

## Streszczenie pracy doktorskiej

pt. „ Wpływ warunków akustycznych na parametry pracy termoakustycznego silnika Stirlinga”

**mgr inż. Adam Ruzewicz**

Promotor: **prof. dr hab. inż. Zbigniew Gnutek**

Promotor pomocniczy: **dr inż. Jacek Lamperski**

Do rozwijanych w ostatnim czasie technologii energetyki niekonwencjonalnej można zaliczyć termoakustykę. W urządzeniach termoakustycznych następuje bezpośrednia konwersja energii cieplnej w akustyczną, która jest jedną z form energii mechanicznej. Przy zastosowaniu przetwornika elektroakustycznego może być ona przetworzona na bardziej użyteczną energię elektryczną. Może ona również posłużyć bezpośrednio do zasilania termoakustycznej chłodziarki lub pompy ciepła. Podstawową zaletą urządzeń termoakustycznych jest niska różnica temperatury wymagana do ich startu i pracy. Ostatnie badania wskazują, że do zasilania tych urządzeń wystarczy źródło ciepła o temperaturze rzędu 100-200°C. Stwarza to możliwość wykorzystania technologii termoakustyki do odzysku ciepła z niskotemperaturowych źródeł odpadowych. Najnowsze badania i realizacje prototypów urządzeń termoakustycznych ukierunkowane są na ich zastosowanie właśnie w tym obszarze.

Jednym z tego typu urządzeń jest termoakustyczny silnik z zapętlnym rezonatorem o długości równej długości fali  $\lambda$ , w którym gaz przechodzi obieg termodynamiczny zbliżony do teoretycznego obiegu Stirlinga. Konwersja energii zachodzi w regeneratorsze silnika, który wraz z przyległymi do niego wymiennikami ciepła: nagrzewnicą i chłodziwą, tworzy tzw. rdzeń termoakustyczny. Obecność rdzenia powoduje zakłócenia propagującej w rezonatorze fali biegnącej, która jest potrzebna do efektywnej pracy silnika. Aby ograniczyć te zaburzenia, potrzebne jest dopasowanie pola akustycznego. W przypadku urządzeń wielosekcyjnych, tj. takich z większą liczbą rdzeni, system dopasowuje się samoistnie poprzez wzajemną kompensację przeciwnie ukierunkowanych zaburzeń. Urządzenia jednosekcyjne potrzebują do tego celu dodatkowego elementu falowodu, działającego na zasadzie filtra akustycznego.

Mimo że metoda ta jest znana, brak jest dokładnej analizy działania filtrów akustycznych dopasowujących warunki akustyczne oraz ich wpływu na parametry pracy jednosekcyjnego silnika termoakustycznego. Przeprowadzone dotychczas badania systemów z filtrami dopasowującymi były dość pobieżne. W niniejszej pracy przeprowadzono szczegółową analizę wpływu geometrii różnego typu filtrów akustycznych oraz ich miejsca usytuowania w falowodzie na dopasowanie pola akustycznego. Na tej podstawie możliwe było również określenie wpływu warunków akustycznych w regeneratorsze oraz falowodzie jednosekcyjnego silnika termoakustycznego Stirlinga na jego parametry pracy.

Zbudowany w programie DeltaEC model numeryczny jednosekcyjnego silnika pozwolił na przeprowadzenie dogłębnej analizy pracy systemu. Symulacja zmian wielu parametrów geometrycznych, akustycznych oraz termicznych umożliwiła nie tylko lepsze zrozumienie zjawisk zachodzących w urządzeniu, ale także poznanie ich wzajemnych

zależności oraz ich wpływu na osiąganą moc i sprawność silnika. Na bazie symulacji numerycznych porównano również działanie kilku typów filtrów akustycznych.

Potwierdzenie wniosków uzyskanych na podstawie symulacji numerycznych było możliwe dzięki badaniom eksperymentalnym przeprowadzonym na specjalnie zaprojektowanym i zbudowanym w tym celu rzeczywistym silniku termoakustycznym. Warunki akustyczne ustalano zmieniając parametry geometryczne dołączonego do falowodu filtra akustycznego o zwiększonym przekroju: jego długość oraz pozycję umieszczenia w rezonatorze.

Wyniki otrzymane na bazie symulacji numerycznych oraz badań eksperymentalnych potwierdziły możliwość wykorzystania jednosekcyjnego silnika Strilinga do odzysku ciepła o niskiej temperaturze. Osiągnięcie efektywnego procesu konwersji energii wymaga jednak zapewnienia optymalnego pola akustycznego. Do tego celu służy umieszczony w odpowiednim miejscu rezonatora filtr akustyczny, przy pomocy którego można nie tylko dostroić ważne z punktu widzenia procesu warunki akustyczne w regeneratorze, ale również zmienić rozkład całego pola akustycznego, mającego wpływ na straty energii akustycznej w pozostałej części falowodu. Znalezienie optymalnego punktu pracy silnika wymaga kompromisu między najlepszymi teoretycznie warunkami w regeneratorze a generującym jak najmniejsze straty polem akustycznym w rezonatorze.

Adam Ruziewicz