor schematów umożliwia zaprojektowanie i narysowanie dowolnego układu gazowo-parowego poprzez wykorzystanie występujących w nim elementów takich, jak: kocioł, przegrzewacz pary, komora spalania, komora dopalania, turbina gazowa, turbina parowa, skraplacz, odgazowywacz, pompa, sprężarka, wymiennik ciepła.

W edytorze wprowadzono elementy łączące wymienione urządzenie w schemat za pomocą przewodów: pary, wody, paliwa gazowego, powietrza, paliwa stałego, spalin.

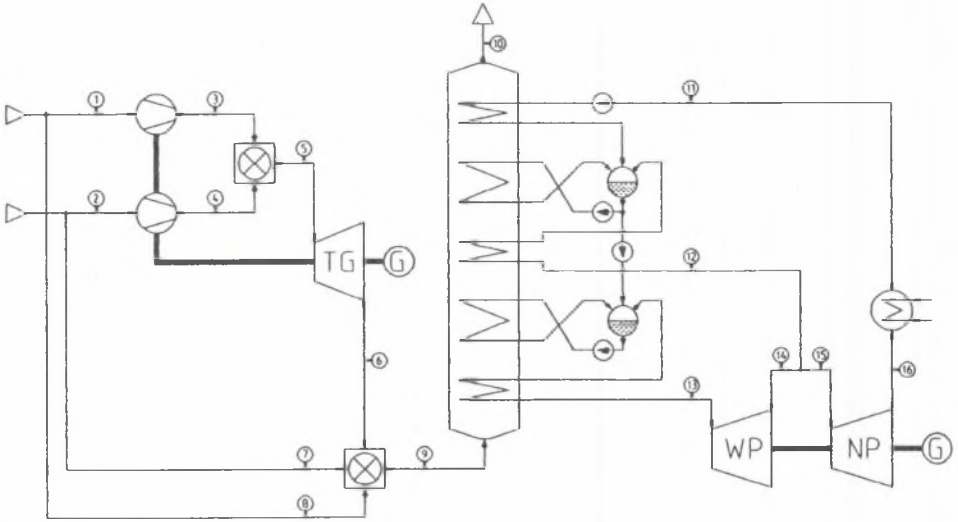
Wszystkie te elementy przedstawione są na schemacie odpowiednio jako bloki lub linie umożliwiając zaprojektowanie dowolnego układu parowo-gazowego jako schematu połączeń poszczególnych urządzeń. Edytor schematów udostępnia podstawowe operacje na elementach schematu, takie jak:

- dodawanie dodatkowych elementów układu,
- usuwanie niezbędnych elementów układu,
- przesuwanie w obrębie schematów poszczególnych elementów,
- łączenie elementów w schemat elementami łączącymi (przewodami),
- określenie parametrów pracy poszczególnych elementów,
- standardowe operacje edycyjne: zapis, odczyt, oraz wydruk schematu.

Obliczenia wymienionych elementów składowych układów gazowo-parowych wykonywane są za pomocą odpowiednich podprogramów zawartych w symulatorze urządzeń. Dla każdego z urządzeń zgromadzone są tam na bazie przyjętych modeli matematycznych odpowiednie algorytmy i procedury obliczeniowe. Symulator zawiera również procedury i funkcje pozwalające wyznaczyć entalpie i entropię czynników przepływających w układach, jak również i procedury pozwalające określić na podstawie znajomości tych ostatnich wielkości parametry termodynamiczne czynników.

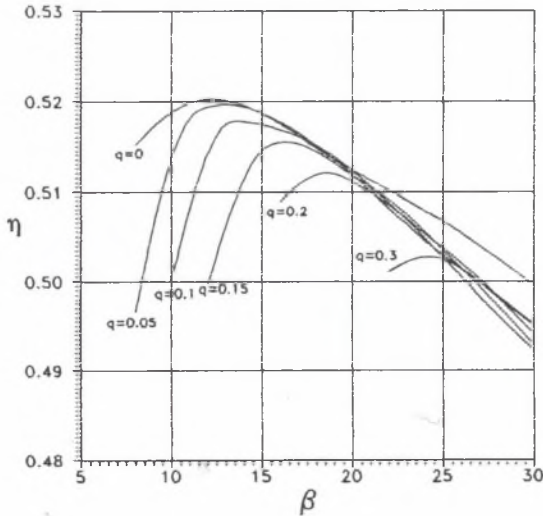
4. Badane układy. Wybrane rezultaty obliczeń

W dotychczasowych badaniach autorzy dużo uwagi poświęcili układom gazowo-parowym jednopaliwowym. W tym zakresie przebadano zarówno



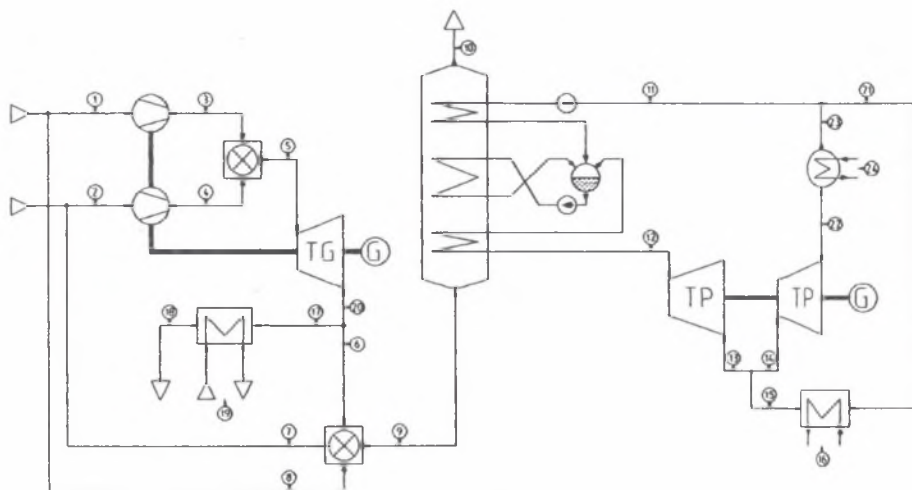
Rys. 3. Układ gazowo-parowy z kotłem utylizacyjnym dwuprężnym

Fig. 3. Combined gas-steam cycle with a double-pressure recovery boiler



Rys. 4. Wpływ stosunku ciśnień w turbinie gazowej i stopnia dopalania na sprawność układu gazowo-parowego

Fig. 4. Influence of the pressure ratio in gas turbine and degree of supplementary firing on combined gas-steam cycle efficiency



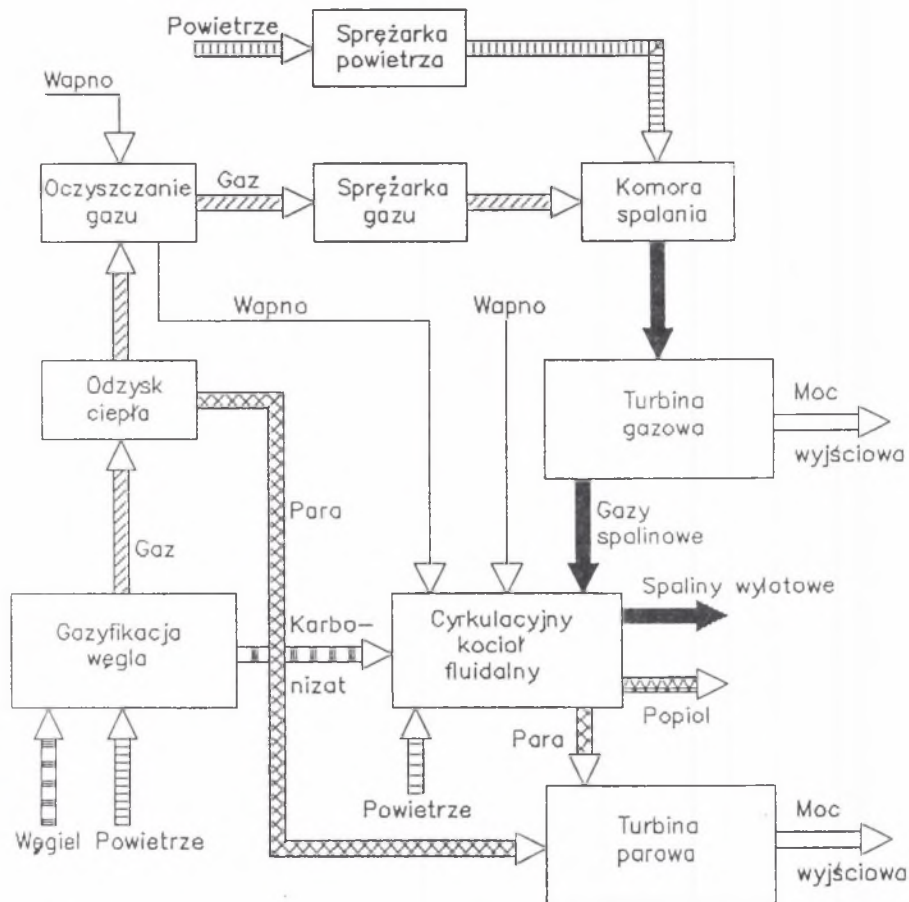
Rys. 5. Układ gazowo-parowy do skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła

Fig. 5. Combined gas-steam cycle for electric and thermal power cogeneration

układy z kotłem jednopiętnym przedstawionym na rys. 1a, jak i kotłem dwupiętnym. Dokonano szerokiej analizy wpływu wybranych parametrów termodynamicznych, w tym również dopalania na sprawność tych układów [1]. Pozwala ona na stwierdzenie, że odpowiednio dobrane parametry termodynamiczne mogą zapewnić osiągnięcie maksymalnej sprawności układów. Opracowane algorytmy, w tym również ten pokazany na rys. 2, pozwalają na wyznaczenie tej maksymalnej sprawności termicznej i odpowiadających jej optymalnych parametrów układu.

Badany układ gazowo-parowy z kotłem dwupiętnym przedstawiono na rys. 3, na którym zaznaczono punkty, w których są określone parametry termodynamiczne przepływających czynników przy wykorzystaniu symulatora układów gazowo-parowych.

Przedstawione na rys. 4 rezultaty obliczeń pozwalają określić zależność sprawności wytwarzania energii elektrycznej w badanym układzie od stosunku ciśnień w turbinie gazowej i stopnia dopalania dla temperatury gazów na dolocie do turbiny gazowej równej 1100°C [2] potwierdzając powyższe stwierdzenie. Przeprowadzone obliczenia potwierdzają możliwość osiągnięcia bardzo wysokich sprawności wytwarzania energii elektrycznej w analizowanym układzie, wynoszących 52% dla temperatury spalin na dolocie do turbiny

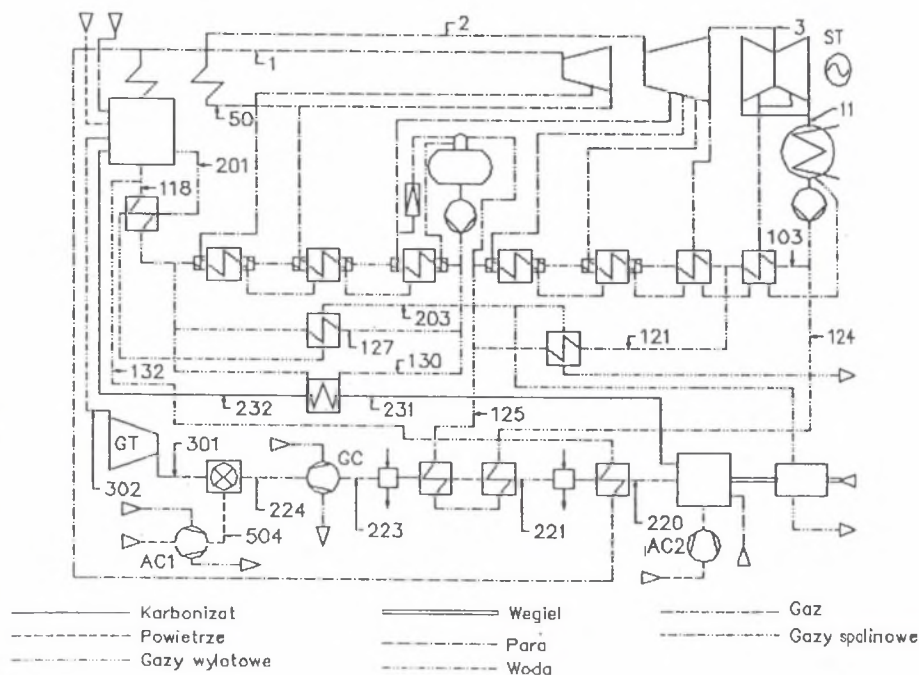


Rys. 6. Schemat blokowy układu kombinowanego gazowo–parowego zintegrowanego z instalacją pirolizy węgla

Fig. 6. Block diagram of the combined gas–steam cycle integrated with coal pyrolysis

gazowej równej 1100°C (rys.4) i sprawności dochodzącej do 56,8% przy wzmiarkowanej temperaturze równej 1300°C [2].

W ostatnim okresie skupiono uwagę na układach gazowo–parowych jednopaliwowych do skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła [2]. Jeden z badanych układów pokazano na rys. 5. Użyty do badań symulator pozwala wyznaczyć parametry termodynamiczne (jak również sprawności) w zaznaczonych na rysunkach punktach, w tym również w funkcji różnego



Rys. 7. Schemat układu kombinowanego gazowo-parowego zintegrowanego z instalacją pirolizy węgla

Fig.7. Schematic diagram of the combined gas-steam cycle integrated with coal pyrolysis

obciążenia wymienników ciepłowniczych: gazowego i parowego (odpowiednio nr 19 i 16 na rys. 5).

W Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych wykonano szereg obliczeń układu parowo-gazowego zintegrowanego z instalacją atmosferycznej pirolizy węgla [4 – 8]. Schemat blokowy badanego układu przedstawiono na rys. 6, zaś jego dokładną strukturę na rys. 7. Przykładowe rezultaty obliczeń w nawiązaniu do punktów obliczeniowych pokazanych na rys. 7 zestawiono w tablicy 1. W badanym układzie w procesie pirolizy następuje konwersja węgla w gaz, który ostatecznie po oczyszczeniu wykorzystany jest w układzie turbiny gazowej. Węgiel, który nie uległ przemianie w gaz, występuje w postaci karbonizatu i spalany jest w kotle fluidalnym, cyrkulującym produkującym parę dla turbiny parowej. Dane dotyczące procesu pirolizy, tj. odpowiednie bilanse masy i energii otrzymano z Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla

w Zabrze. Obliczona sprawność wytwarzania energii elektrycznej w badanym układzie gazowo-parowym zintegrowanym z instalacją atmosferycznej pirolizy węgla, w zależności od przyjętych parametrów pary układu leży w obszarze $41 \pm 44\%$ [7].

W Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych przeprowadzono również badania polegające na ustaleniu parametrów termodynamicznych, jak i sprawności wytwarzania energii elektrycznej układu parowo-gazowego zintegrowanego z instalacją powietrznego ciśnieniowego zgazowania (pirolizy węgla) oraz ciśnieniowym paleniskiem fluidalnym.

Tablica 1

Wybrane rezultaty obliczeń dla układu z rys. 7

| Punkt | Strumień kg/s | Entalpia fizyczna kJ/kg | Temperatura °C | Ciśnienie MPa |
|-----------|------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------|
| 1 | 111,027 | 3362,00 | 535,0 | 19,000 |
| 2 | 106,396 | 3524,63 | 535,0 | 4,060 |
| 3 | 98,556 | 2853,40 | 192,0 | 0,260 |
| 11 | 86,033 | 2369,30 | 36,2 | 0,006 |
| 50 | 106,396 | 3362,00 | 535,0 | 19,000 |
| 103 | 75,089 | 153,34 | 36,4 | 1,200 |
| 118 | 101,642 | 1293,01 | 292,5 | 25,200 |
| 121 | 52,699 | 257,71 | 61,4 | 1,200 |
| 124 | 17,180 | 153,34 | 36,4 | 1,200 |
| 125 | 17,180 | 574,75 | 136,4 | 1,200 |
| 127 | 47,903 | 701,16 | 162,5 | 25,200 |
| 130 | 18,742 | 701,16 | 162,5 | 25,200 |
| 132 | 9,385 | 1293,01 | 292,5 | 25,200 |
| 201 | 175,259 | 485,42 | 446,8 | 0,120 |
| 203 | 175,259 | 223,50 | 212,5 | 0,115 |
| 220 | 25,062 | 1174,10 | 880,0 | 0,125 |
| 221 | 25,062 | 391,53 | 320,0 | 0,120 |
| 223 | 25,062 | 99,74 | 85,0 | 0,10 |
| 224 | 24,062 | 315,94 | 260,9 | 1,600 |
| 231 | 8,083 | 1301,17 | 880,0 | - |
| 232 | 8,083 | 396,65 | 250,0 | - |
| 301 | 125,405 | 1306,61 | 1120,0 | 1,560 |
| 302 | 125,405 | 632,18 | 574,0 | 0,124 |
| 504 | 100,343 | 191,48 | 187,8 | 1,600 |
| Moc MW: | Turbina parowa (ST) | - 159,013 | | |
| | Turbina gazowa (GT) | - 83,731 | | |
| | Spręż. powietrza (AC1) | - 33,157 | | |
| | Spręż. powietrza (AC2) | - 0,484 | | |
| | Spręż. gazu (GC) | - 9,436 | | |
| Sprawność | | - 42,44% | | |

Do badań zaproponowano układ, którego schemat pokazano na rys. 8, 9. Szczegółowe dane dotyczące instalacji zgazowania węgla ustalono na podstawie analizy koncepcji przedstawionych przez Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG (VEW), jak i koncepcji opracowanej przez Centrum Uszlachetniania Węgla Politechniki Śląskiej wraz z Instytutem Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze. Przyjęto, że w procesie zgazowania produkowany jest gaz niskokaloryczny o wartości opałowej 4400 kJ/n_n^3 i temperaturze 1100°C oraz karbonizat wykorzystywany w dalszym ciągu w ciśnieniowym kotle fluidalnym. Wydajność instalacji zgazowania określono na 324 ton węgla/h, zaś jej efektywność termodynamiczną na 97%. Do badań układu wykorzystano symulator układów gazowo-parowych. Rezultaty badań w określonych na schemacie z rys. 8 punktach, jak i niektóre założone do obliczeń wielkości zebrano w tablicy 2. Przeprowadzone obliczenia wskazują na możliwość osiągnięcia w badanym układzie bardzo wysokiej sprawności konwersji energii chemicznej węgla na energię elektryczną dochodzącą do 48%.

Tablica 2

Wybrane rezultaty obliczeń dla układu z rys. 8

| Nr punktu | Ciśnienie MPa | Temperatura $^\circ\text{C}$ | Strumień masy |
|-----------|------------------|---------------------------------|---------------|
| 1 | 0,10 | 710 | 1075,5 |
| 2 | 1,50 | 378 | 85,0 |
| 3 | 1,43 | 372 | 235,1 |
| 4 | 1,43 | 372 | 840,4 |
| 5 | 1,44 | 1100 | 135,2 |
| 6 | 1,435 | 380 | 135,2 |
| 7 | 1,428 | 1300 | 1222,4 |
| 8 | 0,102 | 612 | 1222,4 |
| 9 | 0,100 | 100 | 1222,4 |
| 10 | 25,2 | 292,5 | 75,5 |
| 11 | 25,2 | F41 | 33,6 |
| 12 | 19,0 | 535 | 33,6 |
| 13 | 19,0 | 535 | 297,5 |
| 14 | 4,06 | 535 | 297,5 |
| 15 | — | 10 | 90 |
| 16 | 1,43 | 850 | 246,8 |
| 17 | 0,006 | 36,2 | 297,5 |
| 18 | 19 | 535 | 188,4 |

NTP = 360,4 MW (netto)
 NTG = 590 MW (netto)
 $\eta = 0,48$

5. Podsumowanie

W krajach o wysokim rozwoju gospodarczym opracowano wiele propozycji technologicznych umożliwiających racjonalniejsze (z ekonomicznego punktu widzenia) energetyczne wykorzystanie paliwa.

Wiele z nich stanowić będzie podstawę modernizacji istniejących elektrowni – odbudowy mocy i budowy nowych źródeł wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Mogą one także stanowić interesujące propozycje dla polskiej energetyki.

Istotne znaczenie dla najbliższej przyszłości rozwoju energetyki, jak się obecnie wydaje, będą miały elektrownie gazowo-parowe o różnej strukturze. Dlatego też w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych opracowano modele i algorytmy obliczeń układów parowo-gazowych. Pozwalają one określić wpływ wielu parametrów na sprawność termiczną elektrowni kombinowanych. Odpowiednio dobrane parametry zapewniają osiągnięcie maksymalnej sprawności układów. Opracowana metodologia pozwala na wyznaczenie maksymalnej sprawności i odpowiadającej jej optymalnych parametrów układów.

W dotychczasowych badaniach główną uwagę skupiono na:

- układach gazowo-parowych jednopaliwowych,
- elektrowniach gazowo-parowych zintegrowanych z częściowym zgazowaniem węgla.

W obliczeniach uzyskano następujące maksymalne sprawności wytwarzania energii elektrycznej:

- a) 56,8% – dla układu gazowo-parowego z kotłem dwuprzężnym,
- b) 48% – dla układu gazowo-parowego zintegrowanego z instalacją ciśnieniowej powietrznej pirolizy węgla oraz ciśnieniowym paleniskiem fluidalnym,
- c) 44% – dla układu parowo-gazowego zintegrowanego z instalacją atmosferycznej pirolizy węgla.

Będący w fazie końcowej opracowywany w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych komputerowy symulator układów gazowo-parowy pozwoli na badanie układów kombinowanych o dowolnej strukturze.

Literatura

1. Chmielniak T., Kotowicz J.: Wpływ wybranych parametrów termodynamicznych na sprawność układu parowo-gazowego. *Koks, Smoła, Gaz*, nr 12, 1990, s. 280–284.
2. Chmielniak T., Kotowicz J.: Analysis of a Combined System of Supplementary Firing, *Archiwum Energetyki* (przygotowane do druku).
3. Chmielniak T., Kotowicz J., Zachariasz J.: Analiza wpływu dopalania na sprawność układów kombinowanych przy skojarzonym wytwarzaniu energii elektrycznej i ciepła. Materiały „The First International Scienti-

- fic Symposium on Technical Economical and Environmental Aspects of Combined Cycle Power Plants”, „COMPOWER'95”, Gdańsk 1995, t. 1, s. 67–74.
4. Chmielniak T., Kotowicz J. i inni: A Thermodynamic Analysis of Combined Cycle Integrated with Low Pressure Coal Pyrolysis. Materiały First International Conference on Combustion Technologies for a Clean Environment, Vilamoura, Portugalia, 3–6 sept., 1991, vol. 11, 25.1, s. 9–15.
 5. Chmielniak T., Kotowicz J. i inni: Analysis of Energy Production Systems Integrated with Coal Pyrolysis. Referat na konferencję Coal, Energy and Environment, Ostrawa, Czechosłowacja, 1992.
 6. Chmielniak T., Kotowicz J. i inni: Układ parowo–gazowy zintegrowany z częściowym zgazowaniem węgla. Materiały Seminarium Ekologiczne Nowoczesne Technologie Energetyczne, Kraków 1994, s. 1–11.
 7. Chmielniak T., Kotowicz J. i inni: Układ parowo–gazowy zintegrowany z częściowym zgazowaniem węgla. Gospodarka Paliwami i Energią, nr 10, 1994, s. 7–11.
 8. Kotowicz J., Ściążko M.: Ekologiczne i wysokosprawne technologie produkcji energii elektrycznej z węgla. Karbo, Energochemia, Ekologia, nr 6, 1992, s. 147–152.
 9. Kotowicz J. i inni: Nowe technologie energetyczne oraz metody badawcze i pomiarowe. Opracowanie Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Gliwice 1995.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ludwik Cwynar

Wpłynęło do Redakcji: 10. 10. 1996 r.

Abstract

The combined gas–steam cycles have a few advantages compare to conventional steam power plants:

- higher conversion efficiency of fuel chemical energy,
- smaller negative influence on the environment as a result of reduced SO₂, NO_x and CO₂ emission,
- lower waterconsumption,
- lower total plant costs.

Thus the combined cycle plants can be considered as an alternative source for generating heat and electricity. In Institute of Power Machinery the models and calculational gorithms of combined gas–steam cycles has been elaborated. By this models can be the effect of several parameters on combined power plant units efficiency determined. The suitable parameters gives

opportunity to determine the maximal efficiency of units. The elaborated methodology predicts maximal efficiency and optimisation of parameters. In investigations the basic aim is directed to:

- a) combined gas–steam cycles with one fuel,
- b) combined gas–steam cycles integrated with partial coal gasification.

Results of calculations show the maximal electrical power efficiency:

- a) 56,8% – for combined gas–steam cycle with a double–pressure recovery boiler,
- b) 48% – for combined gas–steam cycle integrated with coal pyrolysis and pressurized fluidized bed boiler,
- c) 44% – for combined gas–steam cycle integrated with coal pyrolysis.