

Mariusz Szewczyk

Tomasz Trzepieciński

Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

UKŁADY MIKROKOGENERACYJNE PRACUJĄCE W OPARCIU O BIOMASĘ

Streszczenie

Jednym ze sposobów przekształcenia energii chemicznej zgromadzonej w biomasie, podobnie jak w przypadku nieodnawialnych paliw chemicznych jest proces spalania przekształcający ją w wysokotemperaturową energię termiczną. Może ona być bezpośrednio wykorzystywana tylko w tej postaci, ale dzięki wysokiej egzergii może zostać również przekształcona w energię elektryczną, umożliwiając mikrokogeneracyjne wytwarzanie energii elektrycznej i termicznej. Z technologii mikrokogeneracyjnego wykorzystywania energii biomasy bezpośrednio spalanie biomasy i wykorzystanie uzyskanej energii termicznej do napędu silnika zewnętrznego spalania, np. silnika Stirlinga zasługuje – zdaniem autorów – na szczególną uwagę. Rozwój konstrukcji silników Stirlinga, które charakteryzują się wysoką sprawnością i długoletnimi okresami bezobsługowej pracy, pozwala na prognozowanie sukcesu tej technologii w układach kogeneracyjnych zasilanych biomasą, szczególnie w zakresie małych mocy. W artykule przedstawiono technologię wykorzystania biomasy do zasilania układów mikrokogeneracyjnych zawierających silnik Stirlinga.

Słowa kluczowe: biomasa, silnik Stirlinga, układ kogeneracyjny

BIOMASS POWERED MICRO-COGENERATION SYSTEMS

Summary

One of the methods of the conversion of chemical energy of biomass similarly to non-renewable chemical fuels combustion process which converts biomass energy into high-temperature thermal energy. It may be directly utilized only in this form, but thanks to high egzergy it may be also converted into electric energy making production of both electric and thermal energy possible. From the technology of cogeneration biomass utilization of the direct biomass combustion and utilization of thermal energy to power an external combustion engine e.g. Stirling engine according to authors, deserve special attention. Development of Stirling engines characterized by high efficiency and long-term period of maintenance-free operation allows to forecast the success of this technology in biomass powered cogeneration systems, especially in the range of low power. Furthermore, the technology of biomass utilization for power the Stirling engine in micro-cogeneration systems has been presented.

Keywords: biomass, Stirling engine, cogeneration system

1. Wprowadzenie

Realizowana polityka gospodarki energią ze wzrastającym udziałem odnawialnych źródeł energii (OZE), dobrze wpisuje się w potrzeby i możliwości tanich sposobów zaopatrzenia w ciepło gospodarstw indywidualnych oddalonych od możliwości zaopatrywania się w energię ze źródeł zbiorczych. Ograniczone zasoby energii ze źródeł kopalnych oraz dążenie do minimalizacji emisji gazów cieplarnianych wymagają poszukiwania nowych metod wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej. Jednym z rozwiązań jest idea produkcji energii za pomocą sprzężonego systemu wytwarzania energii ciepłej i elektrycznej bezpośrednio w gospodarstwie jednorodzinnym (ang. Combined Heat and Power for the Home – CHPH)^{1,2}.

Celem opracowania jest przedstawienie możliwości zaopatrzenia w energię gospodarstw indywidualnych w oparciu o odnawialne źródła energii, w szczególności biomasy drzewnej. Wraz ze wzrostem konkurencyjności układów mikrogeneracyjnych wykorzystujących wysokosprawne silniki Stirlinga w stosunku do tradycyjnych źródeł energii należy upatrywać zmniejszenie kosztów inwestycyjnych instalacji CHPH. Dążenie do zwiększenia udziału energii ze źródeł odnawialnych w ogólnym bilansie produkcji energii powoduje, że celowe jest wykorzystywanie silników Stirlinga o sprawności dochodzącej do 96% do celów zaspokajania potrzeb energetycznych gospodarstw domowych.

Zastosowanie systemu CHPH eliminuje straty przesyłu energii, a także podnosi stopień wykorzystania energii ciepłej oraz ułatwia wykorzystanie energii odnawialnej oraz energii pierwotnej, tj. gazu ziemnego, biopaliw i biomasy drzewnej. Uwzględniając efektywność zastosowania odnawialnych źródeł energii w gospodarstwach indywidualnych, należy przyjąć kilka założeń^{3,4}. Z punktu widzenia możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii najciekawszy jest przypadek, wynikający z przyczyn lokalizacyjnych lub założeń ekologicznych, braku dostępu do tradycyjnych nośników energii bezpośredniej, w szczególności sieciowych. Prowadzić to może do konieczności zapewnienia samowystarczalności energetycznej tak pod względem dostaw energii elektrycznej, jak i energii ciepłej. Poszukiwania nowych rozwiązań dla zapewnienia zasilania elektrycznego i ogrzewania gospodarstw indywidualnych doprowadziły do rozwoju technologii związanych ze skojarzoną produkcją energii ciepłej i elektrycznej (ang. Micro Combined Heat and Power – mCHP) pracujące w oparciu o OZE⁵. Działanie systemu mCHP polega na jednoczesnej produkcji dwóch lub więcej typów energii użytkowej z jednego źródła energii pierwotnej i wykorzystaniu ciepła odpadowego z urządzeń wytwarzających energię elektryczną (ryc. 1).

¹ Baza Danych Odnawialnych Źródeł Energii Województwa Podkarpackiego, <http://www.baza-oze.pl/> (dostęp: 31.05.2013).

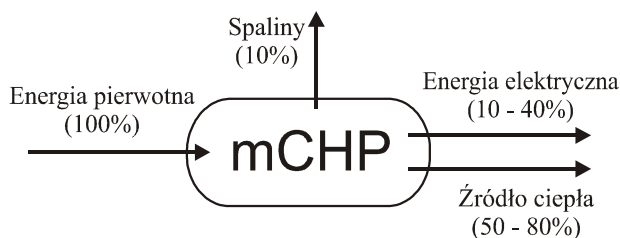
² *Stirling Engine Assessment – final report*, Palo Alto: Electric Power Research Institute Inc., <http://www.engr.colostate.edu/~marchese/mech337-10/epri.pdf> (dostęp: 31.05.2013).

³ W. Niemiec, F. Stachowicz, M. Szewczyk, T. Trzepieciński, *Analiza możliwości kompleksowego wykorzystania OZE w gospodarstwie agroturystycznym*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, Rzeszów 2010, vol. 57, s. 357–365.

⁴ W. Niemiec, M. Szewczyk, *Możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii w Województwie Podkarpackim*, Budownictwo Przemysłowe, Energooszczędność, 2010, nr 1, s. 11–14.

⁵ S.A.M. Alhakeem, M.A. Tai, *Utilisation of micro combined heat and Power system using alternative fuels*, Universities Power Engineering Conference 2007, IEEE Explore, s. 1164–1168.

Ryc. 1. Idea działania układu mikrokogeneracyjnego



Źródło: Opracowanie własne

Pierwotna energia w postaci biomasy, oleju napędowego, gazu ziemnego jest przetwarzana na energię cieplną i elektryczną, a sprawność systemu mCHP dochodzi do 90%. Energia cieplna powstała w wyniku spalania paliwa jest odzyskiwana przez system wymienników ciepła i stanowi 50–80% energii pierwotnej⁶. Alternator napędzany silnikiem cieplnym o sprawności 10–40% produkuje energię elektryczną. Pozostała część energii jest wyprowadzana z systemu w formie spalin.

Mikrokogeneracja umożliwia istotne ograniczenie zużycia paliw pierwotnych w stosunku do rozdzielonego wytwarzania tej samej ilości ciepła i energii elektrycznej. Ponadto układy mikrokogeneracyjne zintegrowane z urządzeniami chłodniczymi pozwalają na produkcję chłodu wykorzystywanego do potrzeb klimatyzacyjnych (tzw. trójgeneracja)⁷. Przy zastosowaniu układów trójgeneracyjnych istotnym czynnikiem jest możliwość uzyskania oszczędności paliw oraz zmniejszenie szkodliwej emisji spalin. Czynniki te są jednym z głównych powodów stworzenia koncepcji, według której zakłada się maksymalne wykorzystanie układów skojarzonych małej mocy w systemach rozproszonych, pracujących na potrzeby pojedynczych budynków⁸.

Najkorzystniejsze ekonomicznie są układy do jednoczesnego wytwarzania ciepła, energii elektrycznej i chłodu w budynkach o dużej powierzchni i kubaturze wykorzystujących również klimatyzację⁹. Wykorzystanie mikrokogeneracji pozwala na ograniczenie kosztów zaopatrzenia budynków w ciepło i energię elektryczną nawet do 30% w stosunku do zakupu tych mediów od dostawców zewnętrznych. Systemy mCHP o mocy cieplnej poniżej 10 kW i mocy elektrycznej 1–5 kW stosowane są głównie do zasilania indywidualnych gospodarstw domowych¹⁰.

Układy skojarzone mCHP pracują najczęściej w oparciu o silniki Stirlinga, mikro-turbiny oraz znacznie rzadziej ogniwa paliwowe. Mikroturbiny stanowią rozwinięcie koncepcji turbin gazowych wykorzystujących regeneracyjny podgrzewacz powietrza zintegrowany z tym układem.

⁶ S. van Loo, J. Koppejan, *The handbook of biomass combustion & co-firing*, Earthscan, London 2008.

⁷ <http://www.biznespro.pl/b/rozwiązania-mikrokogeneracyjne/0> (dostęp: 31.05.2013).

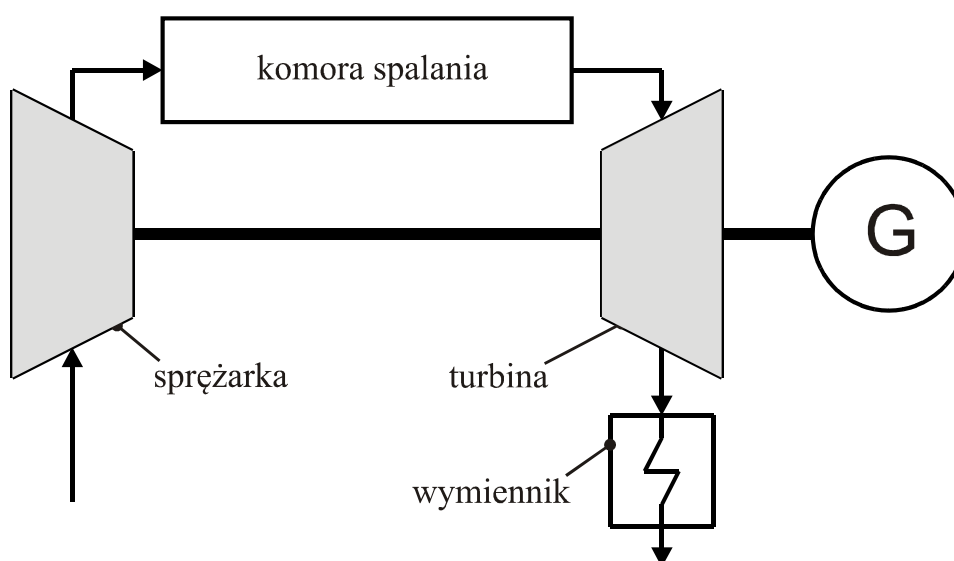
⁸ M. Tańczuk, D. Zając, *Polityka energetyczna miasta gminy Sopotu*, http://wabproject.pl/files/Ocena_mozliwosci_wykorzystania_OZE_w_Sopocie.pdf (dostęp: 31.05.2013).

⁹ T. Janowski, M. Holuk, *Odnawialne źródła energii w elektrociepłowniach domowych*, *Renewable energy sources to supply home power plants*, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (7a) 2012, s. 151–154.

¹⁰ T. Janowski, M. Holuk, *Zastosowanie silnika Stirlinga w mikrokogeneracji domowej*, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, z. 249, Warszawa 2011, s. 117–128.

Mikroturbina jest stacjonarnym turbozespołem gazowym, charakteryzującym się niewielką mocą elektryczną rzędu 25–500 kW, składającym się ze sprężarki i turbiny promieniowej oraz regeneracyjnego podgrzewacza powietrza zintegrowanego z całym układem (ryc. 2). Biogaz jest wprowadzany do komory spalania mikroturbiny, w której panuje nadciśnienie rzędu kilku barów, dlatego konieczne jest podniesienie jego ciśnienia przy pomocy sprężarki. Wskutek ciągłego spalania z nadmiarem powietrza i niskimi ciśnieniami w komorze spalania mikroturbiny wykazują w stosunku do silników spalinowych wyraźnie mniejsze wartości emisji spalin. Mikroturbiny gazowe spalają biogaz o zawartości metanu od 35 do 100%. Wśród wielu zalet wykorzystania mikroturbin należy szczególnie zwrócić uwagę na wysoką niezawodność zdeterminowaną małą liczbą elementów wirujących i ruchomych.

Ryc. 2. Idea układu kogeneracyjnego z mikroturbiną



Źródło: Opracowanie własne

Turbiny promieniowe charakteryzują się niskimi stopniami sprężania oraz niezbyt wysoką temperaturą spalania przy sprawności 25–30%, a więc na poziomie obowiązującym dla klasycznych turbin¹¹. Sprawność cieplna osiągnięta przez układy z mikroturbinami waha się w zakresie 40–60%, a ich sprawność całkowita zwana wskaźnikiem wykorzystania energii chemicznej paliwa wynosi ponad 80%¹². Dodatkową zaletą stosowania układów mikrokogeneracyjnych jest brak strat przesyłowych energii w porównaniu do tradycyjnych linii przesyłowych oraz redukcja emisji gazów cieplarnianych. Zmniejszenie emisji CO₂ dochodzi do 0,5 kg na każdą 1 kWh wytworzonej energii. Systemy kogeneracyjne wykorzystujące energię chemiczną biopaliw i biogazu pracują, m.in. w oparciu o silnik gazowy, silnik Elsbett'a lub silnik Ericsson'a.

¹¹ J. Skorek, J. Kalina, *Gazowe układy kogeneracyjne*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.

¹² J. Vos, *Biomass energy for heating and hot water supply in Belarus*, <http://energoeffekt.gov.by> (dostęp: 31.05.2013).

Najpopularniejsze na rynku są systemy kogeneracji o mocach od około 100 kW nawet do kilkudziesięciu MW¹³, często są to moduły kontenerowe, umieszczane na zewnątrz budynków. Systemy mikrokogeneracyjne przeznaczone są przede wszystkim do zastosowania w gospodarstwach indywidualnych, których zapotrzebowanie na energię elektryczną nie przekracza 3–5 kW. Ich gabaryty są zbliżone do popularnych kotłów grzewczych na gaz płynny¹⁴. Ze względu na konieczność zapewnienia ciągłości dostaw ciepła układy mikrokogeneracyjne, zwłaszcza te z silnikami Stirlinga, wyposażone są w tzw. buforowe zasobniki ciepła.

2. Technologia wykorzystania biomasy

Rolnictwo jest podstawowym źródłem energii odnawialnej, ponieważ odnawialność tego zasobu zawiera się w przedziale od kilku miesięcy do 2 lat¹⁵. Trudności z dostępnością źródła energii są zdecydowanie mniejsze w przypadku energii biomasy. Cały obszar Polski posiada warunki do produkcji biomasy, a zatem każde gospodarstwo posiadające dostateczny areal może zapewnić sobie niezbędną ilość energii w postaci energii chemicznej zgromadzonej w biomacie. Przykład technologii produkcji energii z biomasy przedstawiono na rycinie 3. Pierwszym etapem przetworzenia energii chemicznej jest, analogicznie jak w przypadku nieodnawialnych paliw chemicznych, proces spalania przekształcający ją w wysokotemperaturową energię termiczną. Może ona być bezpośrednio wykorzystywana tylko w tej postaci, ale dzięki wysokiej egzergii może zostać również z zadawalającą sprawnością przekształcona w energię elektryczną, umożliwiając kogeneracyjne wytwarzanie energii elektrycznej i termicznej. Takie rozwiązanie jest możliwe, ponieważ biomasa, jak zdecydowana większość nośników energii chemicznej, ma bardzo dobre właściwości magazynowania, co gwarantuje wysoką dyspozycyjność układów energetycznych opartych na biomacie¹⁶.

Z technologii kogeneracyjnego wykorzystywania energii biomasy, które mogłyby spełnić wymagania rozważanej klasy zastosowań, takich jak: fermentacja beztlenowa i spalanie biogazu w silniku spalania wewnętrznego, rozkład termiczny i wykorzystanie gazu syntezowego do napędu silnika wewnętrznego lub zewnętrznego spalania, bezpośrednio spalanie biomasy i wykorzystanie uzyskanej energii termicznej do napędu silnika zewnętrznego spalania na szczególną uwagę zasługuje ostatnie rozwiązanie. Charakteryzuje się ono bowiem bardzo dobrą skalowalnością szczególnie w stronę instalacji małych, prostotą rozwiązania układu transformacji energii chemicznej na termiczną, możliwością prawie całkowitej automatyzacji procesu oraz wysokimi rezerwami wszystkich elementów układu.

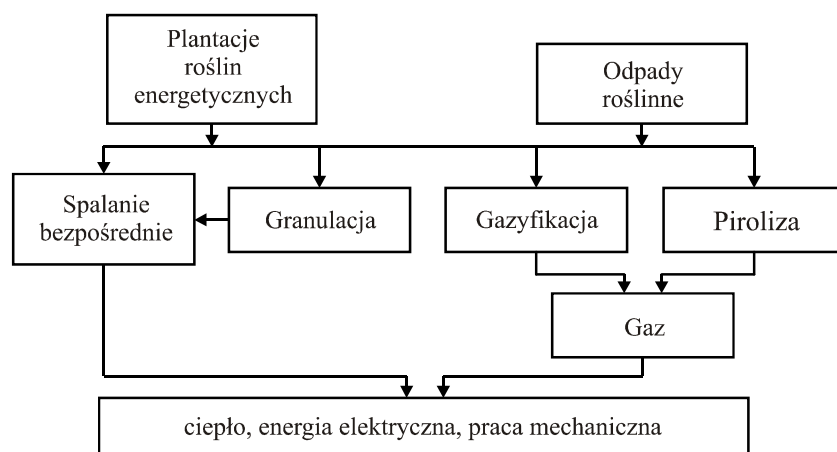
¹³ <http://www.alenergia.de> (dostęp: 31.05.2013).

¹⁴ <http://gaspol.pl/kogeneracja0/> (dostęp: 31.05.2013).

¹⁵ Baza Danych Odnawialnych Źródeł Energii Województwa Podkarpackiego, <http://www.baza-oze.pl/> (dostęp: 31.05.2013).

¹⁶ M. Szewczyk, T. Trzepieciński, *Application of biomass-powered Stirlings engines in co-generative system*, ECONTECHMOD: An International Quarterly Journal on Economics of Technology and Modelling Processes, vol. 1, Lublin 2012, s. 53–56.

Ryc. 3. System produkcji energii oparty o biomasę

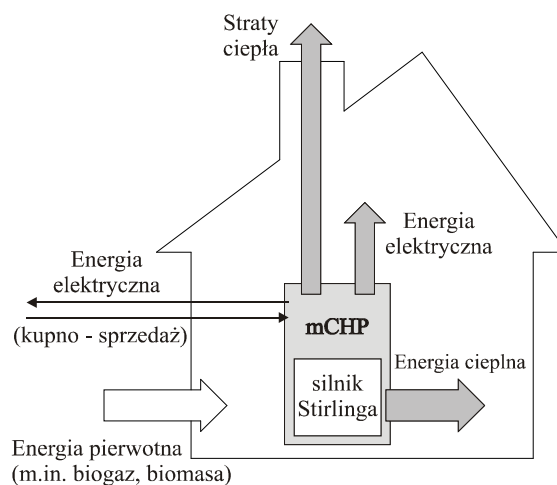


Źródło: Opracowanie własne

3. Systemy kogeneracyjne z silnikami Stirlinga

Silnik Stirlinga to silnik cieplny, który przetwarza energię cieplną w energię mechaniczną, jednak bez procesu wewnętrznego spalania paliwa, a na skutek dostarczania ciepła z zewnątrz, dzięki czemu możliwe jest zasilanie go ciepłem wytwarzanym ze spalania dowolnego paliwa, w tym paliwa stałego^{17,18}. Cykl pracy silnika jest zbliżony do cyklu Carnota, co zapewnia mu stosunkowo wysoką sprawność. Układy mCHP z silnikami Stirlinga zwane są często mikroelektrociepłowniami domowymi (ryc. 4).

Ryc. 4. Mikroelektrociepłownia domowa



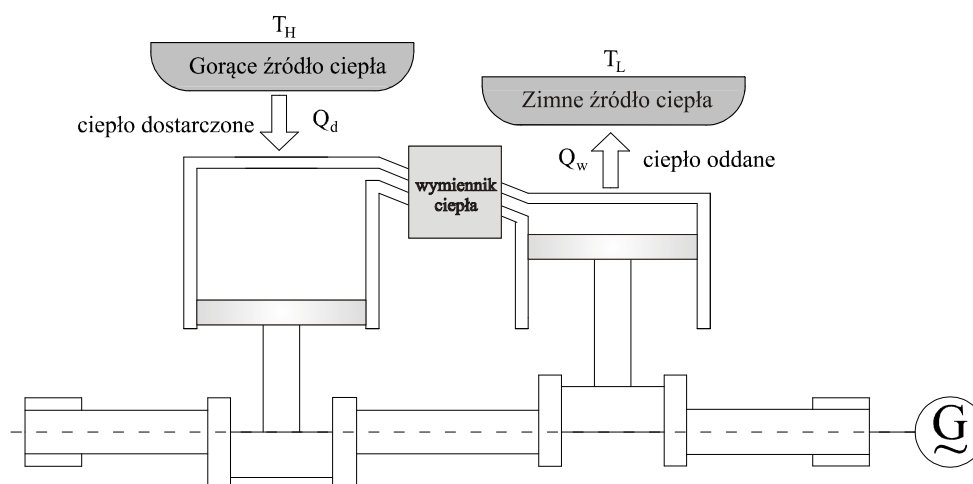
Źródło: Opracowanie własne

¹⁷ R. Szczerbowski, *Mikrogeneracja ciepła i energii elektrycznej w lokalnych systemach zasilania*, http://www.cire.pl/pliki/2/Mikrogeneracja_Technika.pdf (dostęp: 31.05.2013).

¹⁸ S. Żmudzki, *Silniki Stirlinga*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993.

Rozwój konstrukcji silników Stirlinga, które w wersji bezkorbowej z prądnicami liniowymi charakteryzują się sprawnością przewyższającą 20% i okresami bezobsługowej pracy wynoszącej 20 i więcej lat, pozwala na prognozowanie sukcesu tej technologii w układach kogeneracyjnych zasilanych biomasą, szczególnie w obszarze małych mocy¹⁹. Silnik Stirlinga przetwarza ciepło na energię mechaniczną bez realizacji procesu spalania wybuchowego. Ciepło jest dostarczane do zewnętrznych ścianek elementu grzewczego (ryc. 5). Do zasilania silnika Stirlinga można wykorzystać ciepło pochodzące ze spalania, m.in. drewna, węgla, alkoholu, gazu ziemnego, ropy naftowej i biomasy. Klasyczny silnik Stirlinga składa się z dwóch tłoków, z których jeden jest ogrzewany, a drugi ochładzany, regeneracyjnego wymiennika ciepła oraz wymienników ciepła pomiędzy medium roboczym a źródłami zewnętrznymi. Proces spalania zewnętrznego ułatwia monitorowanie procesu spalania i sprawia, że proces ten charakteryzuje się wysoką efektywnością. Zasadniczą częścią obiegu systemu jest regenerator, który przejmuje ciepło od czynnika roboczego w czasie jego przepływu z przestrzeni ogrzewanej do chłodzonej. Sprawność cyklu pracy silnika Stirlinga zależy od różnicy temperatur pomiędzy źródłami ciepła i chłodu ($T_H - T_L$).

Ryc. 5. Schemat silnika Stirlinga



Źródło: Opracowanie na podstawie: J. Skorek, J. Kalina, *Gazowe układy kogeneracyjne*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.

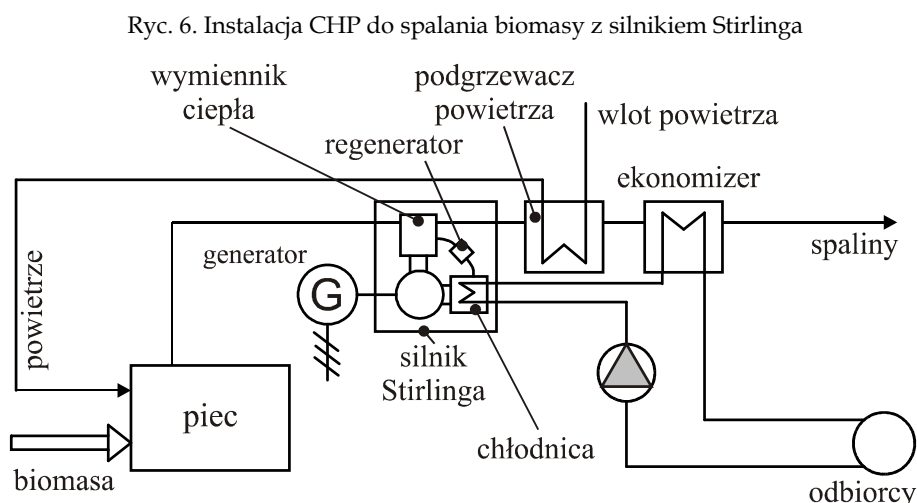
Typowym zastosowaniem silnika Stirlinga jest instalacja CHP zasilana energią biomasy (ryc. 6). W silniku Stirlinga energia cieplna nie jest wytwarzana poprzez spalanie wewnętrzne, ale dostarczana z zewnątrz w wyniku spalania biomasy poprzez wymiennik ciepła. Ciepło jest przekazywane do gazu roboczego poprzez „ciepły” wymiennik ciepła o temperaturze 680°C–780°C²⁰. Temperatura wody chłodzącej w „zimnym” wymienniku ciepła wynosi 25°C–75°C. Bardziej konkurencyjne niż autonomiczne instalacje

¹⁹ *Stirling Engine Assessment – final report*, Palo Alto, Electric Power Research Institute Inc., <http://www.engr.colostate.edu/~marchese/mech337-10/epri.pdf> (dostęp: 31.05.2013).

²⁰ J. Vos, *Biomass energy for heating and hot water supply in Belarus*, <http://energoeffekt.gov.by> (dostęp: 31.05.2013).

energetyczne są małe układy gazogeneratorowe z silnikiem Stirlinga (ryc. 7). Spaliny będące wynikiem spalania gazu syntetycznego są doprowadzane za pomocą przewodu bezpośrednio do głowicy nagrzewnicy. Wytwarzanie energii elektrycznej przez silnik Stirlinga z energii cieplnej spalin odbywa się w sposób w pełni zautomatyzowany. Temperatura „ciepłego” wymiennika ciepła jest proporcjonalna do szybkości przepływu i temperatury spalin. Przedstawiona technologia pozwala na wykorzystanie biomasy w instalacji zewnętrznego spalania i otrzymanie mocy całkowitej do 25 kW.

Wydajność instalacji CHP z jednym silnikiem Stirlinga wynosi do 35 kW natomiast w przypadku wykorzystywania przez układ CHP większej ilości silników całkowita moc instalacji dochodzi do 140 kW²¹.

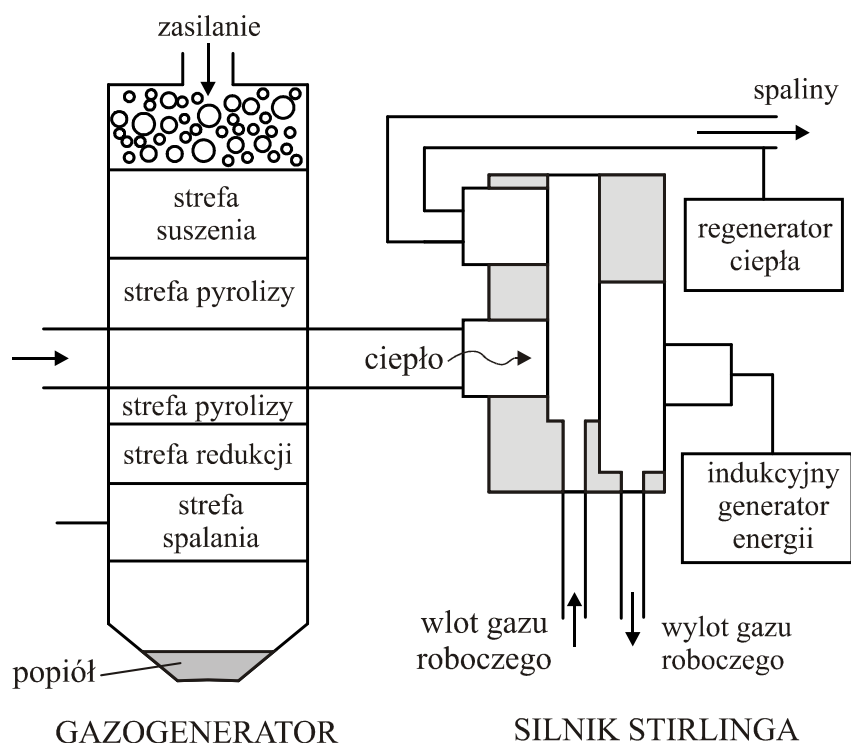


Źródło: Opracowanie własne na podstawie: J. Vos, *Biomass energy for heating and hot water supply in Belarus* (<http://energoeffekt.gov.by>)

Na rynku możemy znaleźć ofertę kompaktowych mikrokogeneratorów z silnikami Stirlinga, przy czym w celu osiągnięcia dużych sprawności konstrukcja klasycznego silnika Stirlinga poddawana jest mniejszym lub większym modyfikacjom. Przykładem modułu mikrokogeneracyjnego jest urządzenie firmy Baxi Technologies o mocy cieplnej 12,5 kW i mocy elektrycznej 5,5 kW, które pozwala w pełni zaspokoić potrzeby jednorodzinne gospodarstwo domowe. Mikrokogeneratory Hondy zasilane gazem ziemnym 1 kW Microgen'a i Otag zapewniają odpowiednio moc elektryczną równą odpowiednio 1-2 kW i 3 kW. Układ mikrokogeneracyjny firmy Whisper Tech Ltd. charakteryzuje się zwartą i kompaktową budową, a nowatorska konstrukcja silnika Stirlinga umożliwia pracę z całkowitą sprawnością równą 96%. Moduł kogeneracyjny o mocy cieplnej 10 kW i elektrycznej 2 kW firmy Senertec GmbH wyposażony jest w dodatkowy palnik umożliwiający dogrzewanie domu. Większość produkowanych układów mCHP zwłaszcza z silnikami Stirlinga wyposażonych jest w tzw. buforowe zasobniki ciepła zapewniające ciągłość dostaw ciepła.

²¹ <http://stirling.dk/> (dostęp: 31.05.2013).

Ryc. 7. Sprzężenie gazogeneratora z silnikiem Stirlinga



Źródło: Opracowanie własne na podstawie: J.H. Leu, *Biomass power generation through direct integration of updraft gasifier and Stirling engine combustion system*

Przykładowe nakłady inwestycyjne na zakup i zabudowę układów mikrogeneracyjnych kształtują się następująco^{22,23}:

- ♦ układy CHP z turbiną – 1300 – 2500 \$ za 1 kW zainstalowanej mocy elektrycznej,
- ♦ układy CHP z silnikiem Stirlinga – 2000 – 5000 \$ za 1 kW zainstalowanej mocy elektrycznej,
- ♦ blok mikrogeneracyjny o mocy elektrycznej 2 kW i mocy cieplnej 10 kW z dodatkowym palnikiem oraz zasobnikiem o pojemności 1500 – 2000 litrów – 12 000 euro.

4. Podsumowanie

Technologia mikrogeneracyjna należy do technologii mało konkurencyjnych w stosunku do tradycyjnego zaopatrywania w energię domów jednorodzinnych ze względu na wysokie koszty inwestycyjne. Wzrost konkurencyjności na rynku układów mikrogeneracyjnych sprawia, że należy się spodziewać spadku kosztów inwestycyjnych oraz wzrostu popytu na rynku tych układów.

²² M. Tańczuk, D. Zając, *Polityka energetyczna miasta gminy Sopotu*, http://wabproject.pl/files/Ocena_mozliwosci_wykorzystania_OZE_w_Sopocie.pdf (dostęp: 31.05.2013).

²³ *Building integrated cooling, heating & power for cost-effective carbon mitigation. Status and prospects for Canada, China, India and the USA*. Wade – World Alliance for Decentralized Energy, 2005.

Podstawą wykorzystania jakiegokolwiek źródła energii jest jego dostępność. W przypadku niektórych technologii biomasowych można się oprzeć na jej źródłach naturalnych lub odpadach produkcyjnych. Nie wszystkie jednak technologie tolerują każdą postać biomasy, a niezbyt duża w porównaniu z innymi technologiami pozyskiwania energii promieniowania słonecznego sprawność fotosyntezy powoduje konieczność zakładania specjalistycznych plantacji roślin energetycznych. Implementacja proponowanego sposobu wykorzystania biomasy w celu zaspokojenia potrzeb energetycznych samowystarczalnego energetycznie domu jednorodzinnego wymaga przeprowadzenia specjalistycznych badań rozwiązań technicznych zastosowanych w urządzeniach do produkcji i przerobu biomasy drzewnej oraz biomasowym układzie kogeneracyjnym z silnikiem Stirlinga. Biomasa pozyskiwana z plantacji biomasy drzewnej charakteryzuje się wysoką zawartością wilgoci, w związku z czym wymaga podsuszania w zadaszonym magazynie, do którego to procesu można wykorzystać energię promieniowania słonecznego.

Prezentowany zakres badań realizowany będzie przez Katedrę Termodynamiki i Mechaniki Płynów w Międzyuczelnianym Wielofunkcyjnym Lotniczym Laboratorium Naukowo-Badawczym Politechniki Rzeszowskiej w Akademickim Ośrodku Szybowcowym w Bezmiechowej Górnej. Działania w tym zakresie realizowane będą we współpracy z Lwowskim Państwowym Uniwersytetem Rolniczym w ramach „Programu Współpracy Transgranicznej Polska – Białoruś – Ukraina 2007–2013” w projekcie „Bio-Energetyka”.

Bibliografia

1. Alhakeem S.A.M., Tai M.A., *Utilisation of micro combined heat and Power system using alternative fuels*, Universities Power Engineering Conference, IEEE Explore, 2007.
2. *Building integrated cooling, heating & power for cost-effective carbon mitigation. Status and prospects for Canada, China, India and the USA*, Wade - World Alliance for Decentralized Energy, 2005.
3. Janowski T., Holuk M., *Odnawialne źródła energii w elektrociepłowniach domowych*, *Renewable energy sources to supply home power plants*, Przegląd Elektrotechniczny, vol. 88, 2012.
4. Janowski T., Holuk M., *Zastosowanie silnika Stirlinga w mikrogeneracji domowej*, Prace Instytutu Elektrotechniki, z. 249, Warszawa 2011.
5. Leu J.H., *Biomass power generation through direct integration of updraft gasifier and Stirling engine combustion system*, *Advances in Mechanical Engineering*, 2010.
6. Niemiec W., Stachowicz F., Szewczyk M., Trzepieciński T., *Analiza możliwości kompleksowego wykorzystania OZE w gospodarstwie agroturystycznym*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, vol. 57, Rzeszów 2010.
7. Niemiec W., Szewczyk M., *Możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii w Województwie Podkarpackim*, Budownictwo Przemysłowe, Energooszczędność, nr 1, 2010.
8. Skorek J., Kalina J., *Gazowe układy kogeneracyjne*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
9. Szewczyk M., Trzepieciński T., *Application of biomass-powered Stirling engines in co-generative system*, *Econtechmod: An International Quarterly Journal on Economics of Technology and Modelling Processes*, vol. 1, Lublin 2012.
10. Van Loo S., Koppejan J., *The handbook of biomass combustion & co-firing*, Earthscan, London 2008.
11. Żmudzki S., *Silniki Stirlinga*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993.

Źródła internetowe

1. Baza Danych Odnawialnych Źródeł Energii Województwa Podkarpackiego (<http://www.baza-oze.pl/>)
2. *Stirling Engine Assessment – final report*, Palo Alto: Electric Power Research Institute Inc. (<http://www.engr.colostate.edu/~marchese/mech337-10/epri.pdf>)
3. Szczerbowski R., *Mikrogeneracja ciepła i energii elektrycznej w lokalnych systemach zasilania* (http://www.cire.pl/pliki/2/Mikrogeneracja_Technika.pdf)
4. Tańczuk M., Zając D., *Polityka energetyczna miasta gminy Sopotu* (http://wabproject.pl/files/Ocena_mozliwosci_wykorzystania_OZE_w_Sopocie.pdf)
5. Vos J., *Biomass energy for heating and hot water supply in Belarus* (<http://energoeffekt.gov.by>)
6. <http://gaspol.pl/kogeneracja0>
7. <http://stirling.dk>
8. <http://www.alenergia.de>
9. <http://www.biznespro.pl/b/rozwiazania-mikrokogeneracyjne/0>