



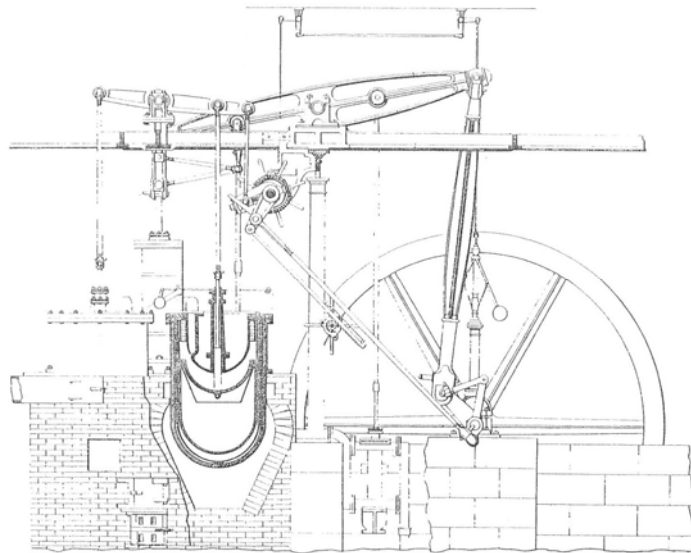
Paweł SZAŁWIŃSKI  
Politechnika Wroclawska  
Wydział Mechaniczno-Energetyczny  
Student II roku

## **Silnik Stirlinga i możliwości jego zastosowania w energetyce.**

Celem artykułu jest zaprezentowanie historycznego zastosowania silnika Stirlinga oraz pokazanie potencjalnych możliwości jego zastosowania we współczesnej energetyce do zwiększenia sprawności projektowanych lub istniejących instalacji. Zaproponowany jest sposób odzyskiwania energii polegający na zamianie ciepła odpadowego wytwarzanego w każdej elektrowni cieplnej w energię elektryczną za pomocą silnika Stirlinga i generatora elektrycznego. W dalszej części artykułu zaprezentowane są wynikające z zastosowania tej metody korzyści, sposoby zwiększenia efektywności oraz problemy.

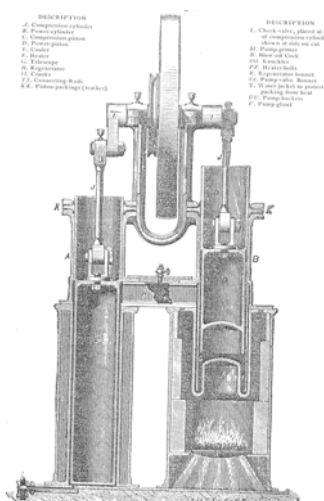
Silnik Stirlinga znany też, jako silnik na gorące powietrze, posiada bardzo długą i ciekawą historię oraz bardzo szerokie możliwości jego zastosowania do celów energetycznych.

Został wynaleziony i opatentowany w roku 1816 przez Roberta Stirlinga. Pierwotnie zastosowany w Szkocji w Ayrshire w roku 1818 do napędzania pompy wodnej. Niestety z powodu wad ówczesnych materiałów silnik pracował jedynie dwa lata, po czym został zastąpiony przez silnik parowy. W późniejszych latach Stirling wraz ze swoim bratem Jamsem udoskonalił konstrukcję między innymi poprzez dodanie drugiego tłoka. Końcowym efektem tych prac było uzyskanie przez silnik wyższej sprawności niż w silnikach parowych, niestety w dalszym ciągu występowały problemy z materiałami, przez co użytkownicy wracali do silników parowych.



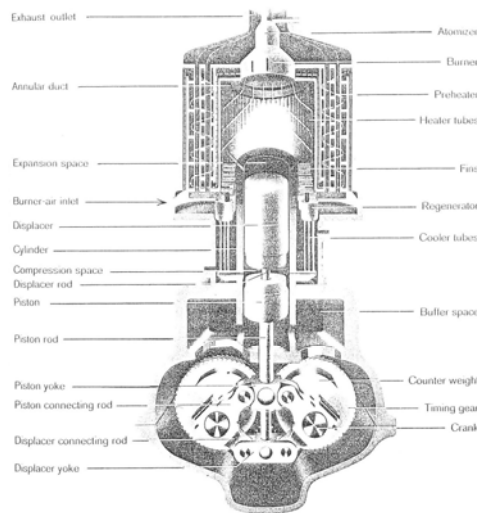
**Ulepszona wersja silnika Stirlinga**

Do pierwszej wojny światowej powstało jeszcze wiele innych ciekawych koncepcji wykorzystania silnika na ciepłe powietrze np. do napędzania pojazdów latających, nie znalazły jednak szerszego zastosowania. Silniki te były wykorzystywane głównie w małych warsztatach oraz w pompach wodnych, gdyż do ich obsługi w przeciwieństwie do silnika parowego nie trzeba było wykwalifikowanego inżyniera. Niestety ich moc oraz efektywność pozostawała niska w stosunku do ich rozmiaru.



Przykładowy XIX wieczny schemat silnika Stirlinga

Renesans zainteresowania silnikiem Stirlinga nastąpił w dwudziestoleciu międzywojennym za sprawą Holenderskiego koncernu Philips, który szukał prostego lekkiego silnika do radia niewymagającego energii elektrycznej. Sprzyjało temu pojawienie się po pierwszej wojnie światowej stali odpornej na wysokie temperatury, a przez to zmniejszającej awaryjność. Na owy czas silniki Stirlinga posiadały niekiedy efektywność poniżej 1%, a teoretycznie mogły uzyskać efektywność nawet około 60%. Profesor Holst rozpoczynając badania nad silnikiem wierzył w taką możliwość. Niestety niemiecka okupacja podczas drugiej wojny światowej znacznie zahamowała te badania. Jednak, że w roku 1947 po dziesięciu latach prac zaprezentowano mały silnik o mocy 30 koni mechanicznych, o prędkości obrotowej 3000 obrotów na minutę, a przez to tak wydajny jak silnik spalinowy. Kolejnym efektem tych prac był mały silnik, który pracował przez ponad 2000 godzin bez żadnych widocznych uszkodzeń. Innym istotnym kierunkiem badań było odwrócenie obiegu silnika, czego efektem było uzyskanie bardzo niskich temperatur. Pierwotnie uzyskano temperaturę ok.  $-190^{\circ}\text{C}$ , a w późniejszych latach nawet  $-260^{\circ}\text{C}$ . Jednak, że główny cel firmy Philips, jakim było stworzenie odpowiednio małego źródła zasilania nie został osiągnięty pomimo zastosowania takich rozwiązań jak mechanizm romboidalny, i radiodbiorniki zostają zasilane przez coraz doskonalsze akumulatory i baterie.



**Schemat romboidalny zaproponowany przez koncern Philips**

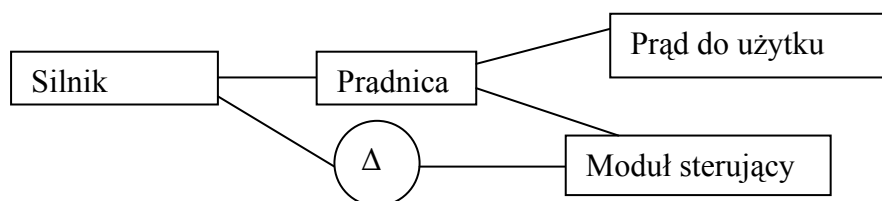
Pod koniec lat 50-tych silniki Philipsa uzyskują efektywność, około 38% co jest wynikiem lepszym niż uzyskiwany przez ówczesne silniki benzynowe i silniki diesla. W roku 1958 tymi pracami interesuje się koncern samochodowy General Motors, który poszukuje nowego rodzaju napędu w motoryzacji a także do generatorów prądowców i łodzi podwodnych. W konsekwencji powstaje prototypowy 150 konny silnik Rinia, jednak wyższe kierownictwo podejmuje decyzje o rezygnacji z tego programu zanim silnik zostaje wdrożony do produkcji.

Do koncepcji napędu za pomocą silnika Stirlinga powrócono na przełomie lat 60-tych i 70-tych, głównie za sprawą rosnących cen ropy naftowej. Powstały wówczas pierwsze prototypy autobusów napędzanych silnikami Stirlinga, jednak wprowadzenie tego rodzaju napędu do produkcji po zakończeniu kryzysu naftowego dalej pozostawało nieopłacalne.

Jako ciekawostkę warto wspomnieć fakt, że silniki Stirlinga wywarły duży wpływ na konstrukcje dzisiejszych konwencjonalnych okrętów podwodnych. Przede wszystkim wydłużyły czas, kiedy mogą przebywać w zanurzeniu. Pierwszym okrętem z napędem Stirlinga jest szwedzki okręt typu Gotland, którego sercem w zanurzeniu są dwa silniki Stirlinga. Dzięki nim okręt może przebywać przez 2 tygodnie w całkowitym zanurzeniu i płynąć z prędkością 5 węzłów. Sprawność tych silników wynosi ok. 40%.

Współcześnie natomiast poza za wymiennymi już wyżej możliwościami wykorzystania należy także rozważyć możliwość zastosowania silników Stirlinga w energetyce ciepłej oraz energetyce odnawialnej do produkcji energii elektrycznej. Obecne silniki na ciepłe powietrze pozwalają na prace przy stosunkowo małej różnicy temperatur, od nawet 1°C, pomiędzy źródłem ciepła a otoczeniem układu. Jednak, że sprawność tych silników przy takiej różnicy temperatur jest bardzo mała, rośnie wraz ze wzrostem różnicy temperatury.

W każdej elektrowni ciepłej istnieje duża ilość niewykorzystanych nisko temperaturowych źródeł ciepła, z których nie wszystkie są zagospodarowane. Proponowanym sposobem ich wykorzystania jest umieszczenie silnika Stirlinga, prądnicy, czujnika temperatury oraz modułu sterującego przy takim źródle ciepła. Moduł sterujący po wykryciu przez czujnik wysłałby sygnał do prądnicy, która pobierałaby energię elektryczną potrzebną do rozruchu silnika, następnie po rozruchu silnika produkowałaby energię elektryczną. Metoda ta umożliwiłaby pozyskanie dodatkowej energii elektrycznej nie wymagając spalania dodatkowej ilości paliwa.



Schemat proponowanego rozwiązania

Problemem dla tego zastosowania silnika Stirlinga jest połączenie materiałów o dużej przewodności cieplnej i małej przewodności cieplnej oraz ich ochrona przed długotrwałym działaniem różnicy temperatur i zjawiskiem korozji. Kolejnym problemem jest uzyskanie odpowiedniej efektywności takiego rozwiązania, pożądane jest, aby silnik w celu uzyskania jak najwyższych obrotów posiadał jak największą powierzchnię wymiany ciepła. Można to uzyskać poprzez zwiększenie średnicy tłoka lub przez zwiększenie ich liczby, optymalnym rozwiązaniem wydaje się zwiększenie liczby tłoków, ponieważ przy zwiększeniu samej średnicy tłoczyska mogą się pojawić problemy z tłoczyskiem. Dodatkowo sprawność silnika można zwiększyć poprzez zastosowanie innych gazów niż powietrze. Najkorzystniejsze wydaje się zastosowanie wodoru lub helu. Pożądane własności to jak najwyższa wartość wykładnika izentropii oraz jak największa wartość stałej gazowej.

	Ciśnienie absolutne	Temperatura	Stała gazowa	Wykładnik izentropii
	Mpa	K	kJ/(kgK)	
Wodór	1013,15	273,15	4124,36	1,41
Hel			2077,20	1,66
Powietrze			287,03	1,4

Powyższego zestawienia wynika, że najlepszym gazem roboczym był by wodór, należy jednak wziąć pod uwagę palność tych gazów oraz ich cenę. Powietrze jest gazem nie palnym i całkowicie darmowym.

Podsumowując silnik Stirlinga jest posiada bogatą historię zastosowania ale także bardzo duże potencjalne możliwości wykorzystania. Zwiększanie efektywności elektrowni cieplnych jest bardzo pożądane zwłaszcza w sposób nie powiększający emisji CO<sub>2</sub>.

### Bibliografia

- [1] Stefan Żmudzki, Silniki Stirlinga, WNT, Warszawa 1993, ISBN 83-204-1640-X.
- [2] E.H. Cooke-Yarborough, Heat Engines, Granted to Atomic Energy Authority, United Kingdom 1970.
- [3] Banha Kongtragool, Somchai Wongwises, A four power-piston low-temperature differential Stirling engine using simulated solar energy as a heat source
- [4] Stefan Postrzednik, Aleksandra Wawro, Możliwość zastosowania gazowych silników spalinowych w układach skojarzonej produkcji energii elektrycznej, ciepła oraz chłodu