POZNAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY ACADEMIC JOURNALS
No 70 Electrical Engineering 2012

Robert WRÓBLEWSKI*

MODELOWANIE UKŁADÓW ELEKTROCIEPŁOWNI GAZOWO-PAROWYCH ZINTEGROWANYCH ZE ZGAZOWANIEM BIOMASY

W artykule przedstawiono sposób zamodelowania układu elektrociepłowni gazowej i gazowo – parowej zintegrowanej z instalacją zgazowania biomasy. Wykorzystując zamodelowany układ przeprowadzono badania symulacyjne wpływu zmiany parametrów pracy instalacji na wskaźniki efektywności energetycznej takie jak: sprawność wytwarzania energii elektrycznej, sprawność wytwarzania ciepła i sprawność ogólną.

1. WSTĘP

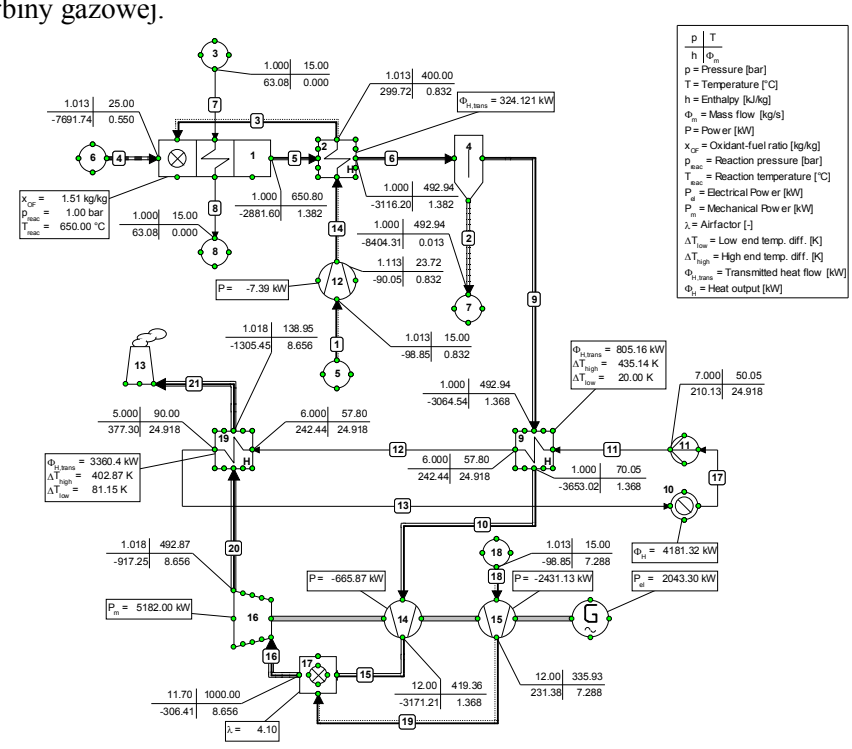
Pomimo ciągłego wzrostu udziału źródeł odnawialnych w produkcji energii elektrycznej to paliwa kopalne są podstawowymi nośnikami energii pierwotnej. Stopniowe wyczerpywanie się ich zasobów, jak również rosnąca świadomość zagrożeń dla środowiska naturalnego jakie wynikają ze strony energetyki konwencjonalnej wymusza ograniczenie zużycia tych paliw. Z jednej strony zmusza nas to do stosowania technologii wysokosprawnych takich jak układy elektrowni parowych na parametry nadkrytyczne czy układów kogeneracyjnych z drugiej zaś jest przyczynkiem do rozwijania technologii alternatywnych opartych o odnawialne źródła energii. Do rozwoju tych technologii poza uwarunkowaniami prawnymi i ekonomicznymi [1, 2] przyczyniają się również ciągle rosnące ceny paliw kopalnych. W warunkach naszego kraju znaczący udział w produkcji energii elektrycznej powinna mieć biomasa. Ze względu na specyfikę tego paliwa i problem z magazynowaniem większych jego ilości oraz małą opłacalnością transportu na większe odległości, powinna ona być wykorzystywana w małych lokalnych ciepłowniach i elektrociepłowniach. Jednym z możliwych rozwiązań dających wysoką efektywność wykorzystania energii chemicznej biomasy są instalacje elektrociepłowni gazowych zintegrowanych z instalacją zgazowania biomasy. Duże możliwości technologiczne daje również połączenie obiegów parowego i gazowego, szczególnie w zakresie uzyskania wysokich sprawności przemiany ciepła w energię elektryczną. W związku z powyższym w niniejszym artykule przedstawiono modelowanie układu prostej elektrociepłowni gazowej zintegrowanej z instalacją zgazowania biomasy. Zamodelowano również układ

* Politechnika Poznańska.

elektrociepłowni gazowo-parowej zintegrowanej ze zgazowaniem biomasy. Możliwość modelowania tego typu instalacji oraz analiz energetycznych daje program Cycle-Tempo [3].

2. UKŁAD PROSTEJ ELEKTROCIEPŁOWNI GAZOWEJ

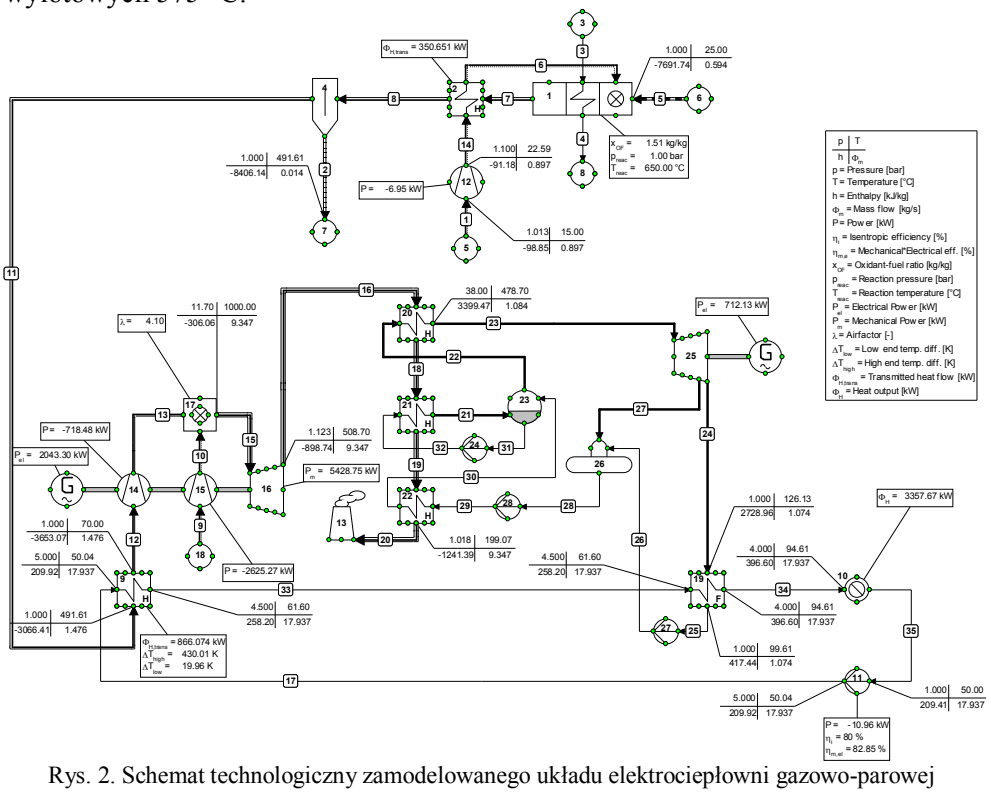
W układach elektrociepłowni zintegrowanych ze zgazowaniem, rolę jednostki wytwórczej mogą pełnić gazowe silniki tłokowe lub turbiny gazowe. Na rysunku 1 przedstawiono model elektrociepłowni z turbiną gazową pracującą w obiegu prostym. Instalacja zgazowania biomasy składa się z gazogeneratora (1), regeneracyjnego podgrzewacza powietrza (2), układu oczyszczania gazu generatorowego (4). Układ turbiny gazowej obejmuje sprężarkę gazu generatorowego (14), sprężarkę powietrza (15), turbinę gazową (16) oraz generator (G). W układzie technologicznym pracują dwa wymienniki ciepłownicze. Pierwszy wymiennik (9) pełni rolę chłodnicy gazu wytwarzanego w reaktorze. Drugi wymiennik (19) umieszczono na drodze spalin wylotowych z turbiny gazowej.



Rys. 1. Schemat technologiczny zamodelowanego układu prostej elektrociepłowni gazowej zintegrowanej z instalacją zgazowania biomasy

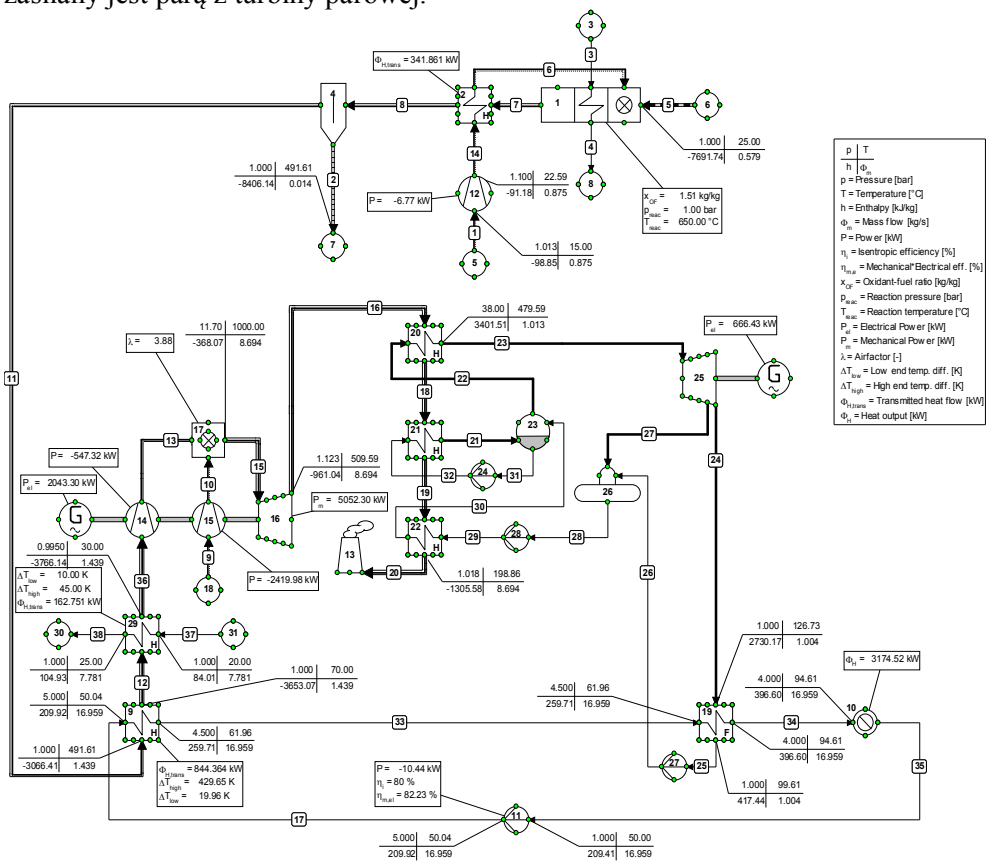
3. UKŁAD ELEKTROCIEPŁOWNI GAZOWO-PAROWEJ

Układ technologiczny elektrociepłowni gazowo-parowej stanowi połączenie dwóch obiegów: gazowego i parowego. Posiada on zalety obiegu gazowego oraz obiegu parowego, czyli wysoką temperaturę górnego źródła ciepła, którą posiada obieg gazowy oraz niską temperaturę dolnego źródła ciepła, którą charakteryzuje się obieg parowy. Połączenie obiegu gazowego z obiegiem parowym odbywa się w kotle odzysknicowym, gdzie ciepło spalin wylotowych z turbiny gazowej wykorzystywane jest do wytwarzania pary dla obiegu parowego. Energia elektryczna jest wytwarzana zarówno w generatorze turbiny gazowej jak i w generatorze turbiny parowej. W przypadku układów parowych małej mocy (200 – 1500 kW) w części parowej poza typowymi turbinami parowymi, można zastosować silniki parowe tłokowe[4] lub śrubowe[5], które w tym zakresie mocy charakteryzują się wyższą sprawnością do turbin parowych. W analizowanych układach jako turbinę gazową zamodelowano turbinę Deutz KA 2334 o znamionowej mocy elektrycznej 2,043 MW i temperaturze gazów wylotowych 575 °C.

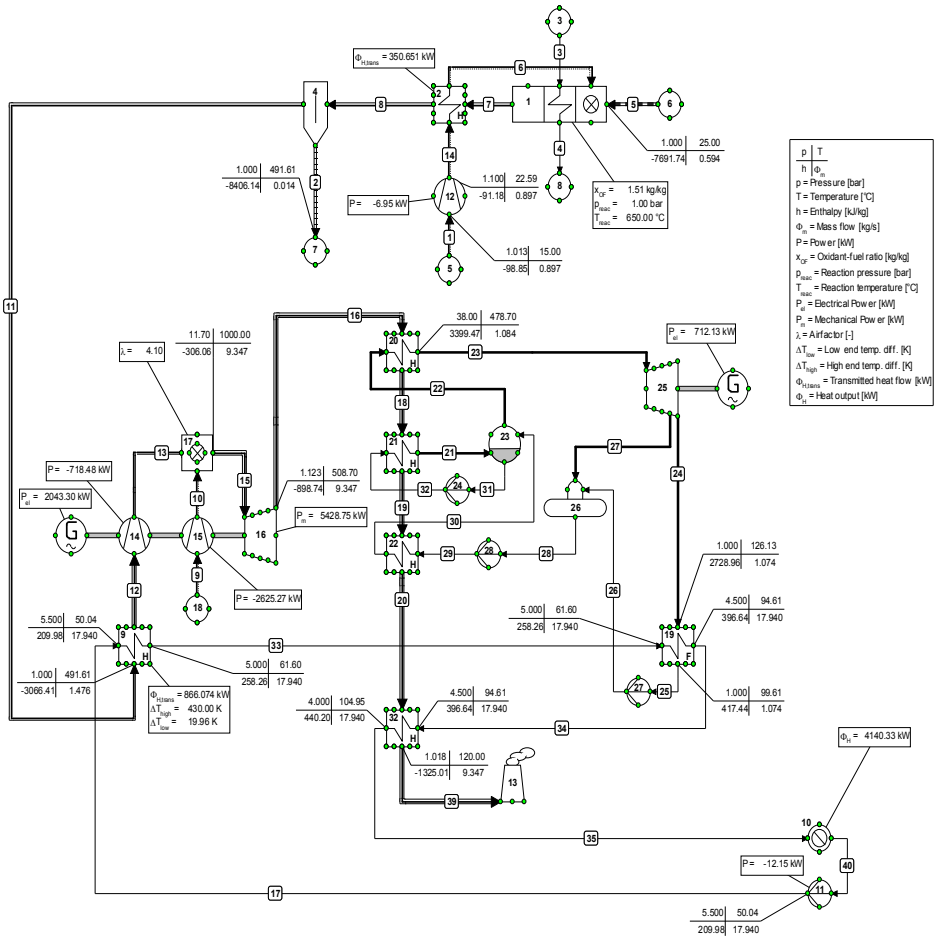


Rys. 2. Schemat technologiczny zamodelowanego układu elektrociepłowni gazowo-parowej

W niniejszej pracy zamodelowano układ elektrociepłowni gazowo-parowej z jednociśnieniowym kotłem odzysknicowym (rys. 2) oraz ten sam układ z dodatkową chłodnicą gazu generatorowego 29 (rys. 3). Układy te w porównaniu ze schematem elektrociepłowni gazowej w układzie prostym w miejscu wymiennika ciepłowniczego zasilanego ciepłem spalin z turbiny gazowej posiadają wymienniki kotła odzysknicowego (20, 21, 22). Elementem kotła odzysknicowego jest również walczak będący separatorem pary i wody. Para wytworzona w kotle odzysknicowym zasila turbinę parową (25) sprzężoną z generatorem. Podobnie jak w poprzednim przykładzie w układzie technologicznym pracują dwa wymienniki ciepłownicze. Pierwszy wymiennik (9) pełni rolę chłodnicy gazu wytwarzanego w reaktorze. Drugi wymiennik (19) zasilany jest parą z turbiny parowej.



Rys. 3. Schemat technologiczny zamodelowanego układu elektrociepłowni gazowo-parowej z dodatkową chłodnicą gazu generatorowego



Rys. 4. Schemat technologiczny zamodelowanego układu elektrociepłowni gazowo-parowej z wymiennikiem ciepłowniczym w kotle odzysknicowym

Kolejnym zamodelowanym układem elektrociepłowni gazowo-parowej zintegrowanej z instalacją zgazowania biomasy jest układ przedstawiony na rysunku 4. Modyfikacja polega na zamodelowaniu dodatkowego wymiennika ciepłowniczego tzw. „ekonomizera" w kotle odzysknicowym. W układzie tym czynnik grzewczy jest podgrzewany kolejno w chłodnicy gazu (9), wymienniku przyturbinowym (19) i w wymienniku kotła odzysknicowego (32). Wymiennik ciepłowniczy w kotle odzysknicowym pozwala w znaczący sposób ograniczyć wartość straty wylotowej poprzez znaczne obniżenie temperatury spalin trafiających do komina.

4. ANALIZA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ POSZCZEGÓLŃYCH UKŁADÓW

Określając parametry pracy poszczególnych elementów układu, program korzystając z równań bilansowych wyznacza przepływy w poszczególnych gałęziach. Jednym z efektów pracy programu jakie otrzymujemy jest zestawienie wyników w postaci tabeli zawierającej: sprawności wytwarzania energii elektrycznej brutto i wytwarzania energii elektrycznej netto, sprawność wytwarzania ciepła oraz sprawność całkowitą elektrociepłowni, które można zapisać wzorami:

- sprawność wytwarzania energii elektrycznej brutto:

$$\eta_{elbrutto} = \frac{P_{eltg} + P_{eltp}}{BQ_w} \tag{1}$$

- sprawność wytwarzania energii elektrycznej netto:

$$\eta_{eletto} = \frac{P_{eltg} + P_{eltp} - P_{pw}}{BQ_w} \tag{2}$$

- sprawność wytwarzania energii cieplnej:

$$\eta_c = \frac{Q_c}{BQ_w} \tag{3}$$

- sprawność energetyczna układu:

$$\eta_{en} = \frac{P_{eltg} + P_{eltp} - P_{pw} + Q_c}{BQ_w} \tag{4}$$

Oznaczenia:

B	wartość opałowa paliwa [kJ/kg],
P_{eltp}	moc elektryczna turbiny parowej [kW],
P_{eltg}	moc elektryczna turbiny gazowej [kW],
P_{pw}	moc urządzeń potrzeb własnych (napędy pomp i wentylatorów [kW],
Q_c	Moc cieplna wymienników ciepłowniczych [kW],
Q_w	Wartość opałowa paliwa [kJ/kg].

Wyniki efektywności energetycznej poszczególnych układów elektrociepłowni przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki obliczeń symulacyjnych sprawności wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w zamodelowanych elektrociepłowniach

Parametr			Nr rysunku			
			1	2	3	4
Moc generatora	turbiny gazowej	[kW]	2043,3	2043,3	2043,3	2043,3
	turbiny parowej	[kW]	-	712,1	666,4	712,1
	łącznie	[kW]	2043,3	2755,4	2709,7	2755,4
Moc wymienników ciepłowniczych		[kW]	4181	3358	3174	4140
Sprawność wytwarzania energii:	elektrycznej brutto	[%]	26,61	33,25	33,54	33,25
	elektrycznej netto	[%]	26,27	32,93	33,22	32,91
	cieplnej	[%]	54,46	40,51	39,29	49,96
Sprawność energetyczna		[%]	80,73	73,44	72,51	82,87

4. WNIOSKI

W artykule przedstawiono koncepcję modelownia układów kogeneracyjnych zintegrowanych ze zgazowaniem biomasy. Zamodelowany układ elektrociepłowni gazowej pracującej w obiegu prostym charakteryzuje się sprawnością wytwarzania energii elektrycznej na poziomie 26,3%, sprawnością wytwarzania ciepła 54,5% i sprawnością całkowitą na poziomie 80,7%. W układach większej mocy opłacalnym ekonomicznie może okazać się zastosowanie układów kombinowanych gazowo-parowych w których energia elektryczna wytwarzana jest zarówno w obiegu turbiny gazowej jak i generatorze turbozespołu parowego. Efektem tego jest znacznie wyższa sprawność wytwarzania energii elektrycznej (ok 33%) niż w układzie elektrociepłowni z turbiną gazową pracującą w obiegu prostym. Zastosowanie dodatkowej chłodnicy gazu w układzie z rysunku 3 powoduje wzrost sprawności wytwarzania energii elektrycznej o 0,29 punktu procentowego, jednocześnie powodując spadek sprawności wytwarzania ciepła o 1,22 punktu procentowego i sprawność energetyczną o 0,93 punktu procentowego. Najwyższą sprawnością energetyczną, wynoszącą 82,87% przy stosunkowo wysokiej sprawności wytwarzania energii (33,25%) elektrycznej charakteryzuje się układ zaprezentowany na rysunku 4.

LITERATURA

[1] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. „Prawo energetyczne", Dz. U. 1997 Nr 54, poz. 348.
[2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej oraz zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii, Dz.U. 2008 nr 156 poz. 969.
[3] Cycle-Tempo 5.0 manual. TU Delft.
[4] Spilling – katalog producenta silników parowych.
[5] http://www.spilling.de/.

MODELLING OF GAS AND GAS-STEAM HEAT AND POWER PLANT SYSTEMS INTEGRATED WITH GASIFICATION OF BIOMASS

In this article there has been presented the way of modelling gas and gas-steam heat and power plant system integrated with installation of gasification of biomass. Using the modelled system the simulative researches have been conducted which showed the influence of changes in work parameters of gasification of installation on energetic effectiveness indicators such as: efficiency of producing electric energy, efficiency of producing heat and general efficiency.