Marek URBANIK¹

Barbara TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK²

KOGENERACJA W WYTWARZANIU ENERGII CIEPLNEJ

Coraz większe zanieczyszczenie powietrza i ciągły wzrost cen paliw sprawiają, że ekologia oraz ekonomia stanowią kluczowe kwestie przy wytwarzaniu energii. Poszukiwane są takie technologie, które pozwolą zmniejszyć emisję spalin przy zmniejszeniu zużycia paliwa. Rozwój gospodarczy w Polsce sprawił, że w najbliższych latach będzie się odnotowywało ciągły wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepłą. Dlatego też już teraz do wytwarzania energii należy wprowadzać takie technologie, które pozwolą na obniżenie zużycia paliwa oraz redukcję emisji spalin do atmosfery. Znane technologie odnawialnych źródeł energii nie są w stanie pokryć pełnego zapotrzebowania na energię oraz są stosunkowo drogie. Trzeba więc znaleźć taką technologię, która będzie pomostem pomiędzy technologią obecnie stosowaną a odnawialnymi źródłami energii. Okazuje się, że takie wymagania spełnia produkcja energii elektrycznej i ciepłej w kogeneracji. Układy te odznaczają się wysoką sprawnością, co pozytywnie wpływa na aspekt ekonomiczny i ekologiczny. Mogą być one stosowane do produkcji ciepła, które jest przesyłane do sieci ciepłowniczej. W pracy dokonano ogólnej charakterystyki polskiego rynku produkcji ciepła. Omówiono również główne elementy układu wytwarzania energii w kogeneracji oraz zasady jego działania.

Słowa kluczowe: kogeneracja, wytwarzanie energii ciepłej, skojarzona produkcja ciepła

1. Wprowadzenie

Produkcja energii ciepłej w Polsce jest w dużej mierze oparta na węglu kamiennym (rys. 1.), głównie ze względu na duże zasoby naturalne tego surowca i stosunkowo niską cenę. Sukcesywnie zwiększające się ceny paliw będące głównymi źródłami ciepła (w tym węgla i gazu ziemnego) powodują również wzrost kosztu wytworzenia energii ciepłej (tab. 1.). Najdroższym paliwem do wytwarzania energii ciepłej jest olej opałowy i gaz ziemny, paliwa te wymaga-

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Marek Urbanik, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651435, marekurbanik@vp.pl

² Barbara Tchórzewska-Cieślak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651435, cbarbara@prz.edu.pl

ją bowiem stosunkowo skomplikowanego, a zarazem drogiego systemu przesyłu oraz mniejszej wartości opałowej – do wytworzenia jednostki energii cieplnej trzeba dostarczyć więcej paliwa. W związku z tym należy szukać nowych rozwiązań, które pozwolą na obniżenie kosztów wytworzenia ciepła [2, 4, 11]. W pierwszej kolejności powinno się zastępować paliwa, których spalanie ma najbardziej negatywny wpływ na środowisko. Ciągłe zaostrzające normy emisji spalin będą powodować ich przekraczanie, powodując konieczność płacenia kar, które z kolei podniosą cenę energii cieplnej.

Rys. 1. Udział poszczególnych paliw w produkcji ciepła w 2013 roku, na podstawie [3]

Fig. 1. Participation of the different fuels in heat production in 2013, based on [3]

Tabela 1. Jednostkowy koszt wytworzenia energii cieplnej w zależności od rodzaju paliwa, na podstawie [3]

Table 1. The unit cost of generating heat, depending on the fuel type, based on [3]

Rodzaj paliwa	Koszt wytworzenia 1 GJ energii cieplnej w poszczególnych latach [zł]		
	2011	2012	2013
Węgiel	19,02	20,76	20,25
Olej opałowy	95,08	111,81	114,74
Gaz ziemny	54,24	56,32	60,51
Biomasa	22,1	23,08	20,67

W poszukiwaniu nowych form wytwarzania ciepła należy obrać dwa kierunki. Pierwszy to powolne, ale systematyczne przechodzenie na paliwa ze źródeł odnawialnych. Obecnie są to jednak dość drogie technologie, a możliwości wytworzenia energii z tych źródeł nie zaspokoją całego zapotrzebowania. W tym przypadku bardziej racjonalne wydaje się drugie podejście, a mianowicie stosowanie technologii o większej sprawności (powodujące mniej strat), które pozwolą na zmniejszenie zużycia paliwa, a przez to zmniejszenie ilości emisji zanieczyszczeń.

2. Rynek ciepła w Polsce

Zużycie ciepła w Polsce od 2006 roku oscyluje wokół tego samego poziomu (rys. 2.). Niewielkie wahania w poszczególnych latach mogą wynikać np. ze średniej temperatury w danym roku – im wyższa jest temperatura, tym mniej energii jest zużywane na ogrzanie pomieszczeń.

Rys. 2. Zużycie energii cieplnej w poszczególnych latach, na podstawie [1]

Fig. 2. Consumption of heat energy in the individual years, based on [1]

Według danych GUS w Polsce 50% gospodarstw domowych korzysta z ciepła wytworzonego z paliw stałych, tj. węgla i drewna. Z ciepła sieciowego korzysta 40% rodzin, z ogrzewania gazem ziemnym zaś 10% gospodarstw (rys. 3.). Z ekologicznych źródeł ciepła korzysta jeszcze mniej gospodarstw, bo tylko 1 na 300 [5]. Ekologiczne źródła ciepła w kraju są jeszcze mało popularne głównie ze względu na swoją cenę. Biorąc pod uwagę sposób pozyskania ciepła, jest on zróżnicowany pod względem terytorialnym (rys. 4.). Do województw o największym udziale węgla w wytwarzaniu ciepła należą: świętokrzyskie, małopolskie, opolskie, warmińsko-mazurskie, lubelskie oraz dolnośląskie. Z kolei w województwie lubuskim najwięcej energii cieplnej wytwarza się z gazu ziemnego, natomiast z węgla tylko ok. 13%. Dość dużo energii cieplnej z gazu ziemnego wytwarza się w województwach: mazowieckim, pomorskim i podkarpackim. Najwięcej ciepła z biomasy jest wytwarzane w województwach podlaskim, pomorskim i kujawsko-pomorskim [3]. Od 2002 roku powoli, ale systematycznie maleje udział węgla w wytwarzaniu ciepła (spadek o ok. 3,5%), natomiast powoli zwiększa się wytwarzanie ciepła z gazu ziemnego (4%) i biomasy (401%) [3].

Rys. 3. Sposób ogrzewania gospodarstw domowych w Polsce, na podstawie [5]

Fig. 3. The method of heating households in Poland, based on [5]

Rys. 4. Zużycie danych paliw do produkcji ciepła w wybranych województwach, na podstawie [3]

Fig. 4. Consumption of fuels for heat production in selected provinces, based on [3]

3. Kogeneracja w wytwarzaniu ciepła

Kogeneracja jest to proces technologiczny, w którym jednocześnie wytwarza się energię elektryczną oraz energię cieplną. Typowym przykładem układu kogeneracji jest elektrociepłownia (rys. 5.). W układach kogeneracyjnych (elektrociepłowniach) ciepło, które nie zostało zamienione na energię elektryczną, jest przechwytywane i oddawane do sieci ciepłowniczej do ogrzewania mieszkań [8].

W typowej elektrowni bez kogeneracji (rys. 6.) generator prądu nie jest w stanie przekształcić całej energii cieplnej na energię elektryczną. W takim przypadku ciepło, które opuszcza generator, jest tracone.

Rys. 5. Schemat ideowy produkcji ciepła i energii elektrycznej w kogeneracji, na podstawie [6]

Fig. 5. Schematic diagram of the production of heat and electricity in cogeneration, based on [6]

Systemy z kogeneracją odznaczają się większą sprawnością, umożliwiając uzyskanie większej ilości energii z tej samej ilości paliwa. Pozwala to na zmniejszenie zużycia paliwa, a przez to zmniejszenie emisji szkodliwych związków w spalinach. Aby wyprodukować w układzie kogeneracyjnym 50 jednostek ciepła i 4 jednostki energii elektrycznej, należy zużyć 100 jednostek paliwa. Strata w tym przypadku wynosi 10 jednostek energii. W przypadku układu bez kogeneracji w celu wytworzenia tylu samo jednostek energii elektrycznej i cieplnej należy użyć aż 170 jednostek paliwa [6]. Różnica w zużyciu paliwa i strat w przypadku obu układów jest więc znacząca. Na rysunkach 5. i 6. podano przykładowe sprawności układów bez i w kogeneracji. Dokładna sprawność systemu w kogeneracji zależy od zastosowanego rodzaju paliwa i silnika (tab. 2.). Najczęściej stosowanym paliwem w układach skojarzonych (w kogeneracji) jest węgiel kamienny, który powoli (ale sukcesywnie) jest zastępowany gazem ziemnym [9].

Transport ciepła na duże odległości jest praktycznie nieopłacalny, dlatego też systemy takie powinny się znajdować jak najbliżej punktów odbioru. Nośnikiem energii cieplnej wytworzonej w układach kogeneracji może być woda (np. w przypadku ogrzewania mieszkań), para wodna lub gorące powietrze (np. w przypadku odbiorców przemysłowych).

Rys. 6. Schemat ideowy produkcji ciepła i energii elektrycznej bez kogeneracji, na podstawie [6]

Fig. 6. Schematic diagram of the production of heat and electricity without cogeneration, based on [6]

Tabela 2. Porównanie sprawności wybranych technologii w kogeneracji, na podstawie [10]

Table 2. Comparison of efficiency of selected technologies in cogeneration, based on [10]

Rodzaj turbiny	Paliwo	Moc wyjściowa [MWe]	Sprawność elektryczna [%]	Sprawność całkowita [%]
Turbiny parowe	dowolne	0,5-500	7-20	60-80
Turbiny gazowe	gazowe	0,25-50	25-42	65-87
Układy łączone	gazowe lub ciekłe	3-400	35-55	73-90

Zasadę działania układu w kogeneracji z silnikiem spalinowym przedstawiono na rys. 6. W układach tego typu najczęściej jest stosowany silnik zasilany paliwem gazowym. Przed podaniem do silnika paliwo (gaz) jest mieszane z powietrzem. Niska gęstość gazu, a w konsekwencji mała ilość energii zgromadzona w jednostce objętości przy ciśnieniu atmosferycznym powoduje konieczność sprężenia mieszanki paliwowej przed podaniem paliwa do silnika. Dzięki temu do silnika zostaje dostarczone więcej paliwa, przez co można uzyskać odpowiednią moc do napędu generatora prądu. W czasie sprężania mieszanki paliwowej wraz z ciśnieniem wzrasta temperatura, która zmniejsza gęstość gazu. Aby temu zapobiec, mieszanka paliwowa po wyjściu ze sprężarki zostaje schłodzona w wymienniku ciepła, w którym ciepło jest oddawane do cieczy chłodzącej. Po schłodzeniu paliwo jest podawane do silnika, a ciecz, która odebrała

Rys. 8. Produkcja ciepła w kogeneracji i bez kogeneracji w 2013 roku, na podstawie [3]

Fig. 8. The production of heat in cogeneration and without cogeneration in 2013, based on [3]

Przy rosnącej emisji szkodliwych związków w spalinach oraz coraz wyższej cenie paliwa wytwarzanie ciepła w kogeneracji jest jak najbardziej zasadne. Ciepło wyprodukowane w kogeneracji może być odprowadzane do sieci ciepłowniczej, co może zwiększyć liczbę odbiorców, a w konsekwencji przyczyni się do zmniejszenia smogu w miastach. Ze względu na te zalety produkcja energii elektrycznej i ciepłej w kogeneracji jest jednym z priorytetów Unii Europejskiej, która finansowo wspiera budowę tego typu instalacji.

Literatura

- [1] Dane GUS. Infrastruktura komunalna. Roczniki statystyczne: 2006-2012.
- [2] Dorer V., Weber R., Weber A.: Performance assessment of fuel cell micro-cogeneration systems for residential buildings. *Energy and Buildings*, no 37(11), 2005, pp. 1132-1146.
- [3] Energetyka ciepła w liczbach w 2013 r. Urząd Regulacji Energetyki.
- [4] Ghannadzadeh A., Perry S., Smith R.: Cogeneration targeting for site utility systems. *Applied Thermal Engineering*, no 43, 2012, pp. 60-66.
- [5] <http://regiodom.pl/porta/porady/nieruchomosci/jak-zmniejszyc-rachunki-za-ogrzewanie-domu-poradnik>
- [6] http://www.energa-kogeneracja.pl/s50-co_to_jest_kogeneracja%253f
- [7] <http://www.p4b.com.pl/Kogeneracja.pdf>
- [8] Reverberi A., Del Borghi A., Dovi V.: Optimal design of cogeneration systems in industrial plants combined with district heating/cooling and underground thermal energy storage. *Energies*, no 4(12), 2011, pp. 2151-2165.

- [9] Torchio M.F.: Energy-exergy. Environmental and economic criteria in combined heat and power (CHP) plants: Indexes for the evaluation of the cogeneration potential. *Energies*, no 6(5), 2013, pp. 2686-2708.
- [10] UNEP. The Emissions Gap Report 2014: a UNEP synthesis report, 2014.
- [11] Xie D., Wang Z., Jin L.: Energy and exergy analysis of a fuel cell based micro combined heat and power cogeneration system. *Energy and Buildings*, no 50, 2012, pp. 266-272.

COGENERATION IN THE PRODUCTION OF HEAT ENERGY

Summary

Growing air pollution and fuel prices make the ecology and economy are key issues in energy production. Are searched such technologies that will reduce emissions by reducing fuel consumption. Economic development in Poland made in the coming years, the demand for electricity and heat will increase, therefore, now to produce energy should be introduced such technologies, which allow for lower fuel consumption and reduced emissions to the atmosphere. Known today, renewable energy technologies are not able to cover the full demand for energy and are relatively expensive. We must therefore find the technology that will be a bridge between the technology used today and renewable energy sources. It turns out that this requirement meets the production of electricity and heat in cogeneration. These systems are characterized by high efficiency, which positively affects the economic and ecological aspects. They can be used in the production of heat that is transferred to the district heating network. This article presents the general characteristics of the Polish market of heat production. It also discusses the main elements of the energy production in cogeneration and the principle of its operation.

Keywords: cogeneration, heat generation, combined heat

Przesłano do redakcji: 15.07.2014 r.

Przyjęto do druku: 02.12.2014 r.

DOI:10.7862/rb.2014.144