

Possibilities of usage Stirling engines in agropowerplants

This paper describes same technical possibility of Stirling engine applying in cogeneration plants. After all it seems that small ecologic agropowerstations are the better places to applied different kinds of Stirling engines. Stirling engine usage gives possibility to increase energetic efficiency of local spread renewable energy sources. The usage of Stirling engine in cogeneration systems are more interesting compared with other combustion engines. This kind of engines does not have to use more and more expensive fuels and can use waste heat. The Stirling engine can be used in two ways: as high or low temperature systems. However Stirling engines are very quietly and give same opportunity to produce hydrogen with technical or energetically quality. Possibility of wide spread, ecologic and relatively cheap production of hydrogen is very interesting for renewable energy sources and ecologic fuels for transport vehicles.

Key words: Stirling engine, agropowerplants, Hydrogen

Możliwości zastosowania silników o obiegu Stirlinga w agroenergetyce

Streszczenie: W artykule opisano możliwości zastosowań silników o obiegu Stirlinga w instalacjach energetycznych i w transporcie. Rozważania ukierunkowano na małe instalacje energetyczne wykorzystujące odnawialne źródła energii. W zakresie opracowania wskazano celowość podziału zastosowań na dwa zakresy temperaturowe zewnętrznego źródła ciepła doprowadzanego do nagrzewania silników realizujących termodynamiczne obiegi zbliżone do obiegu Stirlinga. Zwrócono również uwagę na możliwość wykorzystania generatorów elektrycznych napędzanych przez silniki Stirlinga do produkcji wodoru technicznego oraz wodoru energetycznego. Wyjaśniono przy tym, dlaczego ta propozycja może być istotna dla szerszego wykorzystania wodoru jako paliwa energetycznego z uwzględnieniem zastosowań transportowych.

Słowa kluczowe: silniki Stirlinga, agroenergetyka, wodór

Pracę finansowało Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz przedsiębiorstwo ENERGA S.A. w ramach strategicznego programu badań naukowych i rozwojowych pt.: „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii” Finansowanie pracy jest ujęte w budżecie zadania badawczego nr 4 pt.: „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych”.

1. Wprowadzenie

Silniki Stirlinga są gazowymi silnikami cieplnymi o ograniczonej objętości roboczej oraz wymianą ciepła przy stałej ilości gazu roboczego. Silniki te najczęściej są zaliczane do silników spalinyowych o spalaniu zewnętrznym i cieplnej regeneracji termodynamicznych właściwości gazu roboczego przy stałej jego objętości. Szczególne podkreśla się, iż są to silniki cieplne, gdyż pochodzenie ciepła nie ma znaczenia dla ich sposobu działania. Może to być zarówno ciepło uzyskiwane ze spalania różnorodnych paliw stałych, ciekłych i gazowych, jak również ciepło słoneczne, geotermiczne oraz tracone w obecnie realizowanych procesach energetycznych ciepło opadowe. Silników pracujących na podobnych zasadach powstało wiele i dla uproszczenia nazywa się je nazwiskiem Roberta Stirlinga, który w 1816 roku uzyskał patent angielski (nr 4081). Stało się tak, gdyż silnik zbudowany, opisany i promowany przez Stirlinga był najlepiej znaną konstrukcją tego typu. Dodatkowo motywa-

cja jego budowy wynikała z chęci usunięcia negatywnych cech oraz zagrożeń powodowanych przez inne rodzaje powszechnie wykorzystywanych silników. Według oryginalnej propozycji silnik Stirlinga wykorzystywał powietrze jako gaz roboczy i powstał w atmosferze konkurencji z maszynami parowymi. Cechą szczególną pracy silników Stirlinga jest niezwykle cicha praca. Ta cecha jest atrakcyjna dla zastosowań wojskowych, ale również ma ona duże znaczenie dla komfortu życia ludzkiego (strefy zamieszkania, redukcja hałasu w przemyśle), rekreacji (jachty, samoloty) oraz ekologii na obszarach rolniczych i leśnych.

2. Zasada pracy silników Stirlinga

Z technicznego punktu widzenia silniki Stirlinga mogą pracować ze stałą, albo nieograniczoną objętością gazu roboczego. Jednak przy pracy z jednorazowym przepływem nieograniczonej objętości gazu roboczego (np. powietrza) ich praktyczna efektywność ekonomiczna jest bardzo mała. Z tego

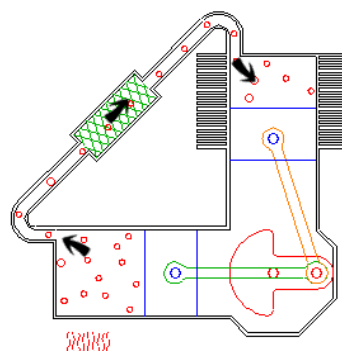
względem taka możliwość napędu nie jest współcześnie rozwijana. Ograniczona objętość gazu roboczego stwarza możliwości budowy silników spalinowych o praktycznej efektywności energetycznej porównywalnej do współczesnych silników cieplnych z wewnętrznymi komorami spalania. W tym przypadku porównania najczęściej przeprowadza się wykorzystując wartości bezwymiarowych współczynników sprawności energetycznej silników Stirlinga odnosząc je do wartości uzyskiwanych w tłokowych silnikach spalinowych. Ocenia się, iż silniki Stirlinga w praktyce mogą osiągać sprawności wynoszące 50 % teoretycznego obiegu Carnota. Oznacza to, iż ich sprawności mogą być wyższe od sprawności uzyskiwanych w powszechnie spotykanych silnikach spalinowych.

Pomimo wieloletniego dążenia do ograniczania kosztów, silniki Stirlinga są droższe od najczęściej stosowanych silników spalinowych. W porównaniu z tłokowymi silnikami spalinowymi są one ponad dwa razy droższe, lecz koszty eksploatacyjne mogą być nawet cztery razy mniejsze. Niskie koszty eksploatacyjne wynikają z możliwości wykorzystania do produkcji energii cieplnej niezbędnej do pracy silników Stirlinga tanich, powszechnie dostępnych i niekonkurujących z paliwami trakcyjnymi nośników energii. Możliwość wykorzystania tanich, różnorodnych i często zmienianych nośników energii powoduje rosnące zainteresowanie tymi silnikami. Dodatkowo silniki te pozwalają na wykorzystywanie traconego ciepła odpadowego pochodzącego z produkcji energii cieplnej wytwarzanej na potrzeby ciepłownictwa, klimatyzacji i elektrycznych sieci zasilających. Ciepło odpadowe charakteryzuje się wysoką entropią, charakteryzującą stosunkowo małą gęstość energii. Obecnie coraz bardziej odczuwalne stają się techniczne trudności w wykorzystaniu nośników energii o niskich parametrach termodynamicznych. Uwzględniając stosunkowo niskie sprawności współcześnie wykorzystywanych cieplnych układów energetycznych, które najczęściej nie przekraczają 30 %, można powiedzieć, iż na każdą jedną część wyprodukowanej energii tracimy dwa razy więcej energii w formie strat ciepła. Silniki Stirlinga stwarzają perspektywę wykorzystania przynajmniej części tej bezpowrotnie traconej energii. Dodatkowo dzięki nim powstaje techniczna możliwość wykorzystania wielu różnorodnych źródeł rozproszonej energii cieplnej. W wielu przypadkach są to źródła tzw. ekologicznej energii odnawialnej dostępnej na wielu rozproszonych obszarach gospodarki rolniczej i leśnej. Od niedawna techniczne aspekty wykorzystania tego typu nośników energii nazywane są agroenergetyką. Uwzględniając wcześniej wymienione okoliczności można stwierdzić, iż sprawności wykorzystania energii w samych silnikach Stirlinga stają się mniej istotne, gdyż zazwyczaj dzięki nim istnieje możliwość wykorzystania energii, której nie można wykorzystać innymi metodami. Z tego względu nie

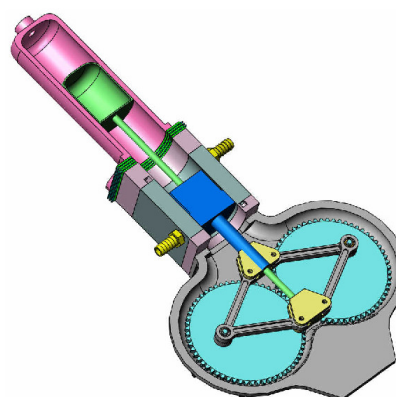
ma konieczności wykorzystania w tych silnikach najlepszego gazu oraz najwyższego z możliwych ciśnień.

3. Odmiany silników Stirlinga

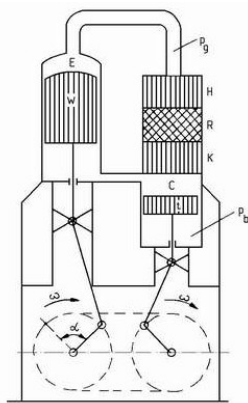
Obecnie znane są odmiany silników Stirlinga o bardzo różnorodnych postaciach konstrukcyjnych. Najliczniejszą grupę silników tego typu stanowią silniki doświadczalne. Najbardziej charakterystyczną cechą silników doświadczalnych są: małe wymiary, bardzo małe moce, mała liczba elementów konstrukcyjnych oraz bardzo mała gęstość mocy odniesiona do jednostki masy. Silniki doświadczalne z założenia nie służą do ciągłej i wydajnej pracy energetycznej. Ich cechą charakterystyczną jest to, iż najczęściej posiadają minimalną liczbę cylindrów. Z uwagi na bardzo dużą różnorodność takich silników pojawiła się potrzeba wprowadzenia klasyfikacji. Z tego względu najczęściej wyróżnia się silniki Stirlinga typu α , β i γ [2]. Poniżej na rysunkach 1, 2, i 3, zilustrowano tę klasyfikację. W zasadzie dotyczy ona sposobu sprzęgania tłoków realizujących jeden termodynamiczny obieg Stirlinga. W silnikach o większej mocy klasyfikacja ta często okazuje się niewystarczająca.



Rys. 1. Schemat przedstawiający konstrukcję silnika Stirlinga typu α [3]



Rys. 2. Schemat przedstawiający konstrukcję silnika Stirlinga typu β [4]



Rys. 3. Schemat przedstawiający konstrukcję silnika Stirlinga typu γ [2]

Oprócz silników doświadczalnych powstały i nadal powstają różnorodne silniki przeznaczone do normalnej eksploatacji. W klasyfikacji takich silników istnieje możliwość wykorzystania typowej klasyfikacji odnoszącej się do postaci konstrukcyjnej bloków silnikowych. Chodzi tu o klasyfikację powszechnie stosowaną w odniesieniu do najczęściej spotykanych tłokowych silników spalinowych wewnętrznego spalania. Według tej klasyfikacji wyróżniamy:

- 1) Silniki typu rzędowego symbolicznie oznaczane literą R.
- 2) Silniki typu dwurzędowego symbolicznie oznaczane literami RR.
- 3) Silniki typu rzędowo-widlastego symbolicznie oznaczane literą V.
- 4) Silniki typu rzędowo-widlastego z przestawionymi osiami cylindrów symbolicznie oznaczane literą VR.

Z praktycznych względów bardzo ważnym jest rozróżnienie silników Stirlinga z tłokami jednostronnego i dwustronnego działania. W silnikach z tłokami jednostronnego działania tylko jedna strona tłoka jest obciążona ciśnieniem wykorzystywanego gazu roboczego. W takim przypadku tylko połowa cylindrów bierze udział w przekazywaniu energii mechanicznej na wał korbowy silnika. To jest jednym z głównych czynników obniżających gęstość mocy odnoszoną do jednostki masy silnika w porównaniu do typowych trakcyjnych silników spalinowych. Istnieje jednak również możliwość budowy silników Stirlinga z tłokami dwustronnego działania. W takim przypadku wszystkie tłoki biorą udział w przekazywaniu energii mechanicznej na wał korbowy silnika. W wyniku tego gęstość mocy takich silników jest w przybliżeniu dwa razy wyższa w porównaniu do silników z tłokami jednostronnego działania. Jednak w porównaniu z trakcyjnymi silnikami spalinowymi gęstość mocy takich silników jest nadal niższa ze względu na ko-

nieczność rozbudowy układów nagrzewających i chłodzących gazu roboczego.



Rys. 4. Przykład rzędowej konstrukcji chłodniczej jednostki energetycznej pracującej według obiegu Stirlinga [5]

Z porównań różnych postaci konstrukcyjnych silników Stirlinga wynika, iż w praktyce należy stosować silniki z tłokami dwustronnego działania. Uwzględniając inne wymagania konstrukcyjne związane z koniecznością zastosowania 90 stopniowego przesunięcia fazowego poszczególnych tłoków silnika, wskazuje się konstrukcje czterocylindrowych silników Stirlinga jako najwłaściwsze. Mogą to być silniki rzędowe typu R, dwurzędowe typu RR, albo widlaste typu V albo VR. Ze względu na konstrukcyjną realizację mechanicznej synchronizacji pracy tłoków za najlepsze uznaje się czterocylindrowe silniki typu V o kącie wzajemnego ustawienia cylindrów wynoszącym 90 stopni. Jednak w takiej konstrukcji odpowiednie nagrzewanie i chłodzenie gazu roboczego może być trudne. To jest powodem zainteresowania konstrukcjami rzędowymi oraz dwurzędowymi pomimo nieco gorszych wskaźników zwartości konstrukcji najczęściej wyrażanych w postaci gęstości mocy odniesionej do jednostki masy silnika. Przykłady takich rozwiązań pokazano na rysunku 4.

4. Możliwości praktycznego wykorzystania silników Stirlinga w agroenergetyce

Dotychczasowe prace rozwojowe silników Stirlinga w głównej mierze były ukierunkowane na perspektywę ich wykorzystania jako silniki trakcyjne. W przypadku napędów pojazdów samochodowych stwierdzono, iż silniki Stirlinga mają zbyt małą gęstość mocy w porównaniu do powszechnie stosowanych silników spalinowych. Ponadto koszt ich produkcji jest w przybliżeniu trzy razy wyższy w porównaniu do silników spalinowych o porównywalnych mocach. Dodatkowe ograniczenia wynikają z przepisów prawnych określających ograniczenia zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery

ziemskiej przez pojazdy dopuszczone do ruchu drogowego. Zagrożenia związane z emisją zanieczyszczeń są w sposób lokalny szczególnie odczuwalne w dużych miastach. Wpływ tzw. „smogu” jest powszechnie znany i czasem staje się dotkliwie odczuwalnym. Z tego powodu nie należy oczekiwać akceptacji dla wprowadzenia do napędów pojazdów samochodowych rozwiązań technicznych umożliwiających spalanie paliw alternatywnych, mogących emitować więcej, za to bardziej „ekologicznych” produktów spalania. W obecnej chwili taka możliwość jest główną zaletą silników Stirlinga. Biorąc to pod uwagę nie należy spodziewać się wprowadzenia silników Stirlinga do napędu pojazdów samochodowych.

Wiele doniesień wskazujących na sensowość wykorzystania silników Stirlinga odnosi się do zastosowań wojskowych. W tych przypadkach szczególnie cicha praca tych silników wchodzi w grę decydująca. W sposób szczególny dotyczy to silników napędowych stosowanych w okrętach podwodnych. W przypadku polowych generatorów prądu dodatkowym atutem jest możliwość wykorzystania różnorodnych paliw. Zazwyczaj generatory tego typu stanowią rozproszony układ energetyczny w przypadku, którego zagrożenia wynikające z ewentualnej emisji produktów spalania do atmosfery nie są istotne. Na podobnej zasadzie możliwe jest wykorzystanie silników Stirlinga w agroenergetyce. W tej koncepcji przewiduje się wykorzystanie wielu małych, rozproszonych na znacznym obszarze rolniczym, generatorów elektrycznych. W takiej koncepcji staje się możliwe wykorzystanie lokalnie występujących nośników energii odnawialnej.

5. Silniki Stirlinga wykorzystujące ciepło odpadowe

Silniki Stirlinga wymagają zasilania cieplnego w postaci doprowadzenia wysokotemperaturowego i niskotemperaturowego źródła ciepła. Rodzaj źródła ciepła nie jest istotny dla działania silnika tego typu. Wysokotemperaturowym źródłem ciepła może być ciepło spalania paliw gazowych, ciekłych lub stałych. Źródłem ciepła może być zewnętrzna komora spalania silnika albo też zewnętrzne źródło ciepła. Właściwość ta jest unikalna i charakterystyczna jedynie dla silników Stirlinga. Z tego względu silniki tego typu znalazły zastosowanie w ciepłych elektrowniach słonecznych. W analogiczny sposób można wykorzystywać również inne źródła ciepła. Jedną z takich możliwości jest wykorzystywanie ciepła odpadowego już istniejących elektrowni. Z uwagi na stosunkowo małe moce współcześnie istniejących silników Stirlinga łatwiej można zrealizować taką koncepcję w przypadku spalinowych generatorów prądu. Nie ma przy tym znaczenia, czy jest to generator z silnikiem tłokowym czy też turbiną gazową. Istotne ograniczenia

dotyczą rodzaju pracy i temperatury gorącego źródła ciepła wykorzystywanego przez silnik Stirlinga. Najlepiej, gdy silnik Stirlinga współpracuje z generatorem o pracy ciągłej.

Istotnym zagadnieniem jest temperatura wysokotemperaturowego źródła ciepła. Temperatura gorącego źródła ciepła powinna być możliwie wysoka, gdyż wyraźnie zwiększa to sprawność teoretycznego obiegu Stirlinga. Poniżej 1000° K (stopni Kelwina) spada niemal proporcjonalnie do spadku temperatury. Przy 500° K spada o 50 % wartości w porównaniu do wartości dla 1000° K. Temperatura spalin odprowadzanych z silników spalinowych osiąga wartości zbliżone do 1000° K. To stwarza możliwości dwustopniowego, albo nawet trzystopniowego wykorzystania ciepła wytwarzanego w spalinowym generatorze prądu elektrycznego. W tej koncepcji, jako pierwszy stopień wykorzystania energii cieplnej produkowanej z paliwa napędowego należy uznać główny silnik spalinowy generatora prądu. Jako drugi stopień proponuje się zastosowanie silnika Stirlinga wykorzystującego ciepło zawarte w spalinach odprowadzanych z głównego silnika generatora prądu. Spodziewane temperatury spalin są zupełnie wystarczające do tego celu. Nawet w przypadku zmniejszonych sprawności silników Stirlinga wynikających z nieco mniejszych temperatur spalin, w takim rozwiązaniu istnieje możliwość wykorzystania traconego ciepła odpadowego. Dodatkowo istnieje możliwość wykorzystania ciepła odpadowego pochodzącego z silnika Stirlinga do celów grzewczych. Taki sposób zwiększenia współczynnika energetycznej sprawności wykorzystania energii zawartej w paliwie obecnie jest chętnie i powszechnie wykorzystywany. Jednak przesyłanie ciepła na większe odległości jest kłopotliwe. Z tego względu w dużych elektrowniach zawodowych nie wykorzystuje się w pełni takich możliwości. Wynika to z tego, iż lokalne zapotrzebowanie na ciepło grzewcze zazwyczaj jest znacznie niższe od możliwości produkcyjnych zakładów energetycznych. Biorąc to pod uwagę, można stwierdzić, iż zawodowe elektrownie mają kłopot z nadprodukcją ciepła odpadowego. Stwarza to dogodne warunki do wprowadzenia silników Stirlinga jako urządzeń drugiego stopnia wykorzystania produkowanej energii cieplnej w dużych zakładach energetycznych. W przypadku agroelektrowni zastosowanie silników Stirlinga również jest uzasadnione, a ich wykorzystanie nie wyklucza wykorzystania ciepła do lokalnych celów grzewczych.

6. Silnik Stirlinga jako główny silnik energetyczny

Powszechnie stosowanym sposobem zwiększenia sprawności układów energetycznych jest wykorzystywanie ciepła odpadowego do celów grzewczych. We wszystkich elektrowniach do pewnego stopnia wykorzystuje się takie możliwości zwiększenia

szenia ogólnego współczynnika sprawności energetycznej. Ilość wykorzystanej energii cieplnej wynika z lokalnych możliwości jej odprowadzenia z elektrowni. Jeśli ilość ta przekracza 10 % to mówimy o elektrociepłowniach. Jednak w przypadku elektrowni o bardzo dużych mocach lokalne zagospodarowanie bardzo dużych ilości ciepła nie jest możliwe. Rozpatrując możliwość wykorzystania rozproszonej struktury agroelektrowni wykorzystujących silniki Stirlinga istnieje większe prawdopodobieństwo wykorzystania ciepła odpadowego do celów grzewczych. Z podobnym skutkiem energetycznym można wykorzystywać konwencjonalne silniki spalinowe napędzające generatory prądu. Lecz w takim przypadku istnieje konieczność wykorzystania typowych paliw silnikowych, których ceny systematycznie wzrastają. W przypadku silników Stirlinga można wykorzystywać lokalne paliwa ekologiczne i odnawialne, których transport jest niemożliwy lub nieopłacalny. Dodatkowo silniki Stirlinga są na tyle ciche, iż można je bez istotnych niedogodności instalować w budynkach mieszkalnych.

Wykorzystanie silników Stirlinga jako głównych silników energetycznych jest korzystne ze względu na ich największą sprawność energetyczną, przy zapewnieniu wysokiej temperatury wysokotemperaturowego źródła ciepła. Wymaga to tendencyjnego doboru droższych materiałów do budowy układów cieplnych takich silników. W ten sposób wydaje się pożądanym rozróżnienie wśród silników Stirlinga konstrukcji przeznaczonych do pracy ze szczególnie wysokimi temperaturami, oraz konstrukcji zbudowanych z tańszych i bardziej konwencjonalnych materiałów do pracy w niższych temperaturach. Praca w niższych temperaturach związana jest z wcześniej mówionym wykorzystaniem ciepła odpadowego zazwyczaj pochodzącego z realizacji innych procesów wytwarzania energii elektrycznej.

Produkcja energii elektrycznej realizowana z wykorzystaniem silników Stirlinga, jako głównych jednostek napędowych powinna być realizowana w lokalnych układach rozproszonych. Wynika to z niewielkiej mocy obecnie dostępnych konstrukcji silników Stirlinga. Taka organizacja zasilania energetycznego umożliwia również lokalne wykorzystanie ciepła odpadowego do celów grzewczych. W ten sposób w mikro skali można zrealizować wysokosprawne wykorzystanie lokalnych surowców energetycznych. Po akceptacji takiego rozwiązania rodzi się potrzeba magazynowania produkowanej energii elektrycznej z uwagi na dobowe i sezonowe wahania zużycia energii elektrycznej. Najlepiej, gdy wyprodukowana energia zostanie natychmiast

zużyta, ale lokalne warunki nie zawsze będą to umożliwiać. Aktualnie magazynowanie dużych ilości energii w akumulatorach elektrycznych jest bardzo drogie. W tej sytuacji warto zastanowić się nad możliwością magazynowania nadmiaru energii elektrycznej w postaci palnego wodoru. W chwili obecnej wodór jako nośnik energii jest droższy od sieciowej energii elektrycznej, gdyż zazwyczaj jest uzyskiwany w drodze elektrolizy, czyli do jego produkcji wykorzystuje się i tak już drogą energię elektryczną. Gdyby wodór mógł być produkowany w innych nośnikach energii, to jego cena mogłaby być niższa. W przypadku agroelektrowni napędzanych silnikami Stirlinga nadmiar energii elektrycznej może być magazynowany w postaci wodoru, który może być źródłem ciepła w okresie deficytu paliwa wykorzystywanego do normalnego wytwarzania niezbędnej energii cieplnej. Niezależnie o tego, bardziej powszechna (rozproszona) produkcja wodoru może obniżyć jego ceny i poszerzyć jego wykorzystanie do celów typowo energetycznych. Dodatkowym atutem wykorzystywania rozproszonych agroelektrowni napędzanych silnikami Stirlinga jest możliwość stosunkowo łatwego uruchamiania ich jedynie w sytuacji zwiększenia lokalnego zapotrzebowania na energię elektryczną lub ciepłą. Przy tym, takie decyzje mogą być podejmowane w sposób zdecentralizowany, bez zakłócania planowej pracy dużych systemów przesyłania energii elektrycznej. Ponadto dzięki wykorzystaniu rozproszonych agroelektrociepłowni istnieje możliwość lokalnej produkcji energii cieplnej, która czasem produkowana jest z energii elektrycznej.

7. Wnioski

- 1) Powszechnie wykorzystywaną klasyfikację konstrukcyjną bloków cylindrowych silników spalinowych można zastosować do opisu konstrukcyjnych odmian silników Stirlinga.
- 2) Perspektywy powszechnego wykorzystania silników Stirlinga są związane z akceptacją rozproszonych systemów lokalnych agroelektrociepłowni.
- 3) Rozpowszechnienie agroelektrociepłowni lokalnych może spowodować obniżenie cen wodoru.
- 4) Silniki Stirlinga mogą być optymalizowane jako wysokotemperaturowe (główne) oraz niskotemperaturowe (pomocnicze), czyli wykorzystujące ciepło odpadowe z innych procesów energetycznych.

Bibliography/Literatura

[1] Skorek J., Kalina J.: Gazowe układy kogeneracyjne. WNT Warszawa 2005.

[2] Żmudzki S.: Silniki Stirlinga. WNT Warszawa 1993.

[3] blog.steamshift.com/2005/05 (25.01.2011)

[4]

www.cnccookbook.com/CCStirlingGenerator.htm (25.01.2011)

DSc. Piotr Drogosz – *Technical Sciences Faculty, University of Warmia and Mazury in Olsztyn*

Dr inż. Piotr Drogosz – adiunkt na Wydziale Nauk Technicznych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie



[5] www.lt25.nl/exhibition.asp (25.01.2011)

Mr Andrzej Pięta, DSc., DEng. – Professor in the Faculty of Technical Sciences at University of Warmia and Mazury.

Dr hab. inż. Andrzej Pięta – profesor na Wydziale Nauk Technicznych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, kier. Katedry Mechatroniki, e-mail: apie-tak@uwm.edu.pl

