

Antoni Iskra
Maciej Babiak
Jarosław Kałużny
Politechnika Poznańska

OCENA PRZYDATNOŚCI SILNIKA WANKLA W ZASTOSOWANIACH WOJSKOWYCH ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM SZCZELNOŚCI KOMÓR ROBOCZYCH

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono rozważania dotyczące zalet silnika Wankla, które w obszarze wybranych zastosowań czynią go bardzo atrakcyjnym źródłem napędu, szczególnie w porównaniu z silnikiem o postępowo-zwrotnym ruchu tłoka. Zalety takie, jak korzystny stosunek uzyskiwanej mocy do masy silnika czy zwartość konstrukcji mogą być kluczowymi czynnikami skłaniającymi do zastosowania tego rodzaju silnika jako źródła napędu. Zwrócono również uwagę na wiele wad i problemów, między innymi niekorzystny kształt komory spalania czy słabą skuteczność i trwałość listew uszczelnienia promieniowego tłoka, których następstwem jest ograniczenie możliwości wykorzystania silnika Wankla.

Słowa kluczowe:

silnik Wankla, masowy wskaźnik mocy silnika, uszczelnienie promieniowe.

WSTĘP

Koncepcja silnika o obrotowym ruchu tłoka opracowana przez Felixa Wankla jest obecnie jedyną alternatywą dla klasycznego silnika spalinowego o spalaniu wewnętrznym, którego tłok wykonuje ruch postępowo-zwrotny. Silnik Wankla ma więcej zalet niż tradycyjny silnik tłokowy, ale równocześnie nie jest pozbawiony wad, które na przestrzeni lat nie pozwoliły na jego szerokie zastosowanie jako źródła napędu różnego rodzaju środków transportu. Również silnik Stirlinga, którego

zasada działania nie jest oparta na procesie spalania zachodzącym wewnątrz cylindra, wykazuje wiele zalet. Mogłyby one sugerować jego zdecydowaną wyższość nad klasyczną koncepcją silnika o spalaniu wewnętrznym, jednak i ten rodzaj silnika w wyniku określonych problemów i ograniczeń nie znalazł szerszego zastosowania.

Silnik Wankla realizuje czterosurowy cykl pracy, łącząc zalety zarówno obiegu czterosurowego jak i dwusurowego. Eliminuje jednocześnie większość wad wymienionych obiegów. Ze względu na brak suwów tłoka w silniku Wankla korzystniej jest przyjąć nazwę dwu- i czterotaktowego cyklu pracy. Przeprowadzona w dalszej części artykułu analiza cech silnika Wankla może prowadzić do określenia obszarów jego zastosowania, w których zalety mogą mieć kluczowe znaczenie, przy jednoczesnym ograniczeniu znaczenia jego wad.

ZALETY SILNIKA WANKLA

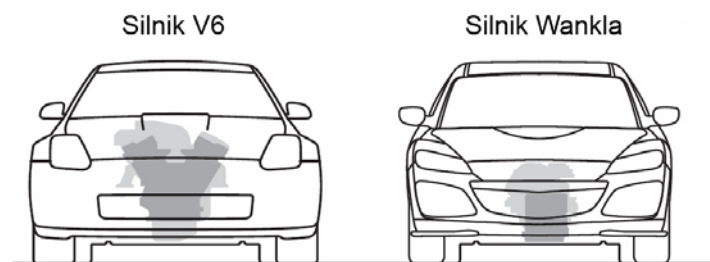
W wielu publikacjach jako najważniejszą zaletę silnika Wankla wymienia się wyeliminowanie w jego konstrukcji podstawowej wady tradycyjnych silników tłokowych, czyli postępowo-zwrotnego ruchu tłoka i wynikających z niego niekorzystnych sił bezwładności. Jednak w obecnych czasach zastosowanie wałków wyrównowazających w najpopularniejszych rzędowych silnikach czterocylindrowych jest dość powszechną praktyką stosowaną przez producentów silników. Tym samym część wad postępowo-zwrotnego ruchu tłoka zostaje zniwelowana, szczególnie tych najbardziej odczuwalnych dla użytkowników pojazdu, czyli drgań przenoszonych na całość konstrukcji. Dlatego też autorzy jako główną zaletę silnika Wankla postanowili zasugerować korzystną wartość masowego wskaźnika mocy. Porównanie parametrów samochodowego silnika Wankla ze współczesnym silnikiem lotniczym przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Porównanie silników Renesis i Lycoming TIO-360-C

Parametr	Silnik	
	Lycoming TIO-360-C	Renesis
Maksymalna moc	154 kW	140 kW
Masa silnika	170,5 kg	122 kg
Masowy wskaźnik mocy	0,90 kW/kg	1,15 kW/kg

Należy podkreślić, że celowo wybrano do porównania ze współczesnym samochodowym silnikiem Wankla silnik lotniczy. W każdej konstrukcji lotniczej kluczowym parametrem jest jej masa, a znaczny udział w ogólnej masie statku powietrznego ma masa napędu, w tym silnika lub silników. Stąd też dążenie konstruktorów lotniczych do możliwie maksymalnego ograniczania masy silnika, przy założonych parametrach mocy i zużycia paliwa. Z tabeli 1. wynika, że samochodowy silnik Wankla charakteryzuje się korzystniejszą wartością masowego wskaźnika mocy niż silnik lotniczy, zaprojektowany ze szczególnym uwzględnieniem wymagań stawianym konstrukcjom lotniczym. Oznacza to, że silnik Wankla będzie zapewniać korzystniejsze osiągi i mniejsze zużycie paliwa niż tradycyjny silnik o postępowo-zwrotnym ruchu tłoka. Cecha ta, szczególnie ważna w przypadku zastosowań lotniczych, może być również znacząca w innych dziedzinach, w tym także w wojskowej. Mniejsza masa silnika może bowiem pozwolić przykładowo na polepszenie opancerzenia bez pogorszenia osiągnięć pojazdu, które w realnych warunkach pola walki mogą decydować o przetrwaniu wozu bojowego.

Ważną zaletą silnika Wankla jest jego zwarta budowa. Oznacza to, że w konstrukcji pojazdu silnik będzie zajmował mniejszą przestrzeń, która będzie następnie mogła być wykorzystana w innych celach. Inną korzyścią wynikającą z mniejszych rozmiarów silnika jest możliwość swobodniejszego usytuowania silnika w przestrzeni pojazdu, co będzie zapewniać osiągnięcie przyjętych przez konstruktorów założeń, na przykład nisko położonego środka ciężkości pojazdu, równomiernego rozłożenia masy pojazdu między poszczególnymi osiami itp. Dzięki temu poprawie ulec mogą stabilność czy tzw. dzielność terenowa, co ponownie będzie mieć korzystny wpływ na wartość bojową pojazdu. Dodatkowo silnik Wankla ze względu na bardziej zwartą budowę ma korzystniej położony środek ciężkości niż klasyczny silnik tłokowy, w szczególności taki, w którym wałki rozrządu umieszczone są w głowicy, co w naturalny sposób zwiększa wysokość całego silnika i przesuwają środek ciężkości w kierunku głowicy. Zakładając wykorzystanie silnika Wankla jako napędu niewielkich jednostek pływających, przy jego odpowiednim umiejscowieniu, niewielkich gabarytach silnika i korzystnie usytuowanym środku ciężkości, można spodziewać się poprawy stateczności jednostki. Na rysunku 1. zobrazowano porównanie umieszczenia silnika V6 i silnika Wankla w sportowym samochodzie, w którym niskie położenie środka ciężkości wpływa korzystnie na zachowanie się samochodu na zakrętach.



Rys. 1. Położenie silnika V6 i silnika Wankla w dwóch modelach samochodów sportowych

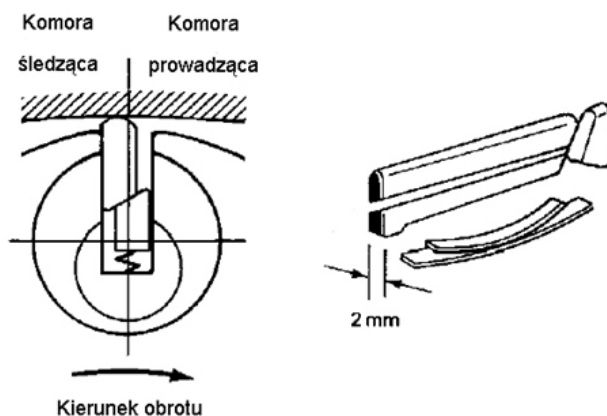
Mimo że autorzy postanowili w nieco odmienny sposób odnieść się do głównych zalet silnika Wankla, wysuwając na pierwszy plan korzystną wartość masowego wskaźnika mocy i zwartości konstrukcji, to wciąż niezaprzeczalnym atutem jest możliwość całkowitego wyrównowazenia silnika za pomocą prostych konstrukcyjnie metod, w tym konstrukcji jednowirnikowej. Oczywiście wyrównowazenie tradycyjnego silnika jedno- czy dwucylindrowego jest również możliwe, ale jest ono znacznie bardziej skomplikowane i przy założeniu prostoty silników o tak niewielkiej liczbie cylindrów można uznać, że jest nieopłacalne. Całkowite wyrównowazenie silnika to nie tylko podniesienie komfortu użytkowania pojazdu czy też jednostki pływającej, to również ograniczenie drgań przenoszonych na całość konstrukcji, które mogą następnie niekorzystnie wpływać na niektóre urządzenia specjalnego zastosowania.

W porównaniu z tradycyjnym silnikiem czterotaktowym silnik Wankla charakteryzuje się mniejszą ilością części ruchomych. Wynika to w znacznej mierze z faktu, że mimo realizowania obiegu czterotaktowego silnik Wankla wykorzystuje rozrząd podobny do prostych silników dwutaktowych, czyli taki, w którym występują okna dolotowe i wylotowe sterowane tłokiem. Wyeliminowana została w ten sposób konieczność stosowania napędu rozrządu, który w razie awarii prowadzi do natychmiastowego zatrzymania silnika, a często również do jego całkowitego zniszczenia. Klasyczny układ rozrządu z wałkiem rozrządu, dźwigienkami, popychaczami, zaworami, jest również jednym z głównych źródeł hałasu emitowanego przez silnik oraz jest miejscem generowania określonych strat tarcia związanych z liczbą węzłów tarcia. Oznacza to, że silnik Wankla pozbawiony skomplikowanego układu rozrządu będzie silnikiem cichszym. Dodatkowo w silniku Wankla rozrząd wykorzystujący okna rozrządowe pozbawiony jest głównej wady takiego rozwiązania występującej w silnikach dwutaktowych, czyli konieczności przepłukania, które w zdecydowany sposób pogarsza proces wymiany ładunku. Ponadto zastosowanie

na przykład dwóch okien dolotowych z dodatkowymi klapami sterującymi pozwala w prosty sposób wprowadzić ideę zmiennych faz rozrządu, a tym samym poprawić przebieg krzywej momentu obrotowego w całym zakresie prędkości obrotowych wału silnika.

WADY SILNIKA WANKLA

Mimo niezaprzeczalnych zalet silnika Wankla, nie jest on pozbawiony wad. Jedną z nich jest sposób uszczelnienia tłoka. Należy zdać sobie sprawę, że w silniku Wankla funkcje, które w klasycznym silniku suwowym są spełniane przez cały pakiet pierścieni tłokowych, musi realizować pojedyncza listwa umieszczona na krawędzi tłoka. Odpowiada ona zatem nie tylko za odpowiednie uszczelnienie komór roboczych, uniemożliwiając przepływ ładunku między sąsiadującymi komorami, ale również powinna w odpowiedni sposób przygotowywać warstwę oleju dla kolejnej listwy. Listwa ta, w odróżnieniu od pierścieni tłokowych, zmienia w szerokim zakresie, tj. nawet do 1 rad, kąt natarcia względem powierzchni gładzi cylindrowej. Wymusza to stosowanie niewielkich promieni krzywizny powierzchni ślizgowej listwy uszczelniającej, co w aspekcie generowania filmu olejowego jest bardzo niekorzystne [2]. Dla porównania, w tradycyjnym silniku tłokowym analogiczny kąt między normalną do powierzchni roboczej pierścienia a normalną do gładzi cylindra nie przekracza wartości 0,001 rad. Przykład budowy uszczelnienia promieniowego tłoka silnika Wankla przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Konstrukcja uszczelnienia promieniowego silnika Wankla [4]

Nieprawidłowości zachodzące w procesie generowania filmu olejowego objawiające się jego przerywaniem w krótkim czasie potrafią prowadzić do powstawania przedmuchów międzykomorowych, a w krytycznych sytuacjach do awaryjnego uszkodzenia silnika. Zjawisko nieprawidłowej współpracy elementów systemu uszczelnienia tłoka nasila się dodatkowo w czasie zimnego rozruchu silnika, gdy wartości luzów konstrukcyjnych w znaczący sposób odbiegają od wartości optymalnych przyjmowanych dla ustalonych warunków termicznych silnika. W przypadku zastosowań wojskowych jest to poważna wada, ponieważ niezawodność źródła napędu stanowi podstawę do zapewnienia manewrowości jednostki bojowej na polu walki.

Kolejną wadą silnika Wankla jest jego mniejsza sprawność ogólna niż tradycyjnych silników tłokowych. Jest to efekt kształtu komory spalania o niekorzystnym stosunku powierzchni do objętości, który przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Komora spalania silnika Wankla w warunkach minimalnej objętości

Mniejsza sprawność ogólna silnika oznacza większe zużycie paliwa, co w warunkach zastosowań wojskowych nie zawsze jest kluczowym kryterium doboru silnika, jednak będzie ono zawsze miało wpływ na zasięg pojazdu, jednostki pływającej czy też statku powietrznego. Zasięg można oczywiście zwiększyć, zapewniając odpowiedni zapas paliwa, ale wiąże się to z pogorszeniem osiągnięć jednostki w warunkach pełnych zbiorników i wymaga zagospodarowania dodatkowej przestrzeni na większe zbiorniki paliwa.

WNIOSKI

Konstrukcja silnika Wankla z pewnością posiada wiele niezaprzeczalnych zalet, które predysponują go do zastosowania jako napędu różnego rodzaju pojazdów wojskowych. Zastosowanie tego rodzaju silnika może w znaczący sposób wpłynąć na zwiększenie wartości bojowej i użytkowej pojazdów wykorzystywanych przez wojsko, jednak nie można ignorować wad silnika rotacyjnego, a w przypadku zastosowań wojskowych szczególnie podwyższonego ryzyka wystąpienia awarii systemu uszczelnień tłoka, które może prowadzić do unieruchomienia pojazdu na polu walki lub w obszarze zagrożonym.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Babiak M., *Aktualny stan rozwoju silnika Wankla*, praca dyplomowa, Politechnika Poznańska, Poznań 2005.
- [2] Babiak M., *Parametry filmu olejowego w systemie uszczelnień tłoka silnika Wankla*, rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 2010.
- [3] Bernhardt M., *Silniki spalinowe o tłokach obrotowych*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1964.
- [4] Weston K. C., *Energy conversion*, Brooks/Cole, University of Tulsa, 2000

EVALUATION OF WANKEL ENGINE USABILITY IN MILITARY APPLICATIONS

ABSTRACT

The paper considers advantages of the Wankel engine. In particular areas these advantages make the Wankel engine attractive as a prime mover especially when compared to reciprocating piston engine. The advantageous value of the maximum power to engine weight ratio and compactness of the engine can be the key factors considered in choosing the engine process. The authors also emphasize some disadvantages of the Wankel engine, such as unfavorable shape of the combustion

chamber or durability and reliability of the apex seal which result in limiting applicability of the Wankel engine.

Keywords:

Wankel engine, power/weight ratio, apex seal.

Recenzent dr hab. inż. Bogusław Łazarz, prof. PŚ