

## ASPEKTY WYKORZYSTANIA KOGENERACJI I GENERACJI ROZPROSZONEJ OPARTEJ NA ODNAWIALNYCH ŹRÓDLACH ENERGII

Konrad ZUCHORA<sup>1</sup>

1. Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki  
tel.: 511990842 e-mail: k.zuchora@pollub.pl

**Streszczenie:** Referat prezentuje zgromadzone doświadczenia i wnioski na temat odnawialnych źródeł energii i generacji rozproszonej funkcjonującej w strukturach scentralizowanego systemu elektroenergetycznego. Wnioski wypracowane z udziałem kogeneracji i źródeł energii różnego pochodzenia uwzględniają konieczność przystosowania systemów generacji rozproszonej do funkcjonowania w elektroenergetycznym systemie scentralizowanym. Referat uwzględnia perspektywy funkcjonowania energetyki prosumenckiej i akcentuje sposób zagospodarowania systemów mikroenergetycznych w scentralizowanym systemie elektroenergetycznym. Skojarzone wytwarzanie energii, przy współdziałaniu źródeł odnawialnych, jest opiniowane w poszczególnych rozdziałach referatu a zauważone problemy i możliwe rozwiązania powstałe w wielowymiarowej energetyce są w publikacji dyskutowane.

**Słowa kluczowe:** Kogeneracja, odnawialne źródła energii, koszty energii.

### 1. WSTĘP

Energetyka odnawialna zwiększa udziały w międzynarodowych systemach elektroenergetycznych [1].

Za jedną z głównych przyczyn wspierania mikroenergetyki w Europie można uważać potrzebę osiągnięcia samowystarczalności energetycznej w kwestiach związanych z zużyciem ropy naftowej i gazu ziemnego [2]. W Europie zależność od paliw energetycznych może być uznana za międzynarodowy argument polityczny oraz czynnik, który mógł spowodować społeczną niepewność co do wysokości cen paliw. Świadomość zależności energetycznej mogła wywołać zainteresowanie technikami efektywnego wytwarzania energii i mikroenergetyką. Za przyczyny, które przyczyniły się do wzrostu zainteresowania proekologicznymi aspektami i mikroinstalacjami energetycznymi na skalę narodowych systemów elektroenergetycznych można uznać koszty przesyłu energii oraz programy proekologiczne wspierane przez budżety, dotacje celowe oraz programy finansowane przy współdziałaniu środków pochodzących ze „Wspólnoty Europejskiej”. Czynniki odpowiedzialne za reorganizację energetyki konwencjonalnej to również w znaczącym udziale zobowiązania wynikające z aktualnie kontynuowanego w Europie „Traktatu z Kioto” [3,4]. W konsekwencji postanowień z Kioto modernizacja energetyki konwencjonalnej zmierza w kierunku zwiększenia udziału w systemie elektroenergetycznym tak zwanych odnawialnych źródeł energii oraz poprawy efektywności energetycznej [5]. Postanowienie wprowadzenia do systemu

elektroenergetycznego energii pochodzącej z odnawialnych źródeł może wynikać z potrzeby zmniejszenia zużycia paliw kopalnych a poprawa efektywności energetycznej i zmniejszenie zużycia energii mogą być w postanowieniu rozwiązaniami, które umożliwią zredukowanie emisji gazów cieplarnianych [6].

### 2. UŻYTKOWANIE ZASOBÓW ROZPROSZONYCH

Systemy generacji rozproszonej można zdefiniować jako instalacje, które w infrastrukturze mogą mieć odnawialne źródła energii oraz zasobniki energii [7].

Energetykę rozproszoną można usystematyzować ze względu na sposób pracy lub aspekt kosztowy [8,9]. W aspektach kosztowych energetyki odnawialnej i rozproszonej warto zauważyć, że w skali mikroenergetycznej koszty inwestycyjne mogą być akceptowalne dla inwestorów należących do grupy tzw. prosumentów. Dzięki ustawodawcy i dostępności modułów mikroenergetycznych współcześni prosumenci mają możliwość wytwarzania energii na własne potrzeby [10,11].

Ze względu na trudności, jakie wywołuje użycie odnawialnych źródeł energii w systemie elektroenergetycznym w skali aktualnie funkcjonujących systemów, odnawialne źródła energii w sposób swobodny odnajdują zastosowanie w tak zwanej mikrogeneracji i systemach rozproszonych.

Przyłączenie mikrosystemów do sieci elektroenergetycznych może stwarzać operatorom utrudnienia w funkcjonowaniu. Z powodu utrudnień lokalni operatorzy sieci elektroenergetycznych mogą odmawiać pozwolenia na przyłączenie. Należy podkreślić, że lokalny stan infrastruktury energetycznej może być modernizowany i w konsekwencji mogą w systemie powstać lokalne warunki dla funkcjonowania generacji rozproszonej.

#### 2.1. Zalety energetyki rozproszonej

Energetyka rozproszona może zaferować w konfiguracji uniwersalność i możliwość zagospodarowania lokalnych zasobów energii. Generacja rozproszona dzięki funkcjonowaniu w skali mikro oferuje lepszą efektywność dystrybucji energii oraz możliwość sprawowania w systemie elektroenergetycznym usług. Zwiększenie udziału źródeł odnawialnych i użycie generacji rozproszonej może w systemie elektroenergetycznym zredukować ilość energii wytwarzanej z paliw kopalnych i w konsekwencji zmniejszyć emisję dwutlenku węgla.

Stosując techniki kryterialnego zarządzania można w generacji rozproszonej z udziałem zasobników energii oraz źródeł odnawialnych zwiększyć efektywność całego systemu elektroenergetycznego.

Elektroenergetyczne sieci rozproszone z przyczyny uniwersalności w kwestiach wykorzystania energii pierwotnej mają sposobność adaptacji do różnych warunków pracy oraz łatwość dopasowania do lokalnych potrzeb.

W energetyce rozproszonej koszty wytwarzania energii ze względu na możliwość użycia w pracy systemów kogeneracji w skali mikroenergetycznej mogą być mniejsze. Użycie kogeneracji wraz z generacją rozproszoną może w systemie elektroenergetycznym zmniejszyć zużycie ciepła pochodzącego z sieci ciepłej. Prócz zmniejszenia zużycia ciepła użycie kogeneracji rozproszonej może zmniejszać również straty przesyłu energii, które dla systemu ciepłego są istotne, ponieważ w sieci ciepłej zmniejszają temperaturę pary i wody użytkowej.

## 2.2. Wady energetyki rozproszonej

Cechą odnawialnych źródeł jest ich prawdopodobny charakter, który może sprawiać, że sterowanie systemami rozproszonymi może być zadaniem wielowymiarowym. Problemy, które wynikają ze stabilności mocy odnawialnych źródeł, mogą kopiować się na stabilność całego systemu elektroenergetycznego. W systemie elektroenergetycznym zwiększony udział jednostek wytwarzających energię niezarządzanych i niemonitorowanych przez operatorów systemu może doprowadzić do nieprzewidzianych zachowań, które w konsekwencji mogą powodować niestabilną pracę systemu lub stan przedawaryjny.

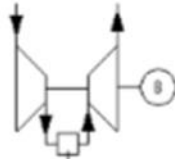
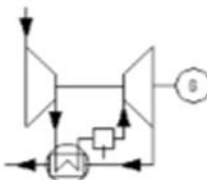
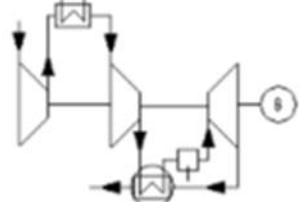
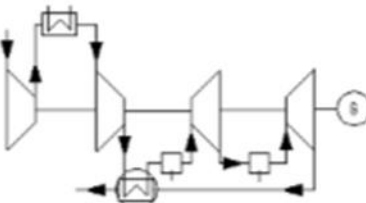
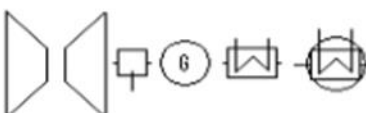
## 3. KOGENERACJA W ASPEKTACH GENERACJI ROZPROSZONEJ

Kogeneracja bazująca w cyklu termodynamicznym na procesie spalania może być użyta w przemysłowych, komercyjnych instalacjach ciepłych i siłowniach elektroenergetycznych oraz instalacjach hybrydowych, w których głównym produktem jest energia elektryczna a niewykorzystane ciepło cyklu termodynamicznego, może być przetransportowane do sieci ciepłej lub może być zagospodarowane w instalacjach ogrzewania i wody użytkowej [12].

W przedmiocie ciepłych maszyn przepływowych i mikroenergetyki w relacji z indywidualnymi potrzebami i wymaganiami, możliwe jest personalizowanie konfiguracji maszyn i systemów. Konstruktor projektujący system generacji rozproszonej może konfigurować architekturę systemu i maszyn ciepłych pracujących w systemie, dążąc do osiągnięcia oczekiwanych w pracy proporcji energii elektrycznej i ciepła. Największe udziały energii elektrycznej mają konfiguracje, które w pracy wykorzystują rekuperacyjne wymienniki ciepła oraz chłodnice i przegrzewy międzystopniowe. Wzorcowe konfiguracje stosowane w turbozespołach gazowych umieszczono w Tablica 1.

W konwencjonalnym systemie elektroenergetycznym ciepło wytwarzane jest w procesie spalania i jest w cyklu termodynamicznym traktowane jak energia odpadowa. Symbol energii odpadowej wraz z proporcjami cyklu termodynamicznego i kosztami paliwa dla kogeneracji może powodować, że w konwencjonalnym systemie elektroenergetycznym cena ciepła jest niższa od ceny energii elektrycznej.

Tablica 1. Konfiguracje turbozespołów gazowych

1.	Konfiguracja prosta	
2.	Konfiguracja z rekuperacyjnym odzyskiem ciepła	
3.	Konfiguracja z rekuperacyjnym odzyskiem ciepła i chłodzeniem międzystopniowym	
4.	Konfiguracja z rekuperacyjnym odzyskiem ciepła i chłodzeniem międzystopniowym oraz przegrzewaniem międzystopniowym	
Opisy do rysunków	Sprężarka, turbina, komora spalania, generator elektryczny, chłodnica międzystopniowa, rekuperacyjny wymiennik ciepła	
		

W energetyce rozproszonej korzystającej z energii odnawialnej ciepło może być wytwarzane z energii elektrycznej produkowanej w turbinach wiatrowych i panelach słonecznych. Gdy ciepło będzie wytwarzane z energii elektrycznej można wnioskować, że koszty kupna i sprzedaży ciepła mogą być porównywalne z kosztami energii elektrycznej lub mogą być większe od kosztów energii elektrycznej.

## 4. METODA OBLICZEŃ

Poniższa zależność formułuje współczynnik skojarzenia mocy jako ułamek mocy elektrycznej i mocy ciepłej.

$$wsP = \frac{Pe}{Pc} \quad (1)$$

gdzie:  $Pe$  - moc elektryczna,  $Pc$  - moc cieplna.

Moc całkowitą zdefiniowano algebraicznie równaniem sumy mocy elektrycznej i mocy cieplnej.

$$Pca = Pe + Pc \quad (2)$$

Koszt energii całkowitej dla mocy cieplnej wyraża równanie.

$$keca0(Pc, wsP, cee, cec) = \frac{wsP \cdot Pc \cdot cee + Pc \cdot cec}{\frac{1}{3600s}} \quad (3)$$

gdzie:  $cee$  – cena energii elektrycznej,  $cec$  – cena ciepła.

Koszt energii całkowitej dla mocy elektrycznej wyraża równanie.

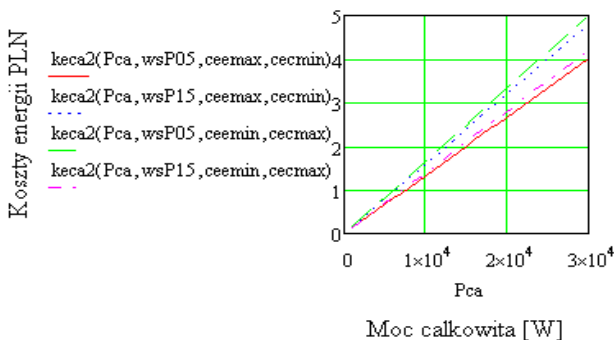
$$keca1(Pe, wsP, cee, cec) = \frac{Pe \cdot cee + \frac{Pe}{wsP} \cdot cec}{\frac{1}{3600s}} \quad (4)$$

Koszt energii całkowitej dla mocy całkowitej wyraża równanie.

$$keca2(Pca, wsP, cee, cec) = \frac{\frac{Pca \cdot wsP \cdot cee}{1 + wsP} + \frac{Pca \cdot cec}{(1 + wsP)}}{\frac{1}{3600s}} \quad (5)$$

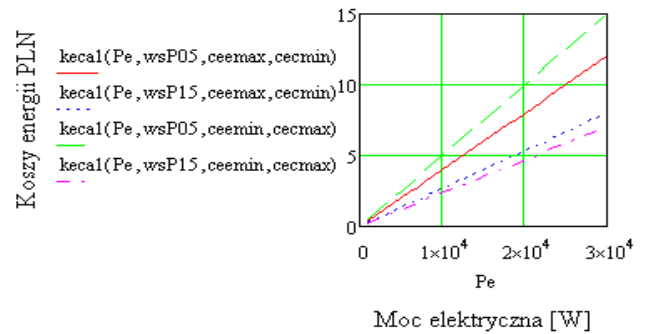
## 5. WYNIKI OBLICZEŃ

Poniższe rysunki reprezentują całkowity koszt energii wytworzonej w instalacji pracującej w kogeneracji.



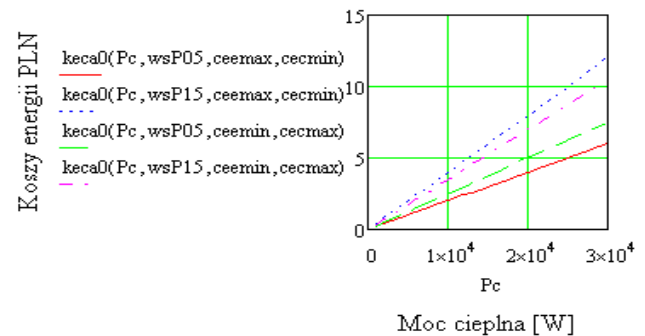
Rys. 2. Koszty energii całkowitej dla mocy całkowitej.

Symbole użyte na (Rys. 2), (Rys. 3), (Rys. 4) oznaczają:  $ceemax$  – cenę energii elektrycznej większą od ceny ciepła,  $ceemin$  – cenę energii elektrycznej mniejszą od ceny ciepła,  $ceemax$  – cenę ciepła większą od ceny energii elektrycznej,  $ceemin$  – cenę ciepła mniejszą od ceny energii elektrycznej. Współczynnik skojarzenia mocy równy 0.5 reprezentowany jest symbolem  $wsp05$  a  $wsp15$  oznacza współczynnik skojarzenia mocy równy 1.5.



Rys. 3. Koszty energii całkowitej dla mocy elektrycznej

Dla stałej wartości mocy całkowitej i mocy elektrycznej (rys. 2), (rys. 3) największe zyski ekonomiczne właściciel instalacji wytwarzającej energię może osiągnąć w przypadku, gdy instalacja osiąga w proporcji więcej mocy cieplnej niż mocy elektrycznej a cena sprzedaży ciepła dla właściciela instalacji jest większa od ceny sprzedaży energii elektrycznej: funkcje  $keca2(Pca, wsP05, ceemin, cecmax)$ ,  $keca1(Pca, wsP05, ceemin, cecmax)$ .



Rys. 4. Koszty energii całkowitej dla mocy cieplnej

Dla stałej wartości mocy cieplnej (rys. 4) największy zysk ekonomiczny właściciel instalacji wytwarzającej energię może osiągnąć w przypadku, gdy instalacja w proporcji wytwarza więcej mocy elektrycznej niż mocy cieplnej a cena sprzedaży ciepła jest mniejsza od ceny sprzedaży energii elektrycznej: funkcja  $keca0(Pc, wsP15, ceemin, cecmax)$ .

## 6. WNIOSKI KOŃCOWE

W artykule omówiono podstawowe właściwości energetyki rozproszonej i mikrosystemów pracujących w kogeneracji. Wymieniono zalety i wady oraz zadania egzystujących z energetyką odnawialną i rozproszoną w możliwej synergii systemów elektroenergetycznych. Autor uważa, że w obecnym stanie wiedzy i doświadczenia w kwestii energetycznej możliwe jest w akceptowalnej proporcji instalowanie w elektroenergetycznym systemie scentralizowanym niesterowalnych źródeł generacji rozproszonej. Rozsądne wykorzystanie energii odnawialnej może przynieść korzyści dla funkcjonowania energetyki konwencjonalnej. Oceny autora dotyczące rodzajów użytych technik prowadzą do wniosku, że techniki, które wyróżniają się wysoką efektywnością energetyczną i niskimi kosztami wytwarzania energii mogą być użyte w generacji rozproszonej.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. Connolly, David, H. Lund, and B. V. Mathiesen. "Smart Energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60 (2016): 1634-1653.
2. Energy, E. U. "Transport and GHG Emissions: Trends to 2050." Reference scenario (2013).
3. Protokół z Kioto do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzony w Kioto dnia 11 grudnia 1997 r. Dz.U. 2005 nr 203 poz. 1684.
4. Secretariat, Climate Change. "Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its seventh session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011." (2011).
5. Duffy, Aidan, Martin Rogers, and Lacour Ayompe. *Renewable energy and energy efficiency: assessment of projects and policies*. John Wiley & Sons, 2015.
6. Panwar, N. L., S. C. Kaushik, and Surendra Kothari. "Role of renewable energy sources in environmental protection: a review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15.3 (2011): 1513-1524.
7. Falvo, Maria Carmen, and Luigi Martirano. "From smart grids to sustainable energy microsystems." *Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2011 10th International Conference on*. IEEE, 2011.
8. Zuchora K., Miller P.: Analiza możliwości wykorzystania kogeneracji w energetyce rozproszonej z zastosowaniem elementów optymalizacji. Rynek energii elektrycznej, energetyka rozproszona, Politechnika Lubelska, 2016 r., s. 102-113.
9. Zuchora K.: Miller P.: Wybrane aspekty optymalizacji mikrosystemu elektroenergetycznego wykorzystującego odnawialne źródła energii i technologie kogeneracji. Zarządzanie energią i telekomunikacja ZET 2016, materiały i studia, Kaprint, luty 2016 r., s. 83-93.
10. Ustawa, O. Z. E. "Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015 r." *Dz. U* 2015 (2015).
11. Ustawa, O. Z. E. "Ustawa o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw z dnia 22 czerwca 2016 r." *Dz.U.* 2016 poz. 925
12. L. Martirano, S. Fornari, A. Di Giorgio and F. Liberati, "A case study of a commercial/residential microgrid integrating cogeneration and electrical local users," 2013 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering, Wroclaw, 2013, pp. 363-368.

## RENEWABLE ENERGY SOURCES AND COGENERATION COSTS IN ASPECTS OF DISTRIBUTED GENERATION

Author in paper chapters notes that the restructuring of conventional energy power system into a distributed energy system may seek to achieve the effect of increasing number of energy produced from renewable sources and improve efficiency in the power energy infrastructure. The paper presents the collected experience and conclusions on renewable energy and distributed generation functioning in the structures of a centralized energy power system. Can be assumed that some of the aspects of distributed generation noted in the article can be practically used. Reached conclusions include the need to reorganize the conventional energy system with the participation of cogeneration and energy sources of different origin in order to adapt them to the idea of distributed generation. On the basis of the research author notes that distributed energy can be installed in the available infrastructures of power system, and can work in combination due to reduced power transmission losses and achieve greater efficiency in compared to conventional centralized power system. The paper takes into account the perspective of the functioning the prosumer energy system and accentuates the manner of management micro energy systems in conventional power system. The author notes that as a consequence of unplanned aftermath in the energy system components belonging to the structure of the system can be transformed and their effects in stages of restructuring, can be difficult to predict. Combined production of energy with the help of renewable energy is giving opinions in the individual sections of the paper and noticed problems and possible solutions resulting in a multidimensional synergy of energy are discussed in the publication. In this study ways of working and functions of renewable energy in conventional energy systems operating in cogeneration can be interpreted as aspects of distributed energy.

**Keywords:** cogeneration, renewable energy sources, energy costs.