

Siłownie kogeneracyjne energetyki rozproszonej skojarzone z układami produkcji paliw z biomasy

Jan Kiciński, Piotr Lampart
Instytut Maszyn Przepływowych PAN

Streszczenie

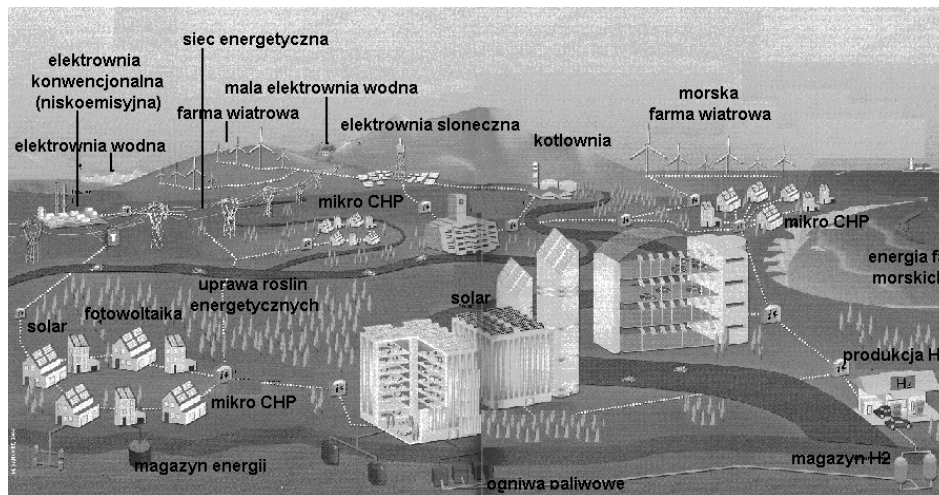
W referacie przedstawiono zalety energetyki rozproszonej oraz omówiono wybrane układy kogeneracyjne przeznaczone dla jednostek wytwórczych energetyki rozproszonej skojarzone z układami produkcji paliw z biomasy. Przedstawiono układy oparte na technice kotłowej i obiegu parowym ORC oraz układy skojarzone z biogazownikami fermentacyjnymi i zgazowarkami oparte na turbinie gazowej i silniku spalinowym.

Energetyka rozproszona

W jednostkach wytwórczych energetyki rozproszonej stosowane są różne technologie wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej. Mogą to być małe elektrownie konwencjonalne, ciepłownie lub elektrociepłownie węglowe, kotłownie biomasowe, elektrownie wodne, farmy wiatrowe, morskie farmy wiatrowe, elektrownie słoneczne, stacje ogniwo paliwowych i magazynów energii, biogazownie i biorafinerie, rys. 1. Klasyfikacja jednostek energetyki rozproszonej odnosi się głównie do systemów wytwarzania energii elektrycznej, z możliwością wytwarzania ciepła. W biogazowniach i biorafineriach ma miejsce skojarzona produkcja paliw drugiej generacji i energii. Najbardziej adekwatny podział energetyki rozproszonej według mocy jednostek wytwórczych wydaje się następujący:

- Mikro energetyka rozproszona (do 5 kW),
- Mała energetyka rozproszona (5 kW – 5 MW),
- Średnia energetyka rozproszona (5 MW – 50 MW),
- Duża energetyka rozproszona (50 MW – 100 lub 150 MW).

Energia wyprodukowana w jednostkach mikro i małej energetyki rozproszonej trafia w pierwszej kolejności do lokalnego odbiorcy. Rozróżnia się generację na użytek własny gospodarstw, budynków przedsiębiorstw, obiektów administracji i użyteczności publicznej. Nadwyżki energii elektrycznej przekazywane są rozdzielczym sieci elektroenergetycznym. Nadwyżki ciepła trafiają do lokalnych sieci ciepłowniczych. Wyprodukowane paliwa mogą zostać wykorzystane dla celów transportowych lub być zatłoczone do lokalnych sieci paliwowych.



Rys. 1. Model energetyki rozproszonej

Wśród podstawowych zalet energetyki rozproszonej należy wymienić:

- możliwość wykorzystania lokalnych zasobów energetycznych, w tym w szczególności odnawialnych źródeł energii,
- możliwość produkcji różnych rodzajów energii w kogeneracji w miejscu zapotrzebowania na ciepło,
- uniknięcie nadmiernej mocy zainstalowanej,
- zmniejszenie obciążenia szczytowego,
- redukcja strat przesyłowych,
- zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego przez dywersyfikację źródeł energii,
- redukcję emisji gazów cieplarnianych (kogeneracja, odnawialne źródła energii).

Wśród wad energetyki rozproszonej należy wymienić:

- nieprzewidywalność produkcji energii z niektórych źródeł (elektrownie wiatrowe, słoneczne) i konieczność utrzymania rezerw mocy,
- wysokie początkowe nakłady inwestycyjne,
- wysokie koszty przyłączenia opomiarowania i bilansowania energii na jednostkę mocy wytworzonej.

Polityka Unii Europejskiej jest bardzo korzystna dla wytwarzania energii w jednostkach energetyki rozproszonej i w oparciu o odnawialne źródła energii. Przykładami są:

- dyrektywa 2004/8/WE w sprawie promocji kogeneracji,
- dyrektywa 2003/87/WE w sprawie ustanowienia handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych,
- dyrektywa 2003/96/WE w sprawie restrukturyzacji opodatkowania produktów energetycznych i energii elektrycznej,
- dyrektywa 2001/77/WE określająca udział energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych dla poszczególnych krajów.

Na wzrost opłacalności wytwarzania energii w jednostkach energetyki rozproszonej wpływa system zachęt ekonomicznych, np. za zieloną energię (zielone certyfikaty), za kogenerację (czerwone certyfikaty), za efektywność energetyczną oraz tzw. płytkie opłaty za przyłączenie do sieci.

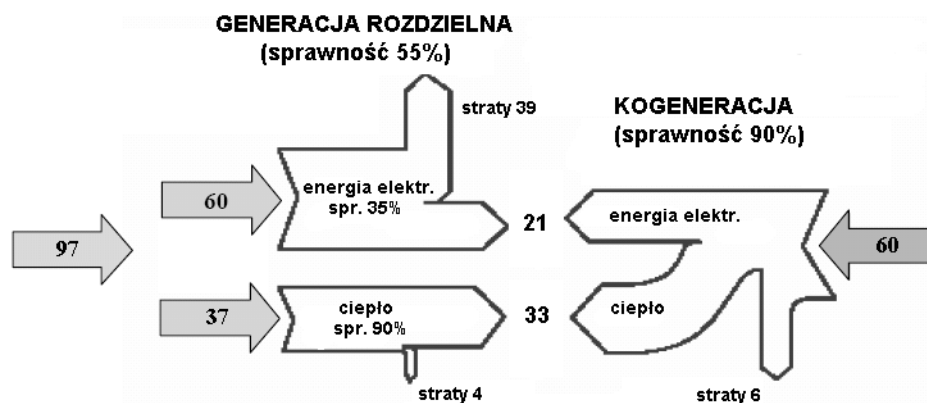
Istnieje też szereg regulacji, które mogą działać zarówno na korzyść jak i na niekorzyść wywarzania energii w jednostkach energetyki rozproszonej, np.:

- regulacje dotyczące przyłączenia do sieci,

- regulacje środowiskowe odnośnie emisji gazów cieplarnianych i innych szkodliwych gazów (SO₂, NO_x), zanieczyszczeń pyłowych, emisji hałasu, zszpecenia krajobrazu, oddziaływania na środowisko,
- regulacje dotyczące bezpieczeństwa i bezpiecznej eksploatacji.

Kogeneracja energii elektrycznej i ciepła

Kogeneracja to jednoczesne wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej, które prowadzi do lepszego, niż w przypadku produkcji rozdzielonej, wykorzystania energii pierwotnej. Kogeneracja prowadzi zatem do obniżenia kosztów wytwarzania energii końcowej, jak i przyczynia się do zmniejszenia emisji, w szczególności CO₂. Przykładowe liczbowe zyski z kogeneracji przedstawiono na rys. 2. Jak widać ze schematu, dla wytworzenia 21 jednostek energii elektrycznej i 33 jednostek ciepła w kogeneracji (przy założeniu sprawności całkowitej na poziomie 90%) potrzeba 60 jednostek energii pierwotnej. Natomiast do wytworzenia tej samej ilości energii końcowej przy generacji rozdzielnej potrzeba aż 97 jednostek energii pierwotnej. Podstawowym problem układów kogeneracyjnych jest fakt, że możliwości pełnego wykorzystania zalet kogeneracji są ograniczone przez wielkość zapotrzebowania na ciepło.



Rys. 2. Produkcja energii elektrycznej i ciepła w trybie generacji rozdzielnej i kogeneracji

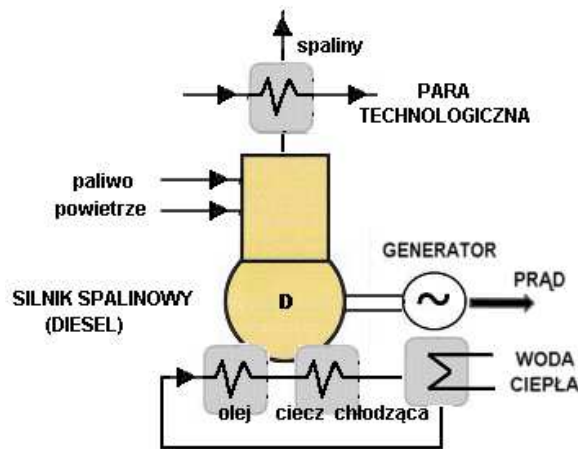
Siłownie kogeneracyjne energetyki rozproszonej

Podstawowymi urządzeniami układów kogeneracyjnych, lub inaczej systemów CHP (combined heat & power systems) w skali energetyki zawodowej są przede wszystkim turbiny parowe przeciwpiężne lub upustowo-kondensacyjne pracujące w obiegu zamkniętym Rankine'a oraz turbiny gazowe pracujące w obiegu Braytona [1]. Turbiny parowe upustowo-kondensacyjne spotyka się w zakresie mocy od kilkunastu do kilkuset MWe. Moc elektryczna turbin gazowych zwykle nie przekracza 100 MWe.

Podstawowymi urządzeniami układów kogeneracyjnych w małej energetyce rozproszonej są silniki spalinowe [2, 3]. Agregaty prądotwórcze na bazie silników spalinowych nadbudowane węzłem ciepłowniczym stanowią trzon układów kogeneracyjnych skojarzonych z układami do produkcji paliw z biomasy – biogazowniami i biorafineriami. Wyposażone w odpowiednie układy zasilania i automatykę zapłonu mogą spalać paliwa gazowe jak i ciekłe, także paliwa mniej kaloryczne, takie jak biogaz z biogazowni fermentacyjnej, gaz syntezowy otrzymywany w wyniku zgazowania pirolitycznego, ciekłe produkty fermentacji alkoholowej i pirolizy, produkty palne z procesu estryfikacji tłuszczów zwierzęcych, itp. Silniki spalinowe przeważnie pracują w zakresie mocy od kilkunastu kWe do kilku MWe.

Na rys. 3 przedstawiono schemat obiegu kogeneracyjnego silnika spalinowego. Spalinowy silnik tłokowy napędza generator energii elektrycznej. Ciepło z układu chłodzenia

i smarowania zostaje wykorzystane na podgrzanie ciepłej wody. Ciepło spalin z wylotu silnika można wykorzystać do produkcji pary dla procesów technologicznych lub także dla celów ciepłowniczych.

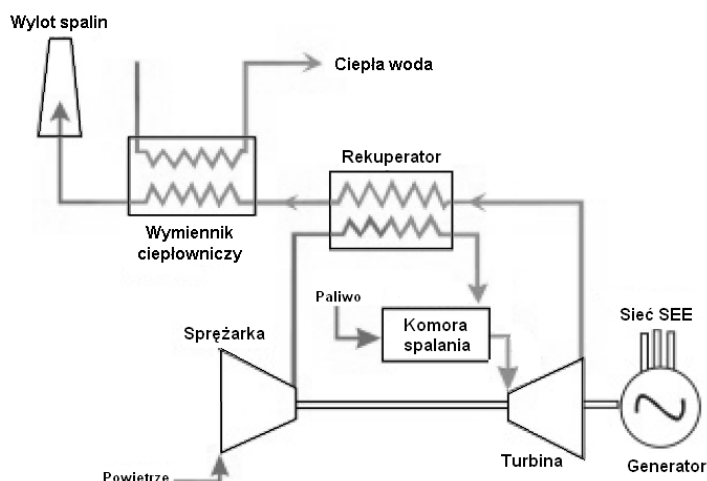


Rys. 3. Schemat obiegu kogeneracyjnego silnika spalinowego

Podstawowymi zaletami elektrowni opartych na silnikach tłokowych są:

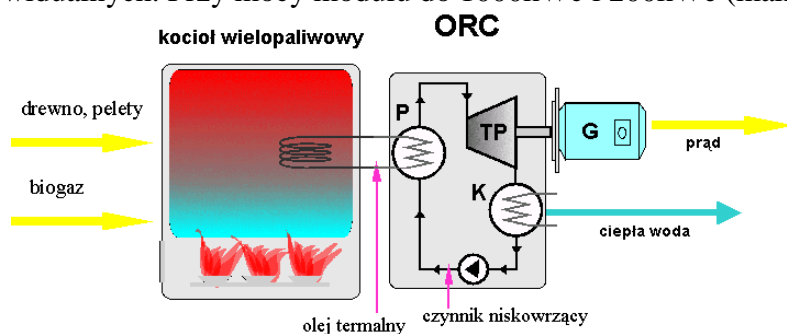
- wysoka sprawność produkcji energii elektrycznej w szerokim mocy, w tym także podczas pracy w obszarze obciążeń częściowych,
- możliwość szybkiego uruchomienia i uzyskania obciążenia nominalnego,
- możliwość pracy w miejscach oddalonych od linii przesyłowych i w charakterze zasilania awaryjnego,
- duża różnorodność stosowanych paliw,
- stosunkowo niskie nakłady inwestycyjne.

W układach kogeneracyjnych w małej skali można także wykorzystywać turbiny lub mikroturbiny gazowe. Na rys. 4 przedstawiono schemat obiegu cieplnego kogeneracyjnej turbiny gazowej pracującej w obiegu otwartym. Do komory spalania dostarczone jest sprężone powietrze. W komorze spalania następuje spalanie paliwa i przekazanie ciepła do spalin. Spaliny rozprężają się w turbinie, która napędza generator. Spaliny z wylotu turbiny, o jeszcze wysokiej temperaturze na poziomie 400-600°C trafiają najpierw do rekuperatora, gdzie następuje wstępne ogrzanie sprężonego powietrza, po czym trafiają do wymiennika ciepłowniczego, gdzie zostaje podgrzana woda dla celów ciepłowniczych. Z uwagi na wysoką temperaturę spalin z wylotu turbiny można także budować obiegi gazowo-parowe z kogeneracją. Turbiny gazowe charakteryzują się znacznie dłuższym czasem eksploatacji niż silniki spalinowe i nie wymagają częstych usług dla podtrzymania eksploatacji. Zaletą jest możliwość szybkiego uruchomienia do uzyskania obciążenia nominalnego. Sprawność turbin gazowych w odniesieniu do produkcji energii elektrycznej wypada jednak przeważnie o kilka punktów procentowych gorzej niż dla silników spalinowych w rozważanym zakresie mocy. Wyższe są także koszty inwestycyjne.

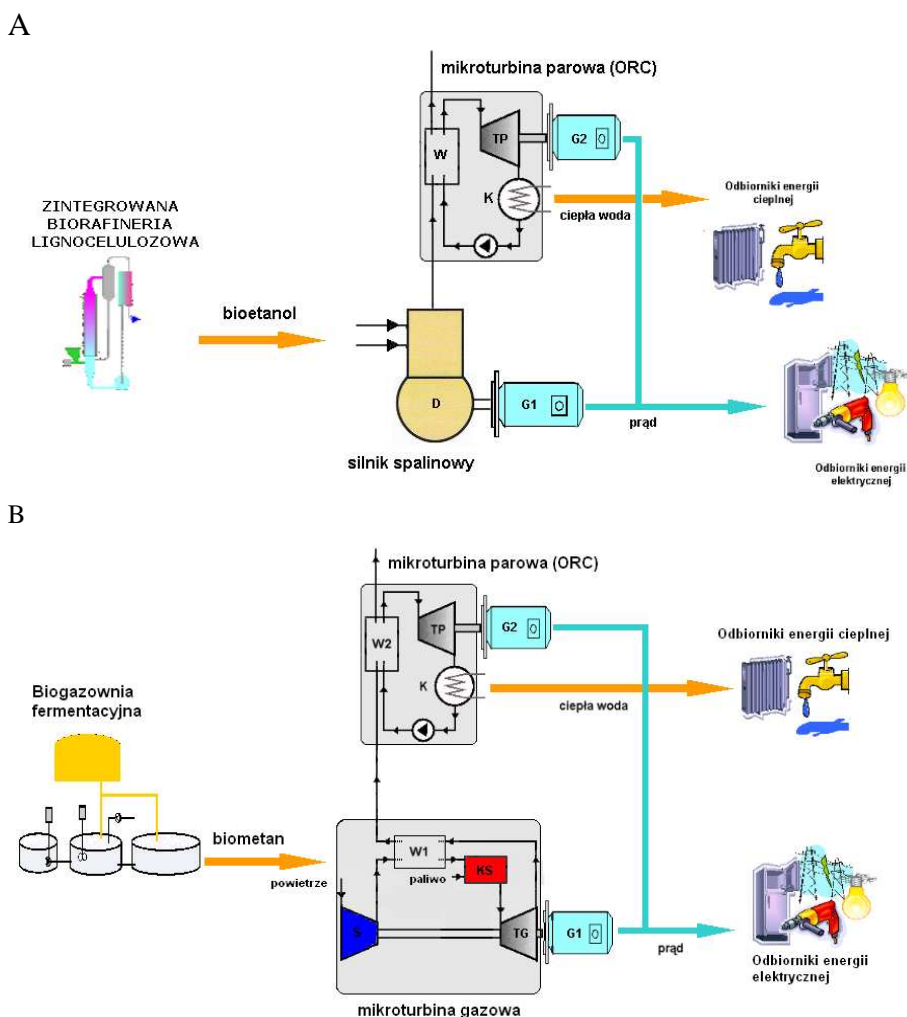


Rys. 4. Schemat obiegu cieplnego kogeneracyjnej turbiny gazowej

Odpowiednikami turbin parowych wielkiej mocy w energetyce rozproszonej są małe turbiny lub mikroturbiny parowe pracujące w organicznym obiegu Rankine'a (ORC), którego schemat przedstawiono na rys. 5. Podstawowymi elementami składowymi siłowni są: ekologiczny kocioł przystosowany do spalania różnego rodzaju biomasy i biopaliw, obieg pośredni oleju termalnego odbierający ciepło od spalin i przekazujący je do czynnika roboczego oraz obieg ORC. W parowniku obiegu ORC następuje produkcja pary czynnika roboczego niskowrzącego i jej przegrzanie. Przegrzana para rozpręża się w turbinie i z wylotu turbiny zostaje skierowana do wymiennika (kondensatora), gdzie oddaje swoje ciepło przegrzania i kondensacji dla podgrzania wody sieciowej. Turbina parowa napędza generator energii elektrycznej [4, 5]. W przyjętym rozwiązaniu prąd elektryczny stanowi ok. 10-20% mocy cieplnej układu. Rozwiązanie to jest ciekawe ze względu na jego szczególną predyspozycję do wykorzystania niskotemperaturowych źródeł ciepła, możliwość utylizacji różnych rodzajów paliwa i możliwość zastosowania budowy modułowej – a zatem łatwość dostosowania do wymaganego zakresu mocy. Urządzenia tego typu w zakresie mocy cieplnej do 20kWc i mocy elektrycznej do 4kWe mogą stanowić zaspokojenie potrzeb energetycznych odbiorców indywidualnych. Przy mocy modułu do 1000kWc i 200kWe (maksymalnie do:



Rys. 5. Siłownia kogeneracyjna w obiegu parowym ORC;
P – parownik, TP – turbina parowa, K – kondensator, G – generator.



Rys. 6. Schematy siłowni kogeneracyjnych w układzie kombinowanym: A – silnik spalinowy + układ ORC; B – turbina gazowa + układ ORC; TP – turbina parowa, K – kondensator, G1, G2 – generatory, S – sprężarka, KS – komora spalania turbiny gazowej, W, W1, W2 – wymienniki ciepła.

5MW i 1 MWe odpowiednio) mogą stanowić wyposażenie lokalnych centrów agroenergetycznych. W zakresie mocy do kilku lub kilkunastu kWe perspektywiczne są także układy kogeneracyjne z silnikiem Stirlinga (ze spalaniem zewnętrznym) oraz zbudowane na bazie stosu ogniw paliwowych.

Z myślą o rozwijaniu technologii minisiłowni kogeneracyjnych skojarzonych z układami produkcji paliw z biomasy i charakteryzujących się wysoką sprawnością produkcji energii elektrycznej (40-45%) prowadzone są prace nad realizacją obiegów kombinowanych gazowo/parowych przedstawionych na rysunku 6. Wydaje się, że największą rolę odegrają tu jednostki o mocy 0.5-2MWe. Podstawowy obieg siłowni to obieg silnika spalinowego lub turbiny gazowej, gdzie generator napędzany jest przez silnik spalinowy / turbinę gazową zasilane biopaliwem. Dodatkowym obiegiem jest obieg parowy ORC pracujący na ciepło odpadowe stanowiącym ciepło spalin oraz ciepło chłodzenia silnika / turbiny. Turbina parowa w obiegu ORC napędza drugi generator, który produkuje dodatkową energię elektryczną. Ciepło przegrzania i kondensacji czynnika roboczego układu ORC jest wówczas wykorzystywane na cele ciepłownicze.

Podsumowanie

W referacie przedstawiono zalety energetyki rozproszonej oraz omówiono wybrane układy kogeneracyjne przeznaczone dla jednostek wytwórczych energetyki rozproszonej. Szczególną uwagę zwrócono na siłownie kogeneracyjne wyposażone w układy ORC. Wydaje się, iż wiele egzemplarzy tych siłowni w perspektywie kilku/kilkunastu lat zostanie wdrożonych w jednostkach wytwórczych energetyki rozproszonej opartej na biomasie. Są to:

- mikrosiłownie kogeneracyjne o mocy cieplnej do 20 kWc i elektrycznej od kilku kWe dedykowane dla odbiorców indywidualnych jako Domowe Siłownie Kogeneracyjne,
- minisiłownie kogeneracyjne o mocy cieplnej do ok. 5 MWc i elektrycznej 1 MWe dedykowane dla gmin i powiatów (np.: jako Gminne Centra Energetyczne),
- minisiłownie kogeneracyjne w obiegu gazowo/parowym skojarzone z układami produkcji paliw z biomasy i o wysokiej sprawności produkcji energii elektrycznej w zakresie mocy 0.5-2MWe.

Literatura

- [1] Perycz S., 1992, Turbiny parowe i gazowe, Wyd. PAN, Seria Maszyny Przepływowe, Tom 10, Wrocław–Warszawa–Kraków, Zakład Narodowy im. Ossolińskich.
- [2] Distributed Energy Peer Review, December 2005, Darlington, USA.
- [3] Polimeros G., 2002, Energy Cogeneration Handbook, Industrial Press Inc.
- [4] <http://www.turboden.it/en/>
- [5] Mikielwicz J., Bykuć S., Mikielwicz D., 2006, Application of renewable energy sources to drive ORC mikro CHP, In: Heat transfer and Renewable Sources of Energy, Eds: Mikielwicz J., Nowak W., Stachel A.A.

Praca została wykonana w ramach projektu BIOENERGY PROMOTION finansowanego ze środków Unii Europejskiej (Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego i Europejski Instrument Sąsiedztwa i Partnerstwa) w ramach programu Region Morza Bałtyckiego .
