

PARAMETRY RUCHOWE BIOMASOWEJ ELEKTROCIĘPŁOWNI ORC MAŁEJ MOCY

Grzegorz BŁAJSZCZAK¹, Iwona GAWEL²

Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości Sp. z o. o. – koordynator Polish Wood Cluster, Żory, ul. Boczna 12

1. tel.: 327242575; e-mail: grzegorz.blajszczak@polish-wood-cluster.pl,

2. tel.: 327242575; iwona.gawel@polish-wood-cluster.pl

Streszczenie: Artykuł opisuje elektrociepłownię o mocy elektrycznej do 750 kW i mocy cieplnej 3,4 MW uruchomioną w Żorach przez prywatnego inwestora w lutym 2015 roku. Zastosowanie w niej obiegu ORC (ang. *Organic Rankine Cycle*) umożliwia pracę turbiny przy niższej temperaturze czynnika cieplnego (oleju termalnego), dzięki czemu przemiana energii jest lepiej dostosowana do spalania biomasy. Ponadto zastosowano innowacyjne rozwiązanie polegające na skierowaniu oleju termalnego za turbiną do odbiornika ciepła (suszarni) zamiast, jak w tradycyjnych rozwiązaniach, do chłodnicy. Takie rozwiązanie znacznie poprawia ogólną sprawność elektrociepłowni, ale ma również wpływ na możliwości regulacji wytwarzanej mocy elektrycznej. Artykuł zawiera również doświadczenia z etapu projektowania i budowy elektrociepłowni.

Słowa kluczowe: elektrociepłownia, biomasa, ORC, optymalizacja

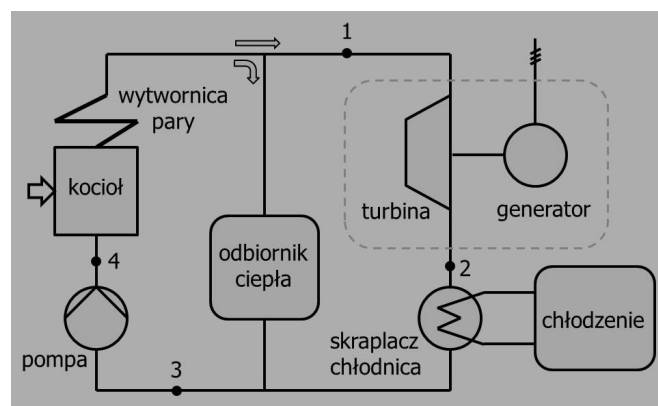
1. WYBÓR BIOMASY JAKO PALIWA DO GENERACJI CIEPŁA I ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Biomasa (w szczególności pochodzenia leśnego) jest tradycyjnym paliwem wykorzystywanym od początku ludzkiej aktywności. Obecnie ponad milion domów w Polsce jest ogrzewanych biomasą. Polityka Unii Europejskiej, nakazująca zwiększenie udziału źródeł odnawialnych w wytwarzaniu energii, sprzyja również wykorzystywaniu biomasy. Strategiczne kierunki rozwoju energetyki odnawialnej w Europie sytuują źródła słoneczne w południowej Europie, źródła wiatrowe w północno-zachodniej Europie i źródła biomasowe w północno-wschodniej Europie. Ze względu na sprzyjające regulacje prawne i stosunkowo niskie koszty inwestycyjne można oczekiwać w najbliższych latach budowy wielu biomasowych elektrociepłowni małej i średniej mocy oraz modernizacji i rozwoju biomasowych mikroźródeł energii cieplnej. Powstawanie takich źródeł z pewnością zwiększy zapotrzebowanie na brykiety i pellety. Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości Sp. z o.o. (będąca firmą prywatną) zajmuje się między innymi produkcją brykietów i pelletów.



Rys. 1. Biomasowa elektrociepłownia z linią produkcji brykietów i pelletów w Żorach

Taka produkcja wymaga energii elektrycznej i cieplnej, która mogłaby być zakupywana z sieci publicznych. Planując uruchomienie nowej linii wytwarzania brykietów i pelletów podjęto decyzję o budowie własnego źródła, które zapewni zarówno niezbędną energię cieplną jak i elektryczną – elektrociepłowni na biomasę. Decyzja ta była oparta na analizie ekonomicznej. Jednocześnie powstające brykiety i pellety będą w pełni ekologiczne - przy ich produkcji będzie używana wyłącznie energia ze źródła odnawialnego.



Rys. 2. Obieg Rankine'a realizowany w elektrociepłowni biomasowej

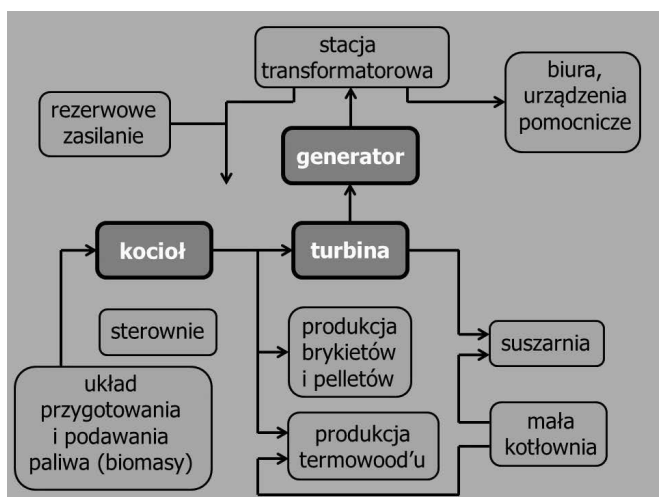
2. ZALETY OBIEGU RANKINA PRZY KONWERSJI ENERGII CIEPLNEJ W ELEKTRYCZNA

Obiegi stosowane w elektrowniach parowych opierają się na teoretycznym obiegu Carnota, który zapewnia największą sprawność przemiany energii cieplnej w mechaniczną dla określonych temperatur górnego i dolnego źródła ciepła [7]. Obieg Carnota wykazuje pewne wady [1], dlatego też został zastąpiony obiegiem Clausiusa-Rankine'a zwane często w uproszczeniu, obiegiem Rankine'a. W elektrowniach opalanych węglem czynnikiem roboczym w obiegu Rankine'a jest woda. W elektrowniach opalanych biomasą, ze względu na niższe temperatury osiągane w kotle, czynnikiem roboczym jest najczęściej olej termalny (o znacznie niższej temperaturze wrzenia niż woda). Układy te nazywane są w literaturze technicznej ORC, z angielskiego Organic Rankine Cycle. W uproszczeniu realizowany obieg Rankine'a składa się izentropowego (adiabatywnego) rozprężania pary czynnika roboczego w turbinie (punkty 1–2 na rys. 2) izobarycznego skroplenia rozprężonej pary i odprowadzenia

ciepła (punkty 2–3), izochorycznego pompowania kondensatu przez pompę (punkty 3–4) oraz izobarycznego podgrzewania ciekłego czynnika roboczego w kotle i jego odparowania w wytwornicy pary (punkty 4–1). W rzeczywistym układzie rozprężanie adiabatyczne przebiega nieodwracalnie (nieizentropowo), a podczas przepływu przez wymienniki ciepła następuje strata ciśnienia.

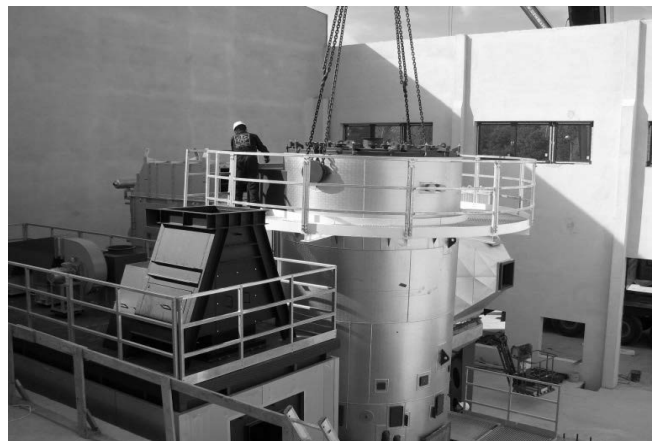
3. BUDOWA ELEKTROCIĘPŁOWNI BIOMASOWEJ

Konstrukcja i obwody elektrociepłowni są zintegrowane z liniami produkcyjnymi. W przedsiębiorstwie realizowane jest wytwarzanie brykietów i pelletów oraz przygotowywane jest uruchomienie wytwarzania termowood'u (drewna, które dzięki odpowiedniej obróbce cieplnej uzyskuje własności pewnych gatunków drewna tropikalnego np. jest odporne na wilgoć). Ważniejsze procesy technologiczne pokazano na rysunku 3. Podstawowym źródłem energii jest kocioł opalany biomasą firmy VAS o mocy 3,4 MW. Część energii cieplnej powstałej w kotle kierowana jest do odbiorników ciepła (jak to pokazano na rys. 2). Tymi odbiornikami są: linia do produkcji brykietów i pelletów oraz linia termowood'u. Z kotła pobierana jest ilość ciepła wymagana dla normalnej pracy tych instalacji. Pozostała część energii cieplnej jest kierowana do turbiny z generatorem.



Rys. 3. Procesy technologiczne elektrociepłowni i linii produkcyjnych

Czynnik roboczy (olej termalny) po przejściu przez turbinę kierowany jest do skraplacza (rys. 2), który w standardowych instalacjach pracuje z chłodziwą oddającą ciepło do otoczenia. Aby nie tracić tej energii cieplnej, w tym miejscu podłączono kolejny odbiornik (suszarnie) pełniący rolę chłodziwy (rysunek 3). Generator podłączony jest do stacji transformatorowej średniego napięcia. Z tej stacji zasilane są wszystkie elektryczne urządzenia łącznie z urządzeniami linii produkcyjnych. Zainstalowane jest również zasilanie rezerwowe dla obwodów wymagających ciągłości zasilania. Nadmiar energii elektrycznej oddawany jest do sieci krajowej. Przy większym zapotrzebowaniu na energię cieplną spada generacja energii elektrycznej i wówczas energia elektryczna może być pobierana z sieci. W systemie pracuje również mała kotłownia (istniejąca przed budową elektrociepłowni) wspomagająca niektóre procesy. Pierwsze prace budowlane rozpoczęto w połowie 2014 roku.

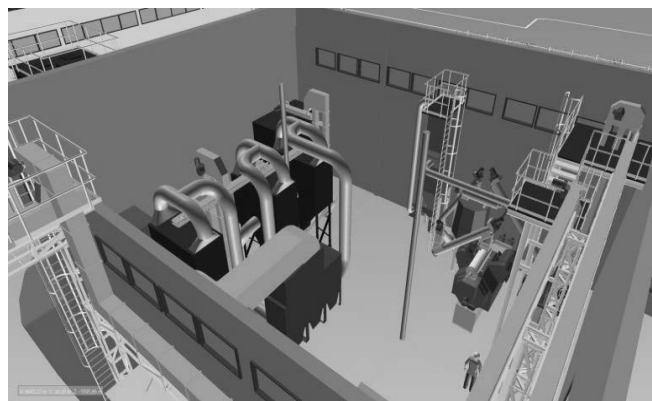


Rys. 4. Montaż podgrzewacza oleju VAS



Rys. 5. Elektrofiltr

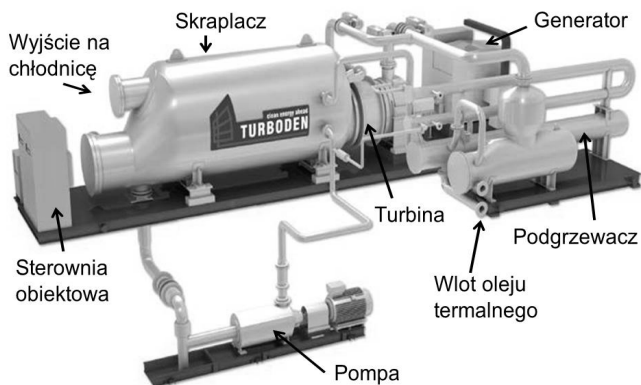
Prace wykonywane były w oparciu o własną załogę i firmy krajowe. Główne elementy elektrociepłowni ORC zostały zakupione u wiodących i sprawdzonych producentów zagranicznych. Duże gabaryty i duży ciężar podzespołów stanowiły poważne wyzwania zarówno dla firm transportowych jak i ekip montażowych. Ustawianie elementów musiało być skoordynowane z pracami budowlanymi. Staranny i dopracowany projekt pozwolił na funkcjonalne ustawienie wszystkich urządzeń na stosunkowo małej powierzchni, przy zachowaniu wymaganych przepisów i norm. Duże gabaryty ustawionych obok siebie urządzeń oraz przykrycie hali dachem w zasadzie nie dają możliwości pokazania linii produkcyjnych na zdjęciach. Na rysunku 6 pokazano wizualizację projektową linii wytwarzania brykietu i pelletów.



Rys. 6. Wizualizacja hali produkcji brykietu i pelletu

4. PRACA GENERATORA ORC W UKŁADZIE ELEKTROCIĘPŁOWNI

Ze względu na parametry procesowe osiągnięte przy spalaniu biomasy wybrano turbogenerator ORC. Opis podstawowych elementów turbogeneratorsa podano na rys. 7, a widok zainstalowanego w Żorach turbogeneratorsa na rys. 8.



Rys. 7. Elementy turbogeneratorsa ORC



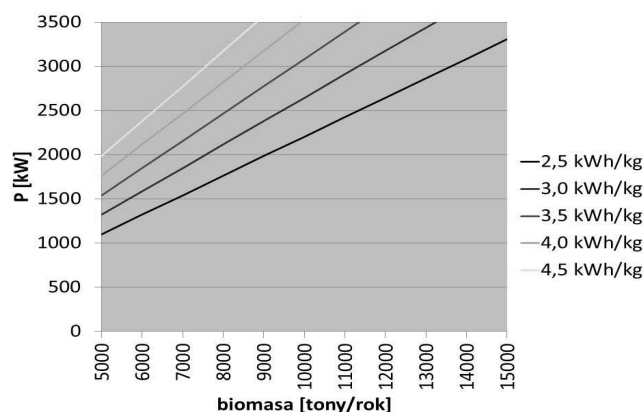
Rys. 8. Zdjęcie ustawionego w elektrociepłowni Żory turbogeneratorsa ORC

Przy dostarczanej z kotła mocy cieplnej 3 MW, temperatura oleju termalnego na wejściu do turbiny ma ok. 310°C, a na wyjściu ok. 250°C. Odbieranie ciepła w skraplaczu odbywa się za pośrednictwem wody, która na wyjściu ma ok. 80°C, a na wejściu ok. 60°C. W tych warunkach moc elektryczna wytwarzana w generatorze wynosi ok. 620 kW. Temperatura „górną” wody chłodzącej, wychodzącej ze skraplacza, może zmieniać się w granicach od 50 do 110°C (do przegrzanej pary), a temperatura „dolną” powracającej wody chłodzącej, wchodzącej do skraplacza, może zawierać się w granicach od 40 do 100°C. Na rysunkach 9, 10 i 11 pokazano odpowiednio: całkowitą moc cieplną wytworzoną w kotle, odbieraną moc cieplną i moc elektryczną generatora (netto) w funkcji strumienia spalanej biomasy. Ilość biomasy przeliczono na wartość spalaną w ciągu roku (przy założeniu pracy przez 8000 godzin). Wykresy wykonano dla różnych wartości opałowych biomasy, przy czym:

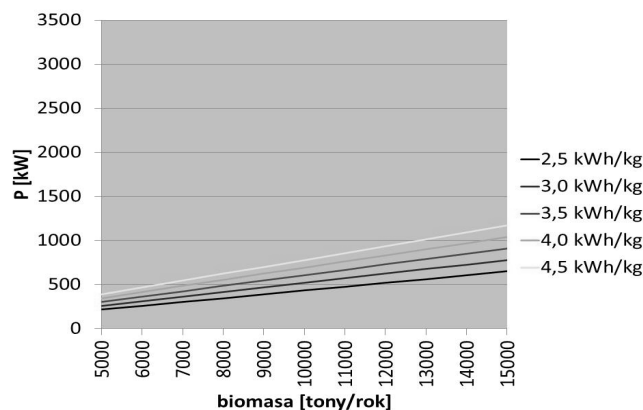
kWh/kg	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
MJ/kg	9,0	10,8	12,6	14,4	16,2



Rys. 9. Osiągana moc cieplna kotła w funkcji ilości spalanej biomasy (dla różnych wartości opałowych)



Rys. 10. Odbierana moc cieplna w funkcji ilości spalanej biomasy (dla różnych wartości opałowych)

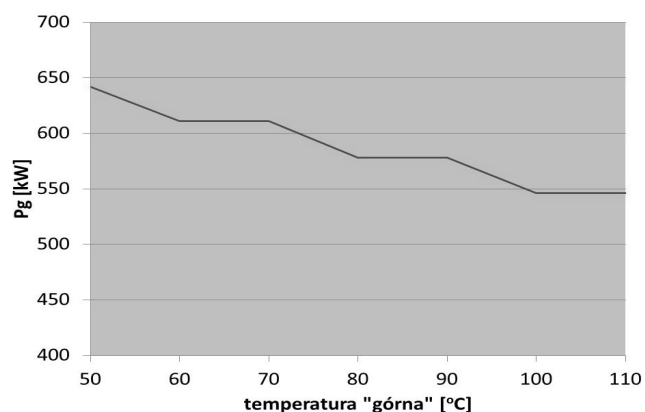


Rys. 11. Moc elektryczna generatora (netto) w funkcji ilości spalanej biomasy (dla różnych wartości opałowych)

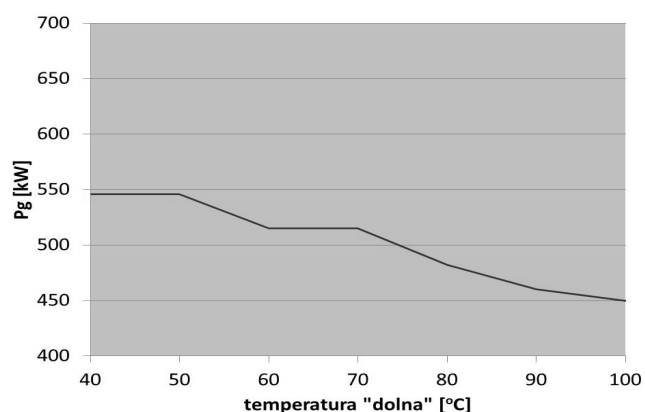
5. WPLYW ODBIORU ENERGII CIEPLNEJ NA WYTWARZANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Przekazanie do odbiorników części energii cieplnej wytworzonej w kotle powoduje obniżenie parametrów czynnika roboczego, co zmniejsza moc turbiny i moc elektryczną wytwarzaną w generatorze. Obwód chłodzenia skraplacza w standardowych konfiguracjach pracuje przy maksymalnych parametrach, optymalnych dla danego procesu. W tradycyjnych instalacjach woda chłodząca skraplacz oddaje ciepło do otoczenia, co stanowi stratę energii. W rozwiązaniu zastosowanym w Żorach woda chłodząca skraplacz ma obniżoną temperaturę w kolejnym odbiorniku ciepła. Ponieważ odbiornik ciepła (suszarnia) ma określone wymagania względem zasilania go w energię cieplną i również ma

zmienne parametry, odbiór ciepła ze skraplacza na ogół jest nieoptymalny z punktu widzenia pracy generatora. Odbiór ciepła w każdym przypadku ustala moc elektryczną generatora. Na rysunkach 12 i 13 pokazano zmienność wytwarzanej mocy elektrycznej (netto) w zależności od temperatury wody chłodzącej (dla strumienia biomasy 9000 ton rocznie i wartości opałowej 3,5 kWh/kg). Zmiany mocy w funkcji temperatury „górnej” wyznaczono przy ustalonej temperaturze „dolnej” wynoszącej 40°C, a zmiany mocy w funkcji temperatury „dolnej” wyznaczono przy ustalonej temperaturze „górnej” wynoszącej 110°C.



Rys. 12. Zmiana mocy elektrycznej generatora w zależności od temperatury „górnej” wody chłodzącej



Rys. 13. Zmiana mocy elektrycznej generatora w zależności od temperatury „dolnej” wody chłodzącej.

6. WNIOSKI

Zastosowanie technologii opartej na ORC pozwala na efektywne odbieranie energii cieplnej pochodzącej z biomasy (bez współspalania). Zastosowanie oleju termalnego jako czynnika roboczego i praca w niższych temperaturach (w porównaniu do instalacji z wodą) sprzyja wydłużeniu pracy turbiny. Podłączenie odbiornika ciepła, zamiast tradycyjnej chłodnicy, znacznie poprawia sprawność energetyczną i przekłada się bezpośrednio na oszczędności finansowe. Odbiór ciepła ma stosunkowo niewielki wpływ na moc generatora, który jednakże w tej konfiguracji nie jest źródłem o regulowanej mocy.

7. BIBLIOGRAFIA

- Lewandowski W. M., Ryms M., Kołola R., Kubski P., Klugmann-Radziemska E., Ostrowski P., Poprawa sprawności układów ORC i systemów trigeneracyjnych poprzez zastosowanie różnych termodynamicznych wariantów ich działania, *Nafta-Gaz*, Rok LXVI, wrzesień 2010, str. 794-799
- Duvia A., Guercio A., Rossi di Schio C., Technical and economic aspects of Biomass fuelled CHP plants based on ORC turbogenerators feeding existing district heating networks, 2012, www.turboden...
- Bini R., Di Prima M., Guercio A., Organic rankine cycle (orc) in biomass plants: an overview on different applications, 2012, www.turboden...
- Niedziółka I., Zuchniarz A., Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego, *MOTROL*, 2006, 8A, str. 232-237
- Stolarski M., Krzyżaniak M., Wartość opałowa i skład elementarny biomasy wierzby produkowanej systemem eko-salix, *Fragm. Agron.* 28(4) 2011, str. 86-95
- Strzałka R., Ulbrich R., Eicker U., Propozycja modelu procesu spalania biomasy w kotle rusztowy, *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, Nr 1/2010, str. 1-2
- Laudyn D., Pawlik M., Strzelczyk F., *Elektrownie*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995

EXPLOITATION PARAMETERS OF ORC BIOMASS COGENERATION PLANT

The paper describes cogeneration plan of 750 kW electric power and 3,4 MW heat power, that has been started in Zory (Poland), by private enterprise in February 2014. The application of the ORC – Organic Rankine Cycle allows operation of turbine at lower temperature of the working fluid (thermal oil), what leads to better adaptation to the energy conversion at biomass combustion. Furthermore, in this power plant a new solution of the thermal oil cooling has been applied. Instead of directing the working fluid (oil) from turbine to a cooler, it is directed to another heat consumer (drying oven). This solution improve considerably the overall efficiency of the power plant, however it also influence the control of electrical energy generation. Due to excellent fitting to Polish economic conditions and support of the European Union, as well as relatively low investment costs, we can expect that quite a number of similar cogeneration plants will be soon built in Poland. Some characteristics of the power plant operation are presented in the paper. The operation showed out that due to the economical optimization, the generation of electrical energy may depend on the actual heat consumption (it can even drop below zero).

Keywords: cogeneration, ORC, biomass, optimization