

Operational Parameters of Low Power ORC Biomass Plant

Authors

Grzegorz Błajszczak
Iwona Gawęł

Keywords

CHP power plant, biomass, ORC, optimization, construction

Abstract

This paper describes a power plant with electrical/thermal capacity of 750 kW/3.4 MW launched in February 2015 by a private investor in Żory, Poland. The ORC Organic Rankine Cycle technology used there enables turbine operation at a lower temperature of the heat medium (thermal oil), so the energy transformation is better suited for biomass combustion. In addition, an innovative solution has been applied, consisting in directing the thermal oil downstream of the turbine to a heat receiver (dryer), instead of a cooling tower, as in traditional solutions. Such a solution significantly improves the CHP plant's overall efficiency, but it also affects its electric output adjustability. The paper also reports the experience from the plant design and construction phases.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2016303

Choice of biomass as a fuel for heat and electricity generation

Biomass (of forest origin in particular) is a traditional fuel used since the beginning of human activity. Currently, more than one million homes in Poland are heated with biomass. The European Union policy requiring an increase in the share of renewables in energy production, promotes the use of biomass. The strategic development directions of renewable energy in Europe point out to solar sources in the southern Europe, wind sources in the north-western Europe, and biomass sources in the north-eastern Europe. Due to favourable regulations and relatively low capital expenditures in the coming years the construction of many small and medium capacity biomass power plants and the modernization and development of biomass heat micro-sources can be expected. The development of such sources will certainly increase

the demand for briquettes and pellets. Briquette and pellet production is a business of Agency for Enterprise Development sp. z o.o (a private company). Such production requires electricity and heat, which could be purchased from public grids. When planning the launch of a new briquette and pellet production line it was decided to build a source of its own, which will provide the necessary heat and electricity – a biomass-fired CHP plant. This decision was based on economic analysis. At the same time the briquette and pellet production will be fully environment-friendly, since it will be energised from a renewable source only.

Advantages of the Rankine cycle in converting heat into electricity

Biomass fired power plant is a classic power plant with a three-stage process of energy conversion. When biomass is combusted,



Fig. 1. The biomass-fired power plant with briquette and pellet production line in Żory

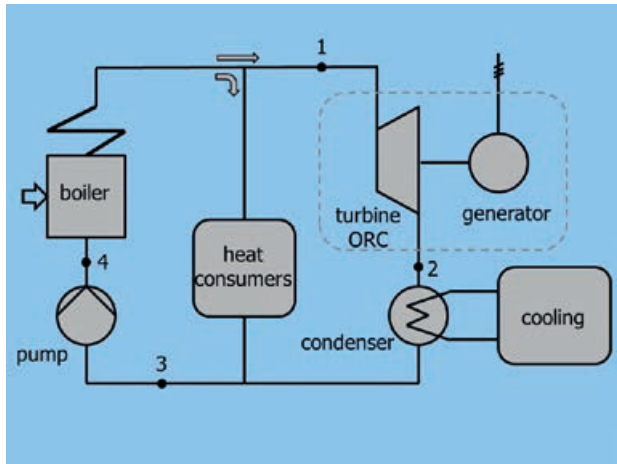


Fig. 2. Rankine cycle implementation in biomass-fired CHP plant

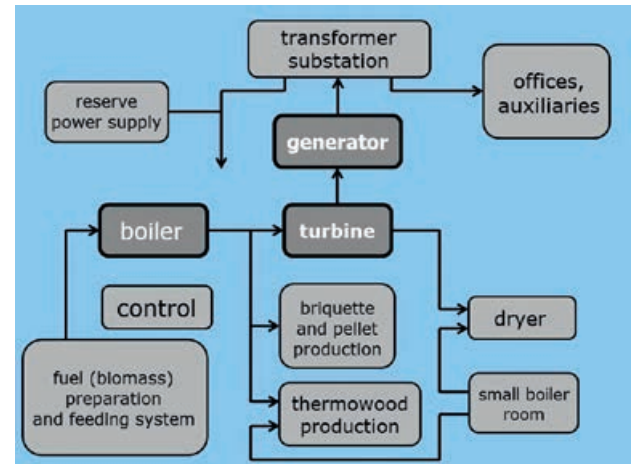


Fig. 3. Production processes in the CHP plant and production lines

its chemical energy converts to the heat transferred to the operating medium. Then, owing to the work carried out by the medium in the heat engine (turbine) according to the thermodynamic cycle, the heat is converted into mechanical energy. The mechanical energy is converted into electricity in the generator. The cycles in steam power and CHP plants are based on the theoretical Carnot cycle, which provides the highest efficiency of the heat to mechanical energy conversion at specific temperatures of the upper and lower heat sources [7]. The Carnot cycle has certain disadvantages. Its practical implementation encounters difficulties in transferring condensation heat from the saturated steam, and then raising the pressure of the resulting wet steam, which is still substantially moisture [1]. In the Carnot cycle implementation there is also the risk of water hammer during wet steam compression in the piston machine, as well as extensive erosion of the rotating machine blades. Design requirements increase the costs of the technical implementation of saturated wet steam compression. Cooling to saturated liquid in the saturated steam condenser requires maintaining compression at the heat supply temperature, which in turn requires very high pressures. Therefore, the adiabatic liquid compression is abandoned in the whole range of temperature variation between its upper and lower levels. The condensate liquid is compressed with a pump only to the pressure equal to the saturation pressure on the upper isotherm. Consideration of these difficulties in assessment of steam power plant design options influenced the decision to replace Carnot cycle with Clausius-Rankine (C-R) cycle, often called simply the Rankine cycle.

In coal-fired power plants the working fluid in the Rankine cycle is water. In biomass-fired power plants, due to the lower temperatures in the boiler, the typical working fluid is thermal oil (with much lower boiling point than water). These systems are known in the technical literature ORC Organic Rankine Cycle. In a simplified way the Rankine cycle implementation consists of isentropic (adiabatic) expansion of the working fluid vapour in turbine (points 1–2 in Fig. 2), isobaric condensation of the expanded vapour and heat dissipation (points 2–3), isochoric pumping

of the condensate by pump (3 points –4) and isobaric heating of the liquid working medium in boiler, and its evaporation in steam generator (points 4–1). In real circuit the (adiabatic) expansion is irreversible (non-isentropic), and in the flow through heat exchangers the pressure drops.

Construction of the biomass-fired CHP plant in Zory

The design and circuits of the CHP plant are integrated with production lines. The company produces briquettes and pellets, and prepares for the production of termowood (a heat-treated wood, that obtains certain tropical wood's properties, e.g. resistance to moisture). Important production processes are shown in Fig. 3. The primary source of energy is a 3.4 MW VAS biomass-fired boiler. Part of the heat generated in the boiler is directed to heat receivers (as shown in Fig. 2). These receivers are: the briquette and pellet production line and the termowood line. The heat taken from the boiler covers the demand of the lines' normal operation. The remainder of the heat is directed to the turbine generator set.

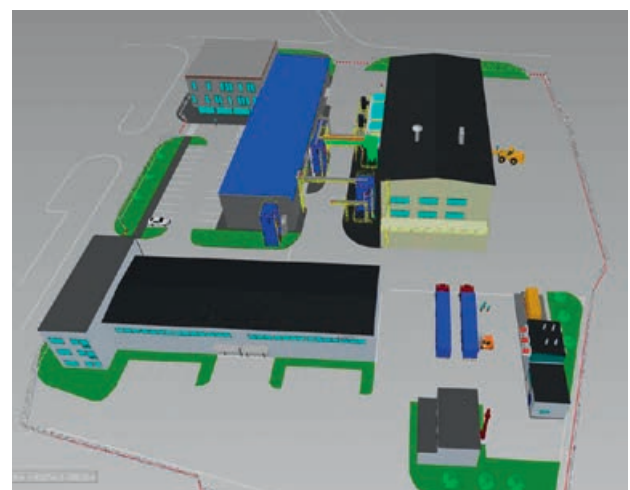


Fig. 4. Layout of the halls and production processes

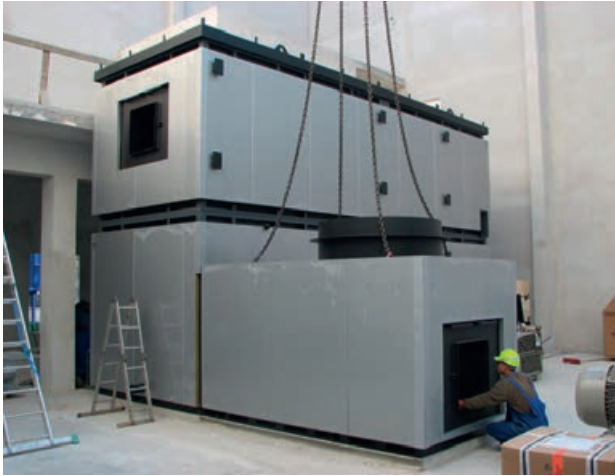


Fig. 5. Hearth installation

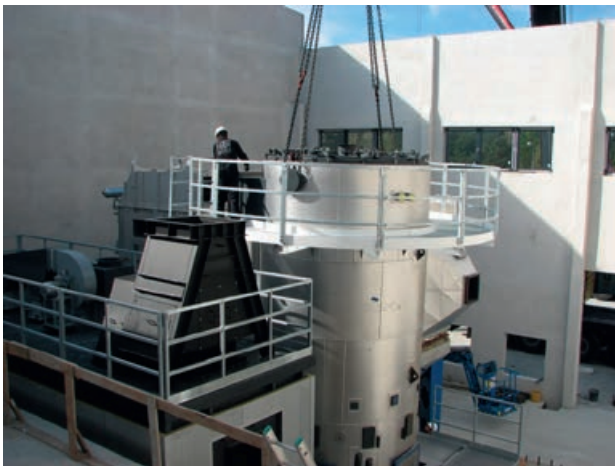


Fig. 6. VAS oil heater installation



Fig. 7. Electrostatic filter

The working medium (thermal oil) after passing through turbine is directed to condenser (Fig. 2), which in standard systems cooperates with radiator that dissipates the heat. In order not to lose the heat, yet another receiver (drying) is connected there that acts as radiator (Fig. 3). The generator is connected to MV

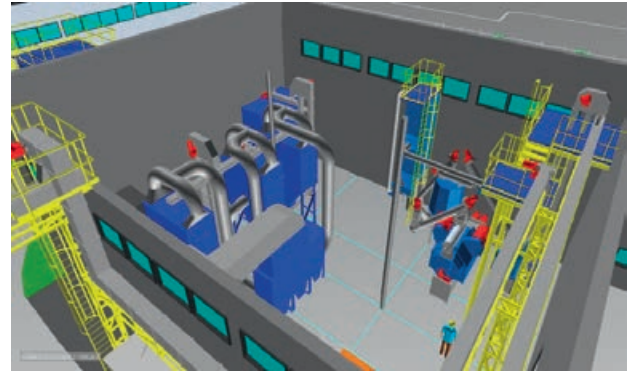


Fig. 8. Graphic rendering of the briquette and pellet production hall

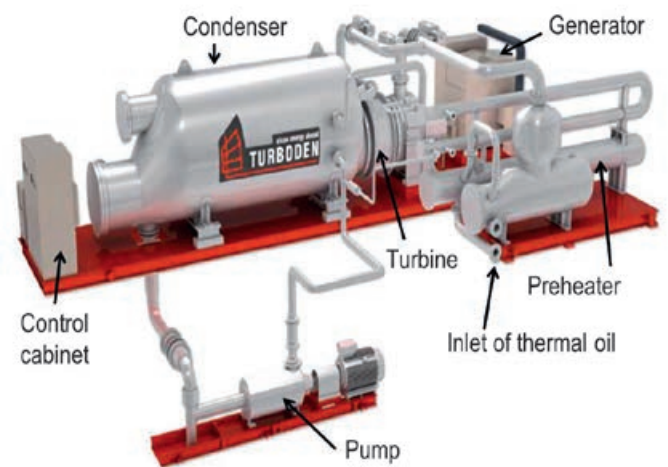


Fig. 9. ORC turbine generator set components



Fig. 10. The ORC set installed in the Żory plant

transformer substation. The substation supplies all electrical loads including the production lines. Power supply of circuits requiring continuous supply is backed up with reserve power supply. Surplus electricity is output to the national grid. With increased demand for heat the electricity output decreases, and

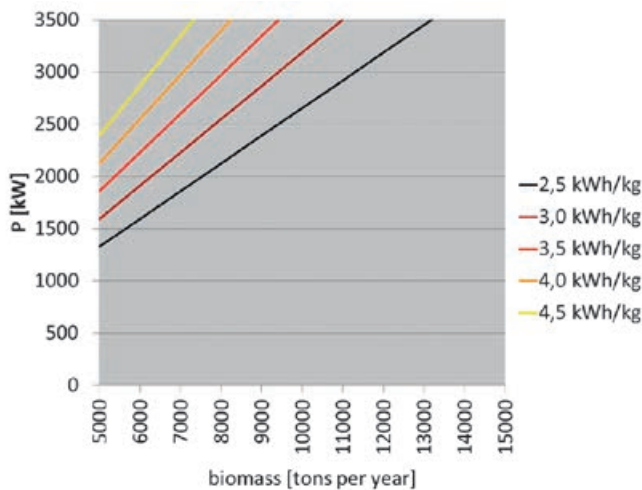


Fig. 11. Boiler heat output as a function of biomass consumption (for various calorific values)

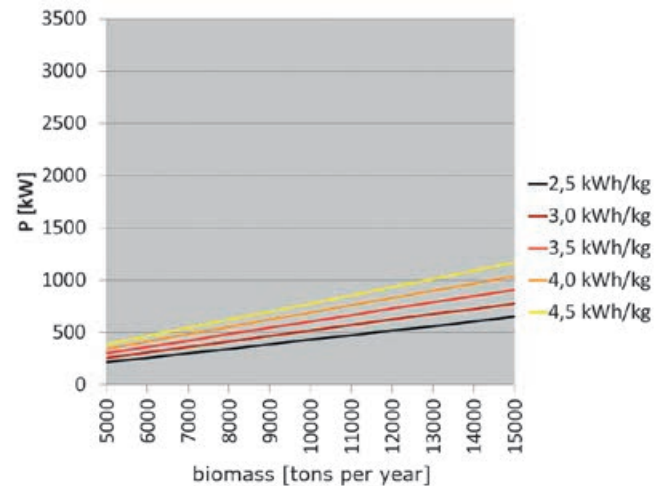


Fig. 13. Generator (net) power output as a function of biomass consumption (for various calorific values)

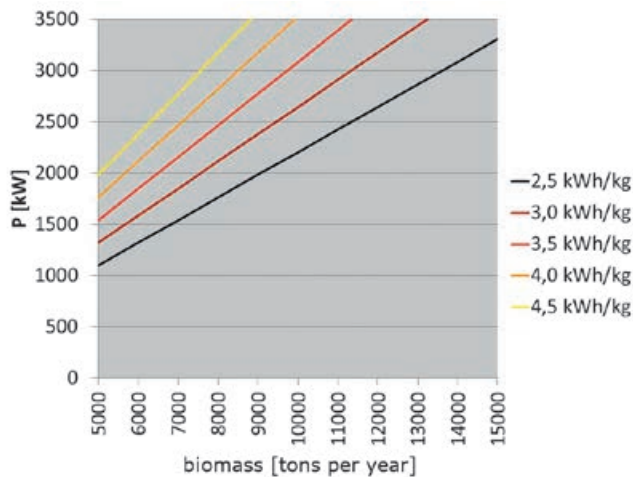


Fig. 12. Heat transfer to receivers as a function of biomass consumption (for various calorific values)

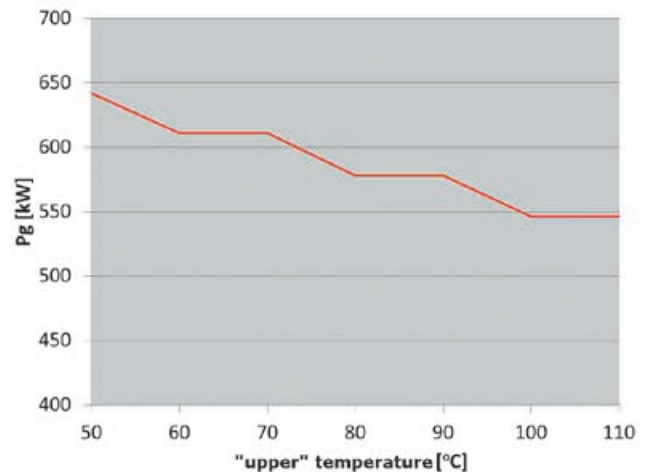


Fig. 14. Generator output power as a function of the "upper" cooling water temperature ($T_d = 40^\circ\text{C}$)

then the plant may intake electricity from the grid. There is also a small boiler room IN the system (which has existed prior to the power plant construction) that supports certain processes.

The construction work began in mid-2014. The works were preformed in-house and by domestic contractors. The ORC plant's main components were purchased from leading and proven foreign manufacturers.

Component's large sizes and heavy weights presented a serious challenge for the transport companies and assembly teams alike. Components' setting had to be coordinated with construction works.

The carefully elaborated design allowed the functionally optimal setting of all equipment in a relatively small area, in compliance with applicable standards and regulations. Because of large sizes of the equipment units set next to each other and the hall's roof covering the production lines basically cannot be shown in pictures. Fig. 8 shows their graphic rendering.

ORC turbine generator set in the power plant system

Due to the process parameters of biomass combustion an ORC turbine generator set was selected. Its key elements are described in Fig. 9, and the set installed in the Żory plant is shown in Fig. 10. With 3 MW thermal power supplied from the boiler the thermal oil temperature at turbine inlet is approx. 310°C and at the output approx. 250°C . Heat is received in the condenser by water with temperature at output approx. 80°C , and at inlet approx. 60°C . Under these conditions the generator output power is approx. 620 kW. The „upper” temperature of cooling water exiting the condenser may vary between 50 and 110°C (to superheated steam) and the „lower” temperature of returning cooling water entering the condenser may be in the range from 40 to 100°C . Shown in Fig. 11, 12 and 13, respectively, are boiler's total heat output, receivers' heat input, and generator's (net) power output, as a function of biomass inflow. The amount of biomass was converted into yearly consumption (assuming 8000 hours of

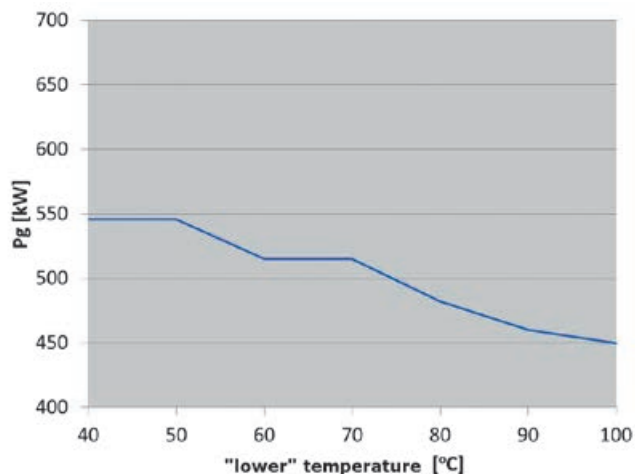


Fig. 15. Generator output power as a function of the "lower" cooling water temperature ($T_d = 110^\circ\text{C}$)

the plant's operation). The charts were drafted for the biomass' various different calorific values, wherein:

kWh/kg	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
MJ/kg	9.0	10.8	12.6	14.4	16.2

Heat transfer effect on power output

Transfer to receivers of a portion of the boiler heat output lowers the working medium parameters, which reduces the turbine, and consequently, generator outputs. The condenser cooling circuit in standard configurations operates at maximum performance, optimal for a given process. In conventional systems the condenser cooling water dissipates heat to the environment, which is a waste of energy. In the solution applied in the Żory plant the condenser cooling water temperature is lowered in the next heat receiver. Since the heat receiver (dryer) has specific requirements for its heat supply and also variable parameters, the heat transfer from the condenser it is generally not optimal from the point of view of the generator performance. In each case the heat transfer determines the generator output power. Shown in Fig. 14 and 15 is the generator (net) output variation depending on the cooling water temperature (at biomass consumption 9000 tonnes per year, and calorific value 3.5 kWh/kg). Output power variation as a function of the „upper” temperature was

determined at constant „lower” temperature 40°C , and the variation as a function of the „lower” temperature was determined at constant „upper” temperature 110°C .

Conclusions

The ORC-based technology application allows efficient output and use of heat from biomass (without co-firing). The use of thermal oil as working fluid and the operation at lower temperatures (as compared to water) contributes to extending the turbine's life. Outputting heat to a receiver instead of the conventional radiator significantly improves the energy efficiency and translates directly into cost savings. Such heat transfer has a relatively small effect on the generator output, which, however, that this configuration is not a source of controlled power.

REFERENCES

1. W.M. Lewandowski et al., Poprawa sprawności układów ORC i systemów trigeneracyjnych poprzez zastosowanie różnych termodynamicznych wariantów ich działania [Efficiency improvement of ORC and tri-generation systems through various thermodynamic options of their operation], Nafta-Gaz, Rok LXVI, Sept. 2010, pp. 794–799.
2. A. Duvia, A. Guercio, C. Rossi di Schio, Technical and economic aspects of Biomass fuelled CHP plants based on ORC turbogenerators feeding existing district heating networks, 2012, www.turboden.eu.
3. R. Bini, M. Di Prima, A. Guercio, Organic Rankine Cycle (orc) in biomass plants: an overview on different applications, 2012, www.turboden.eu.
4. I. Niedziółka, A. Zuchniarz, Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego [Energy analysis of selected types of plant biomass], MOTROL, 2006, 8A, pp. 232–237.
5. M. Stolarski, M. Krzyżaniak, Wartość opałowa i skład elementarny biomasy wierzby produkowanej systemem eko-salix [Calorific value and elemental composition of willow biomass produced by eco-salix system], Fragn. Agron. 28(4), 2011, pp. 86–95.
6. R. Strzałka, R. Ulbrich, U. Eicker, Propozycja modelu procesu spalania biomasy w kotle rusztowym [Proposal of a model of biomass combustion in a grate boiler], Inżynieria i Aparatura Chemiczna, No. 1/2010, pp. 1–2.
7. D. Laudyn, M. Pawlik, F. Strzelczyk, Elektrownie [Power plants], Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warsaw 1995.

Grzegorz Błajszczak

Agency for Enterprise Development sp. z o.o.

e-mail: grzegorz.blajszczak@polish-wood-cluster.pl

Previous experience: URE Energy Regulatory Office, The Polish Power Exchange, and Polskie Sieci Elektroenergetyczne.

Iwona Gawel

Agency for Enterprise Development sp. z o.o.

e-mail: iwona.gawel@polish-wood-cluster.pl

Owner of Agency for Enterprise Development sp. z o.o., coordinator of Polish Wood Cluster.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 23–27. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Parametry ruchowe biomasowej elektrociepłowni ORC małej mocy

Autorzy

Grzegorz Błajszczak
Iwona Gawęł

Słowa kluczowe

elektrociepłownia, biomasa, ORC, optymalizacja, budowa

Streszczenie

Artykuł opisuje elektrociepłownię o mocy elektrycznej do 750 kW i mocy cieplnej 3,4 MW, uruchomioną w lutym 2015 roku przez prywatnego inwestora w Żorach. 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.

Wybór biomasy jako paliwa do wytwarzania 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 m.in. produkcją brykietów i pelletów. Taka produkcja wymaga energii elektrycznej i cieplnej, która mogłaby być zakupowana 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 – elektrociepłownią 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.

Zalety obiegu Rankina przy konwersji energii cieplnej w elektryczną

Elektrociepłownia biomasowa jest klasyczną elektrociepłownią, w której proces przetwarzania energii jest trójstopniowy. Energia chemiczna biomasy zamienia się podczas jej spalania na energię cieplną, przekazywaną czynnikowi robocznemu. Następnie,

dzięki pracy wykonywanej przez czynnik w silniku cieplnym (turbinie) według obiegu termodynamicznego, energia cieplna jest zamieniana na energię mechaniczną. Energia mechaniczna przekształcana jest w energię elektryczną w generatorze. Obiegi stosowane w elektrowniach i elektrociepłowniach 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. Realizacja w praktyce napotyka trudności w odprowadzeniu ciepła skraplania od pary nasyconej, a następnie podniesienia ciśnienia powstałej pary mokrej o nadal znacznym stopniu nawilżenia [1]. Przy realizacji obiegu Carnota pojawia się również ryzyko uderzenia wodnego podczas sprężania pary mokrej w maszynie tłokowej, a także intensywna erozja łopatek maszyny wirnikowej. Wymagania konstrukcyjne podnoszą koszty realizacji technicznej sprężania pary mokrej nasyconej. Chłodzenie w skraplaczu pary nasyconej do osiągnięcia stanu cieczy nasyconej wymaga utrzymania sprężania w temperaturze, przy której następuje doprowadzenie ciepła, co z kolei wymaga osiągnięcia bardzo wysokich ciśnień. Dlatego też rezygnuje się z adiabatycznego sprężania cieczy w całym zakresie zmienności temperatury między jej dolnym

i górnym poziomem. Uzyskaną podczas skraplania ciecz spręża się za pomocą pompy jedynie do ciśnienia równego ciśnieniu nasycenia na górnej izotermie. Świadomość występowania owych trudności wymusiła przy ocenie siłowni parowych zastąpienie obiegu Carnota obiegiem Clausiusa-Rankine'a (obieg C-R), zwanego 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 osiągnięte w kotle, czynnikiem roboczym jest najczęściej olej termalny (o znacznie niższej temperaturze wrzenia niż woda). Układy te nazywane są w literaturze technicznej ORC (ang. *Organic Rankine Cycle*). W uproszczeniu realizowany obieg Rankine'a składa się z izentropowego (adiabatycznego) rozprężania pary czynnika roboczego w turbinie (punkty 1–2 na rys. 1), 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.



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

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 23–27. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Budowa elektrociepłowni biomasowej w Żorach

Konstrukcja i obwody elektrociepłowni są zintegrowane z liniami produkcyjnymi. W przedsiębiorstwie realizowane jest wytwarzanie brykietów i pelletów oraz przygotowywane jest uruchomienie wytwarzania termowoodu (drewna, które dzięki odpowiedniej obróbce cieplnej uzyskuje właściwości pewnych gatunków drewna tropikalnego, np. jest odporne na wilgoć). Ważniejsze procesy technologiczne pokazano na rys. 2. 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 (rys. 1). Tymi odbiornikami są: linia do produkcji brykietów i pelletów oraz linia termowoodu. Z kotła pobierana jest ilość ciepła wymagana dla normalnej pracy tych instalacji. Pozostała część energii cieplnej jest kierowana do turbiny z generatorem.

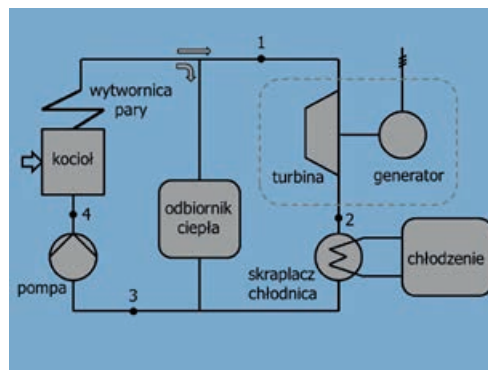
Czynnik roboczy (olej termalny) po przejściu przez turbinę kierowany jest do skraplacza (rys. 1), który w standardowych instalacjach pracuje z chłodnicą oddającą ciepło do otoczenia. Aby nie tracić tej energii cieplnej, w tym miejscu podłączono kolejny odbiornik (suszarnie) pełniący rolę chłodnicy (rys. 2). 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. Działania realizowały własna załoga i firmy krajowe. Główne elementy elektrociepłowni ORC zostały zakupione u wiodących i sprawdzonych producentów zagranicznych.

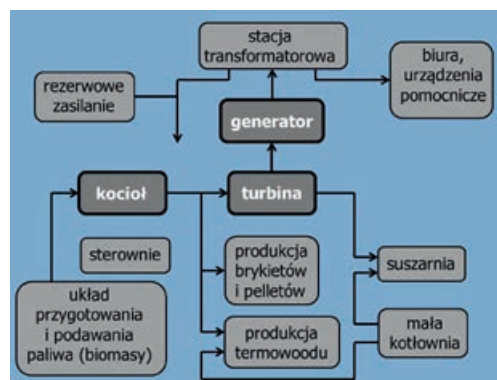
Duże gabaryty i duży ciężar podzespołów stanowiły poważne wyzwania zarówno dla firm transportowych, jak i ekip montażowych. Ustawianie elementów musiało być skoordynowane z pracami budowlanymi. Staranny i dopracowany projekt pozwolił na funkcjonalne ustawienie wszystkich urządzeń na stosunkowo małej 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 rys. 4 przedstawiono wizualizację projektową linii wytwarzania brykietu i pelletów.

Praca turbogeneratorsa ORC w układzie elektrociepłowni

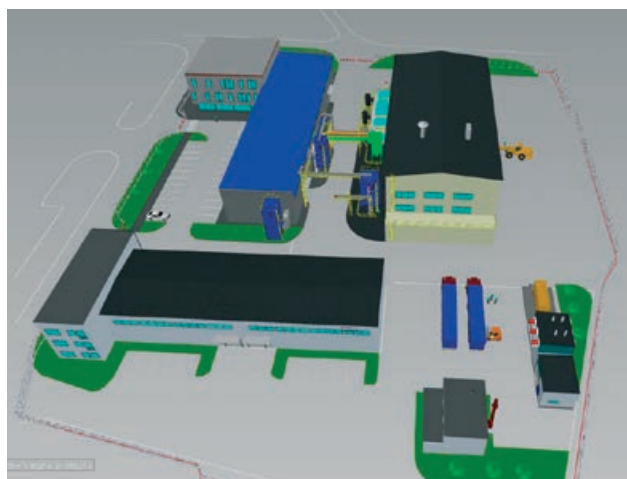
Ze względu na parametry procesowe osiągame przy spalaniu biomasy wybrano turbogenerator ORC. Opis podstawowych elementów turbogeneratorsa podano na rys. 5, a widok zainstalowanego w Żorach turbogeneratorsa na fot. 5.



Rys. 1. Obieg Rankina realizowany w elektrociepłowni biomasowej



Rys. 2. Procesy technologiczne elektrociepłowni i linii produkcyjnych



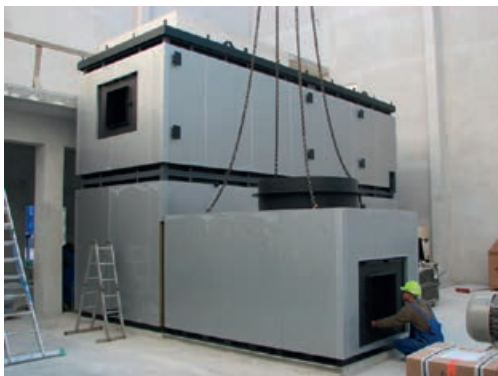
Rys. 3. Położenie hal i procesów technologicznych

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

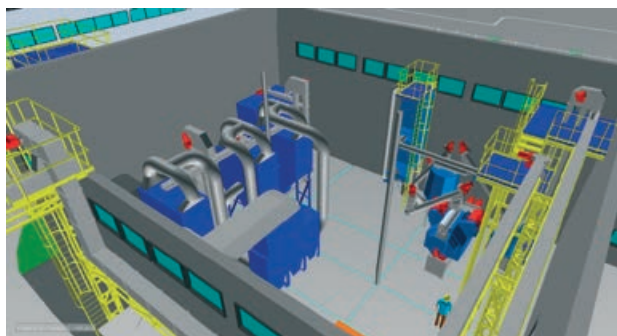
górna wody chłodzącej wychodzącej ze skraplacza, może zmieniać się w granicach 50–110°C (do przegrzanej pary), a temperatura dolna powracającej wody chłodzącej wchodzącej do skraplacza, może zawierać się w granicach 40–100°C. Na rys. 6–8 przedstawiono odpowiednio: całkowitą moc cieplną wytworzoną w kotle, odbieraną moc cieplną i moc elektryczną

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 23–27. When referring to the article please refer to the original text.

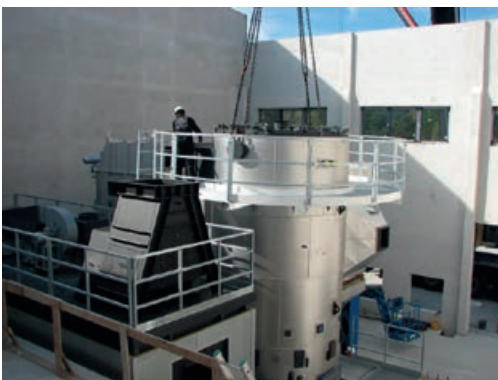
PL



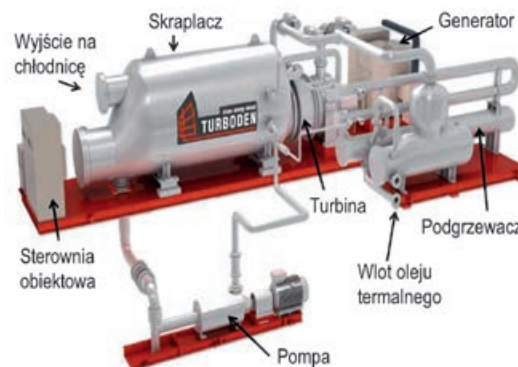
Fot. 2. Montaż paleniska



Rys.4. Wizualizacja hali produkcji brykietu i pelletu



Fot. 3. Montaż podgrzewacza oleju VAS



Rys. 5. Elementy turbogenerатора ORC



Fot. 4. Elektrofiltr



Fot. 5. Turbogenerator ORC ustawiony w elektrociepłowni w Żorach

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:

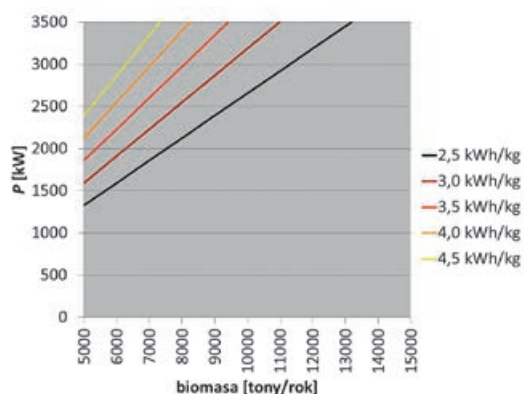
kWh/kg	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
MJ/kg	9,0	10,8	12,6	14,4	16,2

Wpływ 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.

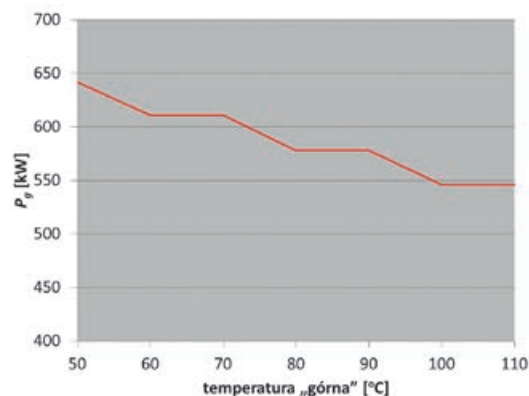
W rozwiązaniu zastosowanym w Żorach woda chłodząca skraplacz ma obniżoną temperaturę w kolejnym odbiorniku ciepła. Ponieważ odbiornik ciepła (suszarnia) ma określone wymagania względem zasilania go w energię cieplną i również ma zmienne parametry, odbiór ciepła ze skraplacza na ogół jest nieoptymalny z punktu widzenia pracy generatora. Odbiór ciepła w każdym przypadku ustala moc elektryczną generatora. Na rys. 9 i 10 pokazano zmienność wytwarzanej mocy elektrycznej (netto) w zależności od temperatury wody

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 23–27. When referring to the article please refer to the original text.

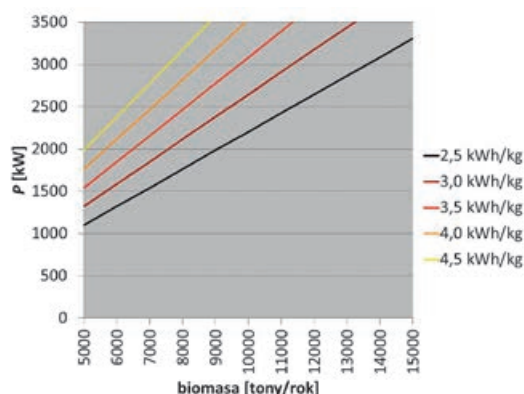
PL



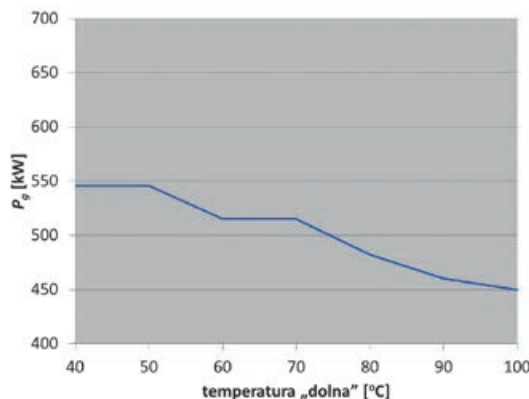
Rys. 6. Osiągana moc cieplna kotła w funkcji ilości spalanej biomasy (dla różnych wartości opałowych)



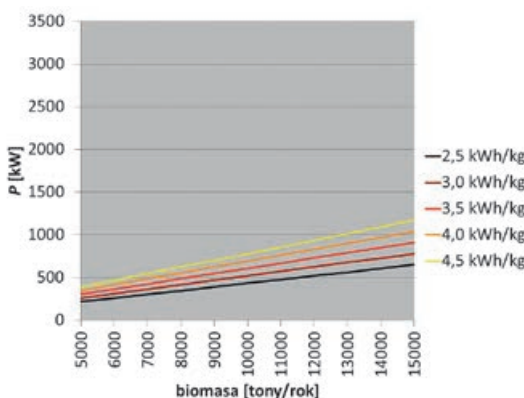
Rys. 9. Zmiana mocy elektrycznej generatora w zależności od temperatury górnej wody chłodzącej ($T_d = 40^\circ\text{C}$)



Rys. 7. Odbierana moc cieplna w funkcji ilości spalanej biomasy (dla różnych wartości opałowych)



Rys. 10. Zmiana mocy elektrycznej generatora w zależności od temperatury „dolnej” wody chłodzącej ($T_g = 110^\circ\text{C}$)



Rys. 8. Moc elektryczna generatora (netto) w funkcji ilości spalanej biomasy (dla różnych wartości opałowych)

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.

Wnioski

Zastosowanie technologii opartej na ORC pozwala na efektywne odbieranie energii cieplnej pochodzącej z biomasy (bez współspalania). Użycie oleju termalnego jako czynnika roboczego i praca

w niższych temperaturach (w porównaniu z instalacją 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.

Bibliografia

1. Lewandowski W.M. i in., Poprawa sprawności układów ORC i systemów trigeneracyjnych poprzez zastosowanie różnych termodynamicznych wariantów ich działania, *Nafta-Gaz* 2010, rok LXVI, s. 794–799.
2. 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 [online], www.turboden.
3. Bini R., Di Prima M., Guercio A., Organic rankine cycle (orc) in biomass plants: an overview on different applications, 2012 [online], www.turboden.
4. Niedziółka I., Zuchniarz A., Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego, *MOTROL*, 2006, 8A, s. 232–237.
5. Stolarski M., Krzyżaniak M., Wartość opałowa i skład elementarny biomasy wierzby produkowanej systemem eko-salix, *Fragmenta Agronomica* 2011, Vol. 28, No. 4, s. 86–95.
6. Strzalka R., Ulbrich R., Eicker U., Propozycja modelu procesu spalania biomasy w kotle rusztowym, *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* 2010, nr 1, s. 1–2.
7. Laudyn D., Pawlik M., Strzelczyk F., *Elektrownie*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 23–27. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Grzegorz Błajszczak

dr inż.

Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości sp. z o.o.

e-mail: grzegorz.blajszczak@polish-wood-cluster.pl

Wcześniej zatrudniony kolejno w: Urzędzie Regulacji Energetyki, Towarowej Giełdzie Energii i Polskich Sieciach Elektroenergetycznych.

Iwona Gawel

Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości sp. z o.o.

e-mail: iwona.gawel@polish-wood-cluster.pl

Właścicielka Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości sp. z o.o., koordynator Polish Wood Cluster.