

TADEUSZ JANOWSKI  
MARIUSZ HOLUK

## ZASTOSOWANIE SILNIKA STIRLINGA W MIKROKOGENERACJI DOMOWEJ

**STRESZCZENIE** *W artykule opisano zagadnienia związane z układami skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej. Przedstawiono układy mikrokogeneracyjne wykorzystujące silnik Stirlinga. Omówiono przesłanki rozwoju mikrokogeneracji domowej w Polsce w tematyki w najbliższych latach.*

**Słowa kluczowe:** *mikrokogeneracja, energetyka skojarzona, silnik Stirlinga, odnawialne źródła energii.*

### 1. WSTĘP

---

Ograniczone zasoby energii pierwotnej, zagrożenia wywołane emisją gazów cieplarnianych, niska sprawność systemów przesyłowych energii cieplnej, wymagania wysokiej jakości energii elektrycznej przez zaawansowane technologie przemysłowe i informatyczne wymagają poszukiwania innych sposobów

---

**prof. dr hab. inż. Tadeusz JANOWSKI**  
e-mail: t.janowski@pollub.pl

Institut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii,  
Politechnika Lubelska

**mgr inż. Mariusz HOLUK**  
e-mail: mholuk@pwsz.chelm.pl

Institut Nauk Technicznych,  
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chełmie

wytwarzania, przesyłania i użytkowania energii elektrycznej i ciepłej. Jednym z rozwiązań jest idea generowania energii elektrycznej i ciepła bezpośrednio w mieszkaniu, a szczególnie w domu jednorodzinnym, pod nazwą „elektrociepłownie domowe” (ang. Power plant for Home, Combined Heat and Power for the Home – CHPH).

Koncepcja wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w skojarzeniu została przyjęta pierwotnie w 1880 roku, gdy para była najważniejszym źródłem energii w przemyśle. Obecnie powszechnie stosowane są napędy elektryczne. W XX wieku mechanizmy parowe zostały zastąpione napędami elektrycznymi. Ocenia się, że na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku około 58% całkowitej mocy zainstalowanej w Stanach Zjednoczonych w elektrociepłowniach była mocą produkowaną w skojarzeniu.

Ewentualne ataki terrorystyczne na centralne źródła ciepła i energii elektrycznej w krajach mogą spowodować chaos oraz kryzys gospodarczy. W celu eliminacji tego zagrożenia w latach 2003 – 2006 podjęto pracę nad urządzeniami, które zapewniałyby użytkownikowi bezpieczeństwo, komfort oraz funkcjonalność (Japonia, Stany Zjednoczone, Niemcy). Zastosowanie CHPH podnosi stopień wykorzystania energii ciepłej oraz eliminuje straty przesyłu energii ciepłej i elektrycznej. Mimo mniejszej sprawności generacji energii elektrycznej całkowita sprawność CHPH jest większa od dużych systemów elektroenergetycznych. Taki system podnosi bezpieczeństwo energetyczne, zmniejsza zapotrzebowanie na energię elektryczną wysokiej jakości konieczną dla zaawansowanych technologii przemysłowych, a także ułatwia wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych. Źródłem energii pierwotnej może tu być gaz naturalny, gaz ciekły, paliwa ropopochodne, wodór (ogniwa paliwowe), biogaz lub biomasa.

## 2. PODSTAWOWE POJĘCIE MIKROKOGENERACJI

Poszukiwania nowych rozwiązań dla zapewnienia zasilania elektrycznego i ogrzewania małych obiektów doprowadziły do rozwoju technologii związanych ze skojarzoną produkcją energii ciepłej i elektrycznej (ang. Micro Combined Heat and Power – microCHP) w oparciu o źródła małej mocy z wykorzystaniem źródeł odnawialnych [1]. Taką produkcję źródła ciepła i energii elektrycznej nazwano mikrokogeneracją (ang. Micro-cogeneration) lub minikogeneracją (ang. „small scale”) w zależności od mocy urządzeń.

Idea działania systemu microCHP polega na jednoczesnej produkcji dwóch lub więcej typów energii użytkowej z jednego źródła energii pierwotnej i wykorzystaniu ciepła odpadowego z urządzeń wytwarzających energię elektryczną (rys. 1).

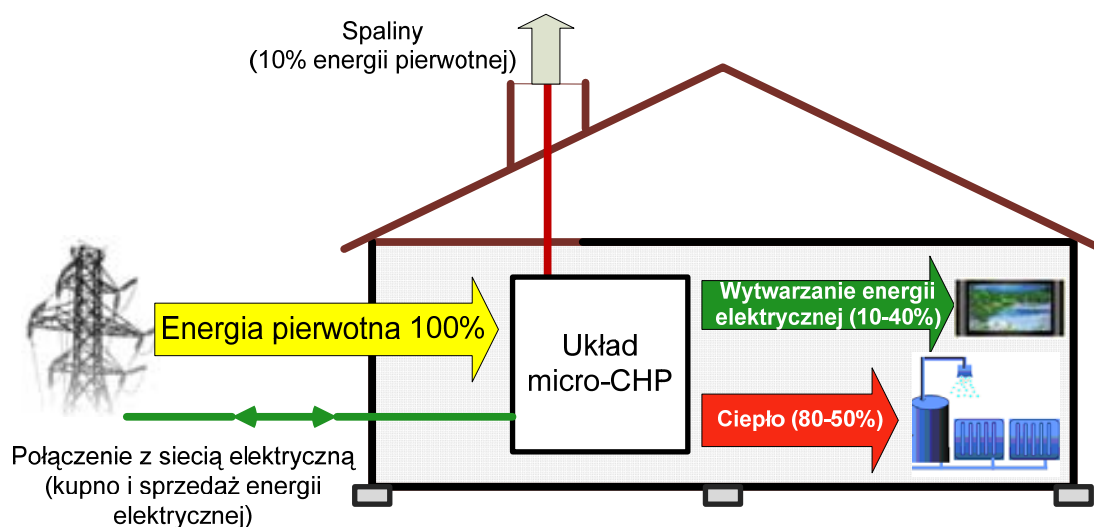


Rys. 1. Idea działania mikro-CHP [4]

Zaletą takich układów jest uniwersalność przy planowaniu umiejscowienia inwestycji. Technologie skojarzonego wytwarzania można zastosować wszędzie tam, gdzie:

- występuje jednocześnie zapotrzebowanie na ciepło i energię elektryczną,
- inwestowanie w duży układ elektrociepłowni jest niemożliwy lub nieopłacalny.

W tych miejscach instalowanie małych układów skojarzonych jest racjonalne, gdzie przez dużą liczbę godzin w roku występuje znaczne zapotrzebowanie na ciepło grzewcze i energię elektryczną.



Rys. 2. Schemat działania układów mikrokogeneracyjnych [8]

W systemie microCHP energia pierwotna w postaci gazu ziemnego i płynnego, oleju napędowego, biomasy i innych, jest przetwarzana na energię elektryczną i ciepłą. Sprawność całkowita układu wynosi ok. 90%. Energia elektryczna wytwarzana jest w alternatorze napędzanym silnikiem cieplnym, którego sprawność zawiera się w przedziale (10 – 40)%. Ciepło uzyskiwane w efekcie spalania paliw jest odzyskiwane w systemie wymienników ciepła i stanowi (50 – 80)% energii pierwotnej. Schemat działania takiego układu pokazano na rysunku 2.

Systemy małej mocy (microCHP) o mocy cieplnej poniżej 10 kW i mocy elektrycznej (1 – 5) kW stosowane są głównie dla pojedynczego gospodarstwa domowego. Idea działania takiej „mikroelektrociepłowni domowej” polega na umiejscowieniu zarówno źródła energii elektrycznej, jak i cieplnej wewnątrz zasilanego budynku. Najlepszym miejscem, gdzie można zastosować taki układ to pomieszczenie gospodarcze. Wytwarzana energia elektryczna zasila urządzenia elektryczne, natomiast ciepło wykorzystywane jest do ogrzania wody użytkowej oraz w systemie centralnego ogrzewania pomieszczeń. Takie rozwiązanie ogranicza straty ciepła do strat kominowych.

Na terenach bez rozbudowanej sieci elektrycznej proporcja energii elektrycznej i ciepła wynika z zapotrzebowania na ciepło i energię elektryczną. Z uwagi na warunki klimatyczne i geograficzne w Polsce, należy przyjąć, że w okresie letnim, kiedy nie potrzebna jest energia na ogrzewanie mieszkania – system ukierunkowany jest na wytwarzanie energii elektrycznej, natomiast w okresach wzmożonego zapotrzebowania na ciepło (okres zimowy) wzrasta udział procentowy wytwarzanego ciepła w stosunku do energii elektrycznej. Istnieje więc możliwość sprzedaży nadwyżki energii elektrycznej do systemu energetycznego lub wyłączenia niektórych elementów systemu i zakupu energii elektrycznej z sieci w okresach większego zapotrzebowania na energię elektryczną.

### 3. SILNIK STIRLINGA

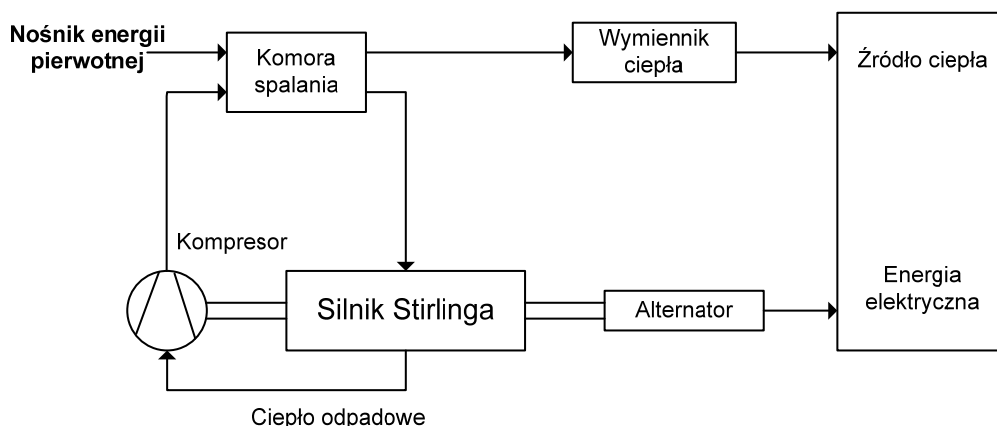
---

Obecnie coraz szersze zastosowanie znajdują małe skojarzone źródła energii, zwane mini- lub mikroelektrociepłowniami, w których do wytwarzania ciepła i energii elektrycznej wykorzystuje się mikroturbiny gazowe oraz silniki spalinowe. Ze względu na aspekty ekologiczne i ekonomiczne są to najczęściej silniki zasilane gazem ziemnym. Wynika to m.in. ze zwiększonej podaży tego gazu na rynku energii oraz mniejszej emisji substancji szkodliwych w porównaniu z systemami na paliwa ciekłe i stałe.

#### 3.1. Zasada działania silnika Stirlinga

---

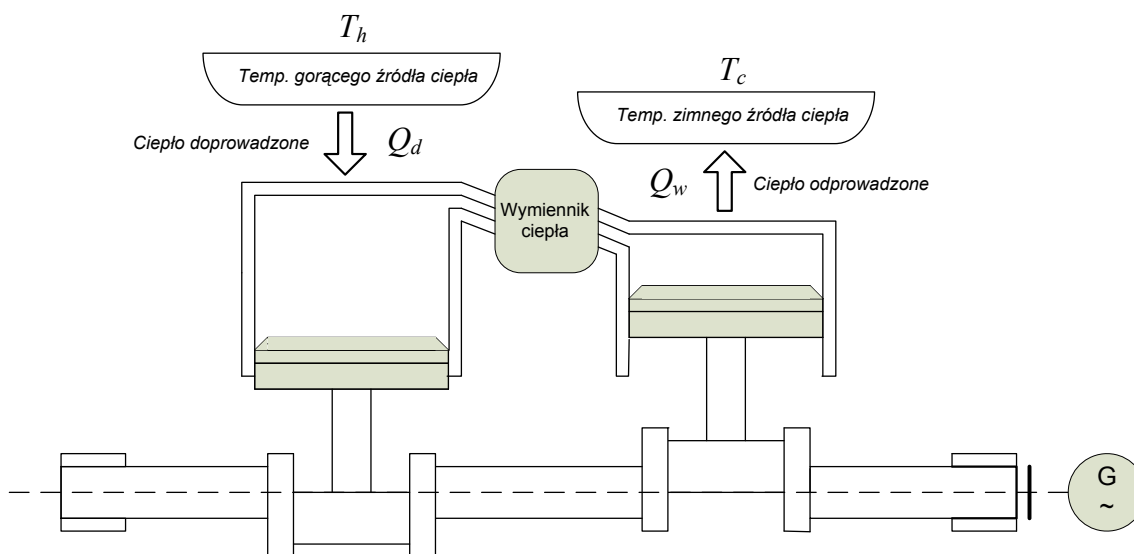
Układy skojarzone z gazowymi silnikami spalinowymi mają najczęściej postać gotowych modułów, obejmujących silnik, generator, zespół wymienników ciepła, układ odprowadzania spalin i układ wyciszania hałasu. Bardzo dużym zainteresowaniem cieszą się układy skojarzone małej mocy, w których rolę napędu dla generatora pełni silnik Stirlinga.



Rys. 3. Schemat działania Silnika Stirlinga w układzie mikroCHP

Silnik Stirlinga przetwarza ciepło na energię mechaniczną bez wybuchowego procesu spalania. Ciepło doprowadzane jest do czynnika roboczego, którym jest gaz, poprzez nagrzewanie zewnętrznej ścianki nagrzewnicy. Wskutek dostarczania ciepła z zewnątrz możliwe jest zasilanie silnika energią pierwotną praktycznie z dowolnego źródła: związki ropopochodne, węgiel, drewno, wszelkiego rodzaju paliwa gazowe, biomasa, a nawet energia słoneczna. Silnik Stirlinga doskonale nadaje się do napędzania generatorów w układach kogeneracyjnych zasilających małe obiekty.

Zasada działania silnika Stirlinga została ilustrowana na rysunku 4. W jego skład wchodzi: dwa tłoki (zimny i ciepły), regeneracyjny wymiennik ciepła, a także wymienniki ciepła pomiędzy czynnikiem roboczym, a zewnętrznymi



Rys. 4. Schemat silnika Stirlinga [5]

źródłami. Palnik (piec) dostarczający ciepło do procesu może pracować korzystając z różnych paliw (m.in. naturalny gaz, biogaz, butan, torf, benzyna, alkohol). Zewnętrzne spalanie ułatwia kontrolę procesu spalania i powoduje, że proces ten jest czystszy i wydajniejszy. Jednym z istotniejszych elementów pracujących w obiegu jest regenerator, który przejmuje ciepło od czynnika roboczego w czasie jego przepływu z przestrzeni ogrzewanej do chłodzonej.

Silnik Stirlinga pracuje w układzie stałego połączenia z zewnętrznym źródłem ciepła o temperaturze  $T_h$ , co zapewnia doprowadzenie energii napędowej na wiele sposobów. W układach tych źródłem ciepła są głównie spaliny wytworzone w procesach spalania paliw. Natomiast ciepło z obiegu odprowadzane jest do źródła o niskiej temperaturze  $T_c$ . Ostatecznie sprawność obiegu zależy od różnicy temperatury między źródłami ( $T_h - T_c$ ).

Obecnie na rynku znajduje się szereg agregatów kogeneracyjnych z wykorzystaniem silnika Stirlinga. Układy te charakteryzują się wysoką sprawnością zarówno elektryczną (20÷30)% jak i cieplną (60÷70)% co sprawia, że ich sprawność całkowita szacowana jest w ok. 90%. Czynnikiem roboczym tych silników jest hel, wodór lub powietrze.

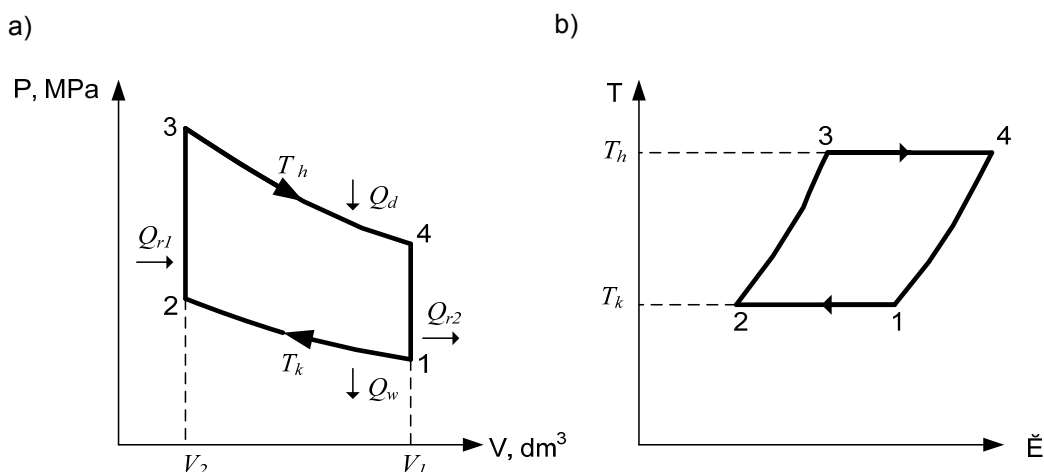
Do zalet stosowania układów CHPH można zaliczyć: wysoką sprawność całkowitą układu, niski poziom hałasu (możliwość montażu urządzenia w domu), zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> (aspekty ekologiczne), możliwość wytwarzania energii elektrycznej przy braku zapotrzebowania na ciepło, oszczędność paliwa w porównaniu z układami rozdzielonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, nadwyżki energii mogą być sprzedane do sieci oraz wzrost bezpieczeństwa energetycznego (dodatkowe źródło zasilania), niskie obroty (kompensowane w dużym stopniu z możliwością dokładnej kontroli procesu spalania paliwa), co umożliwia utrzymanie niskiej toksyczności spalin.

Oczywiście nie można zapomnieć o wadach tych silników. Aktualnie niski poziom rozwoju technologii oraz wysoki jednostkowy nakład inwestycyjny, powstrzymują od seryjnej produkcji.

### 3.2. Obieg cieplny silnika Stirlinga

Charakterystyczną cechą pracy silnika Stirlinga jest wykorzystanie ciepła do podgrzewania gazu roboczego w cylindrze. Silnik pracuje w zamkniętej przestrzeni roboczej, gdzie następują regeneracja ciepła przy stałej objętości gazu. Obieg teoretyczny działania silnika Stirlinga został przedstawiony na rysunku 5. Ciepło odzyskiwane w wymienniku ciepła i wykorzystywane w gospodarstwie domowym do grzania wody użytkowej i pomieszczeń.

Obieg ten został utworzony z kilku prostych przemian termodynamicznych z większą ilością założeń upraszczających. W czasie trwania obiegu Stirlinga czynnik termodynamiczny będący gazem doskonałym podlega kolejno czterem przemianom, podczas których następuje wymiana ciepła między gazem, a otoczeniem.



**Rys. 5. Obieg teoretyczny silnika Stirlinga w funkcji:**  
a) ciśnienia i objętości, b) temperatury i entropii [2]

W czasie przemiany 1 – 2 odbywa się sprężanie izotermiczne przy temperaturze  $T_k$  równej temperaturze dolnego źródła ciepła. Przemiana 2 – 3 to izochoryczne ogrzewanie gazu, aż do uzyskania temperatury  $T_h$  równej temperaturze górnego źródła ciepła. Izotermiczne rozprężanie w temperaturze  $T_h$  w czasie przemiany 3 – 4 sprowadza gaz do objętości początkowej  $V_1$ , przy której objętości izochoryczne są rozprężane 4 – 1 (następuje chłodzenie) [6].

Ciepło doprowadzone  $Q_{r1}$  i ciepło odprowadzone  $Q_{r2}$  podczas przemian izochorycznych są sobie równe. Dzięki temu powstaje konstrukcyjna możliwość naprzemiennego doprowadzania i odprowadzania tej samej ilości ciepła od gazu bez angażowania zewnętrznych źródeł ciepła. Elementem technicznym realizującym to zadanie jest regeneratory, który w czasie przemiany 4 – 1 odbiera ciepło od gazu i akumuluje w swoich elementach. Podczas przemiany 2 – 3, ta sama ilość ciepła zostaje przekazana powrotem do gazu.

Wymiana ciepła ze źródłami zewnętrznymi odbywa się tylko podczas izotermicznych przemian sprężania i rozprężania. W rezultacie sprawność termiczna  $\eta_t$  obiegu Stirlinga z doskonałą regeneracją wynosi [6]:

$$\eta_t = 1 - \frac{Q_w}{Q_d} \quad (1)$$

W rzeczywistości skuteczność działania regeneratora nie jest doskonała i pewna ilość ciepła  $Q_{r2}$  pobieranego przez regenerator jest tracona, dlatego ciepło oddane z powrotem do gazu wystarcza na realizację jedynie części przemiany izochorycznej 2 – 3. Aby gaz mógł osiągnąć punkt 3 należy dostarczyć dodatkową ilość ciepła z górnego źródła. Ta ilość ciepła z kolei zależy od sprawności regeneratora  $\eta_r$ , która równa się [6]:

$$\eta_r = \frac{Q_{r1}}{Q_{r2}} \quad (2)$$

Praca obiegu Stirlinga zarówno z regeneracją jak i bez regeneracji nie zależy od sprawności regeneratora  $\eta_r$ . Wynika jedynie z różnicy ciepła  $l_t$  doprowadzanego i odprowadzanego podczas przemian izotermicznych

$$l_t = Q_d - Q_w \quad (3)$$

Z kolei  $\eta_t$  i  $l_t$  zależą od stopnia sprężania  $\varepsilon$  i współczynnika temperatur  $\tau$ , gdzie:

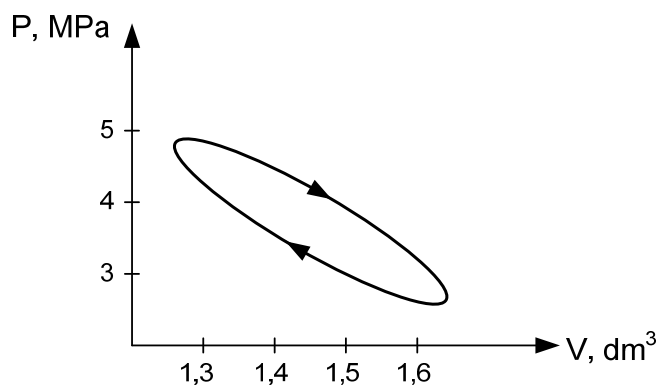
$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} \quad (4)$$

natomiast

$$\tau = \frac{T_k}{T_h} \quad (5)$$

Zwiększenie stopnia sprężania  $\varepsilon$ , sprawności regeneracji  $\eta_r$  i temperatury gorącego źródła ciepła  $T_h$  powoduje wzrost sprawności termicznej obiegu Stirlinga  $\eta_t$ . Wraz ze wzrostem stopnia sprężania  $\varepsilon$  i temperatury gorącego źródła ciepła  $T_h$  rośnie również praca obiegu teoretycznego. Z przedstawionych danych wynika, że w celu uzyskania możliwie jak największej sprawności teoretycznego obiegu Stirlinga należy zapewnić jak najdoskonalszą regenerację ciepła oraz jak najwyższą temperaturę gorącego źródła ciepła  $T_h$ . Stopień sprężania  $\varepsilon$  w większym stopniu wpływa na wielkość pracy obiegu i powinien być dobierany głównie pod kątem wskaźników konstrukcyjnych i eksploatacyjnych silnika [6].





Rys. 6. Rzeczywisty obieg indukowany silnika Stirlinga [2]

Rzeczywisty obieg indukowany pracy silnika Stirlinga różni się od obiegu teoretycznego. Ma bardzo łagodne przejście z jednej przemieniany do drugiej (rys. 6).

#### 4. OCENA SPRAWNOŚCI UKŁADÓW

Rozpoczęcie analizy opłacalności inwestycji należy rozpocząć od określenia zapotrzebowania na moc ciepłą i ciepło. Zapotrzebowanie na moc ciepłą służy do doboru urządzeń, a zapotrzebowanie na ciepło wykorzystywane jest w celu określenia zużycia paliwa w układzie [2]. Całkowite zapotrzebowanie na ciepło  $Q$  jest sumą zapotrzebowania na ciepło grzejne  $Q_g$  oraz ciepło potrzebne do przygotowania ciepłej wody użytkowej  $Q_{CWU}$ .

$$Q = Q_{CWU} + Q_g \quad (1)$$

Sprawność układu możemy zapisać poniższym wzorem:

$$\eta_{system} = \frac{Q_{el} + Q_{CWU} + Q_g}{Q_{gas}} = \frac{Q_{el}}{Q_{gas}} + \frac{Q_{CWU} + Q_g}{Q_{gas}} = \eta_{el} + \eta_Q \quad (2)$$

Jest to stosunek produkowanej energii elektrycznej  $Q_{el}$ , ciepła potrzebnego do przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz  $Q_g$  – ciepła grzejnego, przez ilość paliwa pierwotnego, wymaganego do poprawnego funkcjonowania urządzenia [3].

W celu właściwego doboru urządzeń energetycznych należy określić średnie i maksymalne zapotrzebowanie na moc ciepłą w sezonie grzewczym.

## 5. PRZYKŁADY UKŁADÓW MIKRO-CHP

Od kilku lat można zaobserwować wzrost zainteresowania tematyką związaną z odnawialnymi źródłami energii, m.in. układami kogeneracyjnymi. Aktualnie prowadzone są zaawansowane badania nad układami skojarzonej produkcji ciepła i energii elektrycznej.

W tabeli 1 zostały przedstawione systemy mikro-CHP: WhisperGen (firmy Whisper Tech), Ecogen (Baxi Group), Rehema oraz Disenco. Dwa pierwsze systemy są dostępne na rynku niemieckim, brytyjskim, holenderskim lub belgijskim. Aktualnie prowadzone są prace nad dwoma systemami (Rehema oraz Disenco), dlatego informacje tych układów są jeszcze niekompletne.

**TABELA 1**

Przykłady układów mikro-kogeneracyjnych z silnikiem Stirlinga

<b>Moc elektryczna, kW</b>	1,0	1,0	1,0	3,0
<b>Moc cieplna, kW</b>	7,5-14,0	3,5-24	24	12-18
<b>Sprawność elektryczna, %</b>	12	14	26,5	brak danych
<b>Sprawność całkowita, %</b>	90	91	90	90
<b>Wymiary, m</b>	0,48x0,64x0,56	0,95x0,45x0,43	0,91x0,49x0,47	brak danych
<b>Masa, kg</b>	150	110	brak danych	brak danych
<b>Poziom hałasu, dB</b>	<55	45	brak danych	brak danych
<b>Producent</b>	WhisperGen Ltd	Baxi Group	Rehema	Disenco

Wszystkie układy pracują w oparciu o silnik Stirlinga o mocy 1 kW lub 3 kW zasilane są gazem ziemnym lub LPG. Zakres energii wyjściowej urządzenia Ecogen waha się od 0,2 kW do 1,0 kW, natomiast wartość ciepła uzyskiwanego wynosi: (3,5 – 24) kW. Sprawność całkowita urządzenia szacowana jest na ok. 90% [7]. WhisperGen oferuje również system 1 kW energii elektrycznej, natomiast zakres źródła ciepła jest regulowany w przedziale od 7,5 do 14 kW [8]. Sprawność elektryczna wynosi 12%, cieplna – 78%, natomiast całkowita 90%.

## 6. PODSUMOWANIE

Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w kogeneracji jest istotnym zagadnieniem, zgodnym z aktualnymi tendencjami zrównoważonego rozwoju w zakresie energetyki.

Oferowane komercyjnie instalacje mikrokogeneracyjne są zasilane gazem ziemnym. Wysoka sprawność (90%) mikrokogeneracji domowej zapewnia mniejsze zużycie zasobów gazu naturalnego czym wpisuje się w tendencje zrównoważonego rozwoju. Podstawowym źródłem energii odnawialnych w Polsce jest biomasa w postaci stałej, biogazu i biopaliw. Wytwarzanie ciepła z biomasy jest stosowane w naszym klimacie od zarania dziejów, natomiast konwersja ciepła w energię elektryczną jest rozwinięta w dużych elektrowniach i elektrociepłowniach.

W mikroelektrociepłowniach domowych ( $\mu$ CHPH) wykorzystujących biomasę do przetworzenia ciepła w energię mechaniczną najbardziej predysponowany jest silnik z zewnętrznym spalaniem typu Stirlinga ponieważ:

- jest cichy i może być umieszczony w mieszkaniu,
- może być zasilony dowolnym paliwem odnawialnym biogazem, biopaliwami ciekłymi, drewnem, słomą, brykietami jak również nieodnawialnym gazem ziemnym, paliwo ropopochodne, węgiel, torf.

Powyższe wnioski są wynikiem wstępnej analizy teoretycznej, natomiast przydatność dostępnych w regionie lubelskim postaci biomasy do mikrokogeneracji wymagają szczegółowych badań eksperymentalnych. Takie badania zostaną przeprowadzone w ramach pracy doktorskiej mgr inż. Mariusza Holuk pt. „Analiza możliwości wykorzystania biomasy w kogeneracji energii elektrycznej i ciepłej w gospodarstwach rolnych”.

## LITERATURA

1. Alhakeem S.A.M., Al.-Tai M.A.: Utilisation of micro combined heat and Power system using alternative fuels, UPEC 2007, IEEE Explore.
2. Gronowicz J.: Niekonwencjonalne źródła energii, Wyd. Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Radom - Poznań, 2008.
3. Kuindersma M.: Dynamic Modeling for Control of a Kinematic Stirling Engine, University of Groningen, 2009.
4. Simader G.R., Krawinkler R., Trnka G. : Micro CHP systems: state of the art, Vienna, 2006.
5. Skorek J., Kalina J.: Gazowe układy kogeneracyjne, WNT, Warszawa, 2005.
6. Żmudzki S.: Silniki Stirlinga, WNT, Warszawa, 1993.

7. Materiały promocyjne firmy Baxi Group., [www.baxi.co.uk](http://www.baxi.co.uk).
8. Materiały promocyjne firmy WhisperGen Ltd., [www.whispergen.com](http://www.whispergen.com).

*Rękopis dostarczono dnia 19.10.2010 r.*

## THE MICROCOGENERATION SYSTEM ON STIRLING ENGINE

Tadeusz JANOWSKI, Mariusz HOLUK

**ABSTRACT** *In the article the issues connected with micro combined heat and power systems. The special attention was focused in micro-cogeneration systems on: Stirling engine. The premise of development were discussed of microchip in Poland in the following years.*



**Prof. dr hab. inż. Tadeusz JANOWSKI** ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Łódzkiej w latach 1955 – 1960. W latach 1960 – 1967 pracował w Instytucie Maszyn Elektrycznych Politechniki Łódzkiej. Od 1967 r. pracuje w Politechnice Lubelskiej. Od 1980 r. również w Instytucie Elektrotechniki w Warszawie. Stopień doktora i doktora habilitowanego uzyskał w Politechnice Łódzkiej, tytuł profesora w Politechnice Warszawskiej. Obszar działalności naukowej: Specjalne transformatory, układy zasilania reaktorów plazmowych, elektryczne urządzenia nadprzewodnikowe.

**Mgr inż. Mariusz HOLUK** ukończył studia na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej w latach 2002 – 2007. Od września 2007 roku jest doktorantem Politechniki Lubelskiej. W lutym 2008 r. rozpoczął pracę w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Chełmie na stanowisku asystenta. Obszar działalności naukowej: mikrokogeneracja, odnawialne źródła energii, automatyka budynkowa.

