



**Łukasz Budny, Marcin Sosnowski, Tomasz Dembiczak, Piotr Sawicki,
Krzysztof Gospodarek, Katarzyna Ciesielska, Marek Orkisz**

*Wydział Matematyczno-Przyrodniczy
Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie
al. Armii Krajowej 13/15; 42-200 Częstochowa
e-mail: m.sosnowski@ajd.czyst.pl*

PROJEKT I ANALIZA RUCHU SILNIKA Z WIRUJĄCYM TŁOKIEM

Streszczenie. W ramach badań opracowano model przykładowego silnika z wirującym tłokiem oraz przeprowadzono analizy dynamiki ruchu poszczególnych jego elementów w celu identyfikacji ewentualnych problemów eksploatacyjnych wynikających z przemieszczenia translacyjnego wkładki uszczelniacza rotora.

Słowa kluczowe: silnik Wankla, silnik z wirującym tłokiem, analiza ruchu.

DESIGN AND MOTION ANALYSIS OF ROTARY ENGINE

Abstract. The rotary engine model was designed within the research. Moreover the analysis of dynamics of engine components were performed in order to identify the possible exploitation problems concerning displacement of rotor sealer insert.

Keywords: Wankel engine, rotary engine, motion analysis.

Wprowadzenie

Zastosowanie komputerów i rozwój oprogramowania pozwala inżynierom oraz projektantom wielu branż na znaczne ułatwienie pracy, przyspieszenie faz projektowania oraz rozwiązywanie wielu problemów jeszcze przed wdrożeniem modelu do produkcji. CAD – Computer Aided Design, czyli projektowanie wspomagane komputerowo, opiera się na zastosowaniu dedykowanych rozwiązań sprzętowych oraz oprogramowania pozwalającego na tworzenie szkiców i projektów przede wszystkim umożliwia zaś modelowanie tworzonych

detali, podzespołów czy całych urządzeń z uwzględnieniem wszystkich norm i zasad obowiązujących w rysunku technicznym, czy ogólnie przyjętym środowisku inżynierskim.

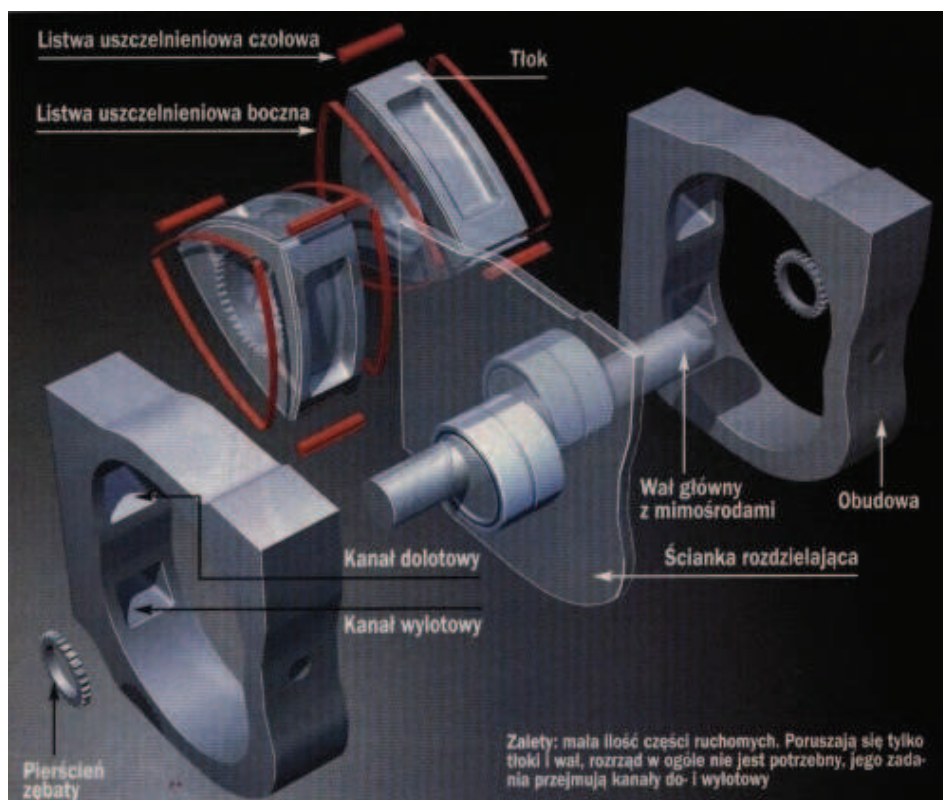
Największą zaletą stosowania oprogramowania CAD jest tworzenie cyfrowego modelu przedmiotu z uwzględnieniem wszelkich jego wymiarów i cech, a także użytych do konstrukcji materiałów, oraz możliwość automatycznego tworzenia dokumentacji technicznej detalu.

Budowa i zasada działania silnika z wirującym tłokiem

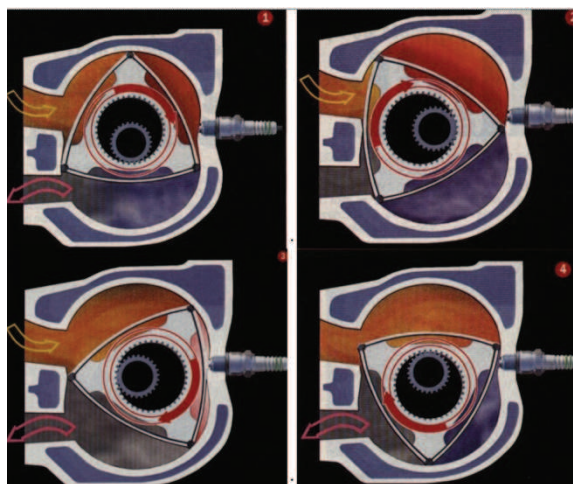
Silnik z wirującym tłokiem (Rys. 1) opracowany został przez niemieckiego technika i inżyniera Feliksa Wankla, który pierwsze prace nad swoim wynalazkiem prowadził w roku 1938 [1]. Pracował początkowo na zlecenie BMW, a w czasie wojny Ministerstwo Lotnictwa Rzeszy usiłowało zastosować jego silnik w swoich samolotach. Jednak dopiero praca w wytwórni samochodowej NSU przyniosła efekt w postaci możliwości rozpoczęcia seryjnej produkcji silnika z wirującym tłokiem. W 1967 roku Mazda zaprezentowała swój pierwszy samochód sportowy Cosmo Sport, w którym zastosowany został ów silnik, wyprodukowany jeszcze na licencji NSU, jednak jako pierwszy z dwiema komorami spalania [1]. Od tego czasu aż do chwili obecnej wyłącznie Mazda produkuje i wciąż rozwija technologicznie silnik rotacyjny, stosując go w modelach RX-7 i RX-8. Samo oznaczenie RX jest skrótem od Rotary eXperimental [3].

Silnik rotacyjny, potocznie nazywany „wanklem”, jest bardzo nietypowy w swojej budowie oraz działaniu. Składa się on z komory spalania o epitrochoidalnym kształcie [1], po której krąży wokół własnej osi trójkątny, wirujący tłok osadzony mimośrodowo z wałem silnika przez zębatkę z uzębieniem wewnętrznym. Bardzo niezwykły jest tutaj fakt występowania normalnego czterosuwowego cyklu pracy, tj. ssania, sprężania mieszanki, zapłonu/detonacji i wydechu, lecz następujących jednocześnie na trzech ścianach tłoka (zwanego też rotorem) – zatem trzy z czterech etapów cyklu następują w czasie jednego obrotu wału (rys. 2). Sam ruch rotora wygląda bardzo skomplikowanie, przełożenie obrotu całego tłoka do obrotu wału w tym czasie wynosi 1:3. Stąd wynika wysoka kultura pracy tego typu silnika – w czasie gdy tłok w komorze wykona jeden pełny obrót, wał całego silnika obróci się trzykrotnie.

Mazda w swoich silnikach rotacyjnych stosuje dwie komory spalania umieszczone obok siebie. Rotory znajdują się na tym samym wale i są przesunięte względem siebie o 120 stopni. Te rozwiązania sprawiają, że silnik Wankla pracuje nieporównywalnie bardziej stabilnie w stosunku do tradycyjnych, wielocylindrowych silników tłokowych.



Rys. 1. Uproszczona budowa silnika z wirującym tłokiem [3]

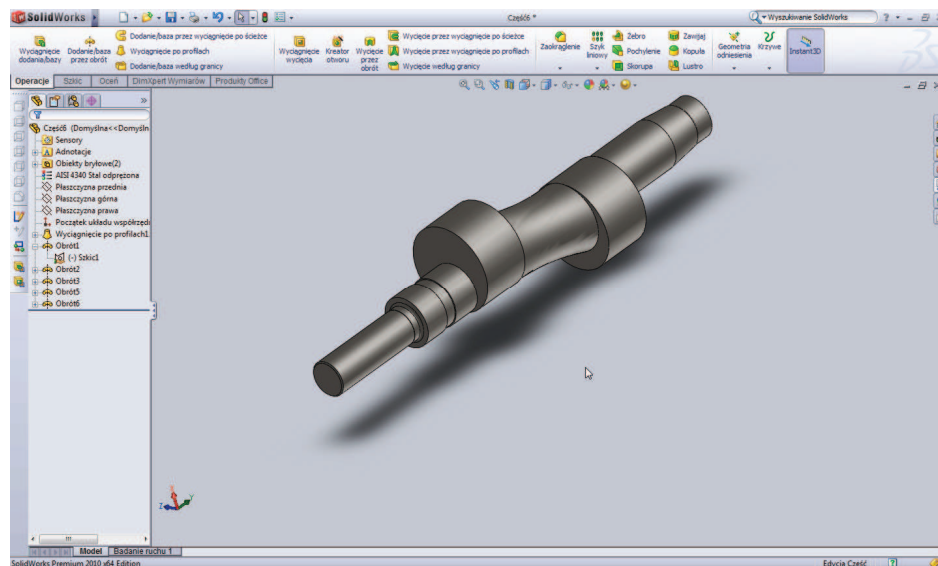


Rys. 2. Poszczególne suwy pracy silnika z wirującym tłokiem: 1) ssanie, 2) sprężanie, 3) zapłon, 4) wydech [3]

Przez wiele lat bardzo problematyczne w tej konstrukcji były listwy uszczelniające, a konkretnie materiały, z jakich były wykonane. Listwy te znajdują się na krańcach trójkątnego tłoka i stykają się ze ścianami komory podczas każdego cyklu pracy. Skutkowało to ich szybkim zużyciem, a w konsekwencji rozszczelnianiem silnika. Mazda w modelach RX-7 i RX-8 poradziła sobie z tym problemem stosując bardzo wytrzymałe materiały. Choć samo rozszczelnienie silnikowi nie grozi, to jednak wciąż należy liczyć się z kłopotliwym smarowaniem owych uszczelniaaczy. Olej znajduje się w środku tłoka, skąd małymi kanalikami dostarczany jest właśnie do listew uszczelniających – zatem spalany jest w obiegu otwartym, a konsumpcja oleju przez tę jednostkę napędową jest niejako naturalna i wynika z jej nietypowej budowy.

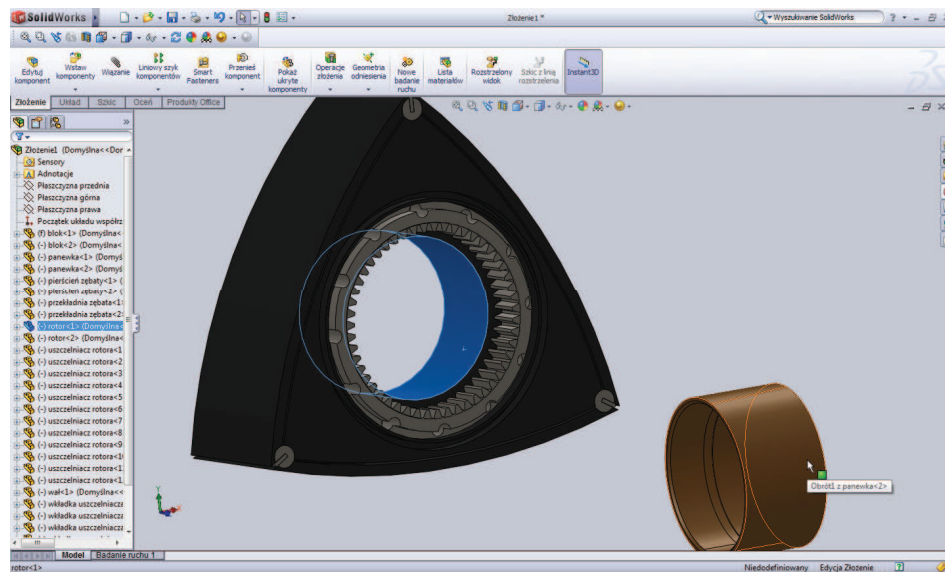
Budowa wirtualnych elementów silnika oraz opracowanie złozenia

Utworzenie wirtualnego, uproszczonego modelu korpusu silnika z wirującym tłokiem, wzorowanego na realnie istniejącej jednostce 13B z modelu Mazda RX-7 FD (czwartej generacji) należy rozpocząć od modelowania podstawowych elementów, takich jak panewka, rotor czy wał (Rys. 3). W kolejnym etapie posłużą one do utworzenia złozenia, które w prosty sposób pozwoli ukazać konstrukcję oraz działanie silnika Wankla.

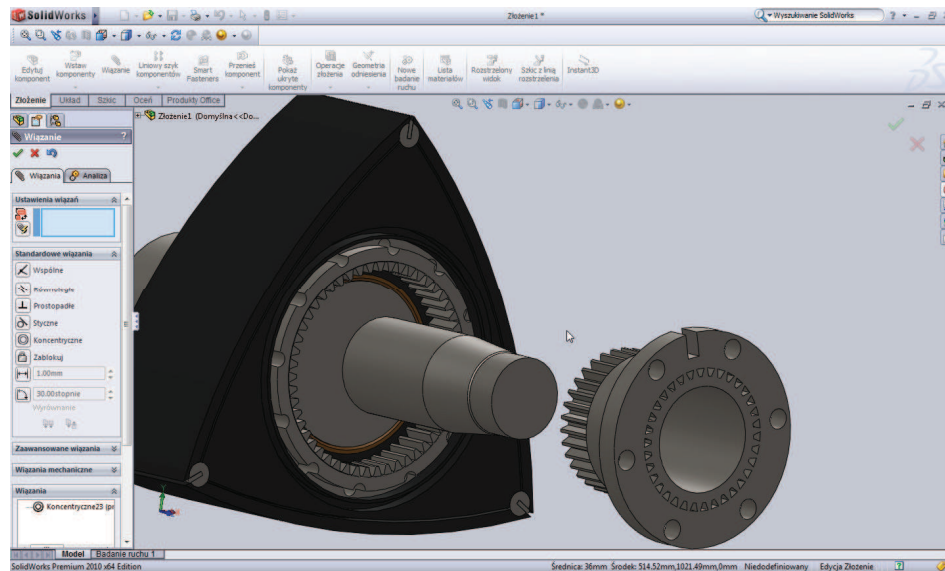


Rys. 3. Przykładowa część modelu silnika – wał

Proces przygotowania złożenia polega na zdefiniowaniu relacji między wskazanymi elementami tak, by zostały one stale połączone ze sobą w zgodny z założeniami projektu sposób, niezależnie od poruszających się komponentów (Rys. 4–7).



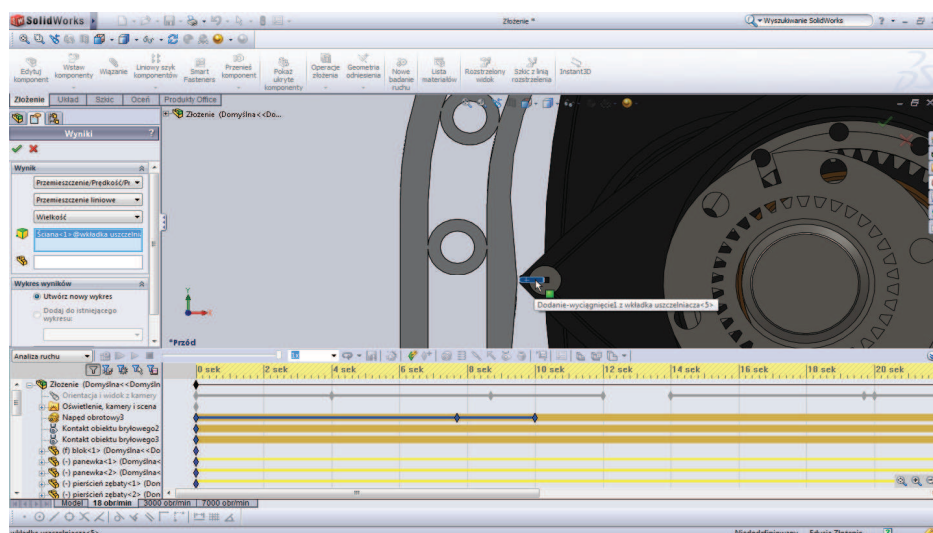
Rys. 4. Tworzenie wspólnego wiązania pomiędzy rotorem a panewką



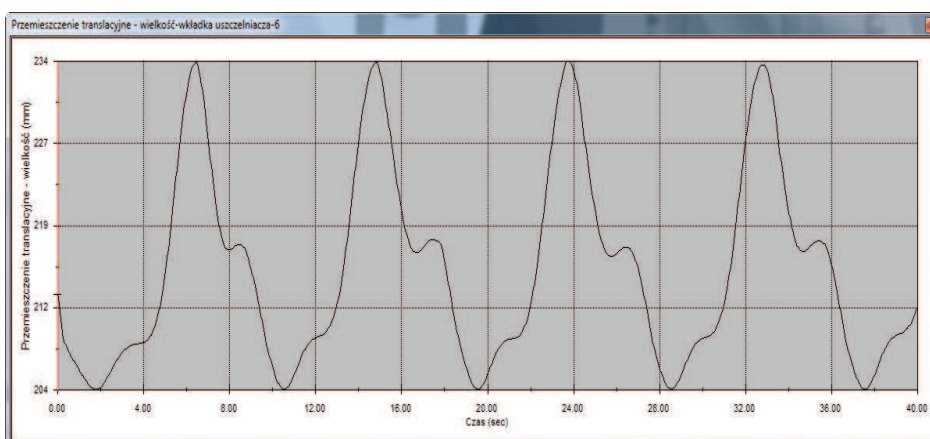
Rys. 5. Osadzenie przekładni zębatej na wale

Analiza ruchu wkładki uszczelnacza rotora

Do przeprowadzenia planowanych analiz ruchu konieczne jest użycie narzędzia SolidWorks Motion, stanowiącego osobny dodatek pakietu SolidWorks. Pozwala on na wykonywanie zaawansowanych analiz ruchu, działających sił tarcia, przesunięć liniowych, przyspieszeń kątowych i wielu innych zagadnień, pomocnych przy ruchomych konstrukcjach (Rys. 8). Zwieńczeniem procesu jest precyzyjna i czytelna wizualizacja wartości powyższych wielkości fizycznych w funkcji czasu (Rys. 9).



Rys. 8. Przeszczenie liniowe wkładki uszczelnacza rotora



Rys. 9. Wykres obrazujący przeszczenie liniowe wkładki uszczelnacza podczas pracy

Wnioski

Przeprowadzony w ramach badań proces budowy od podstaw poszczególnych części, a także złożeń silnika z wirującym tłokiem, umożliwił bardzo dokładne zapoznanie się z konstrukcją oraz zasadą działania tej niespotykanej jednostki napędowej. Pomimo faktu uproszczenia opracowanego modelu, przeprowadzone analizy pozwoliły ukazać w pełni najważniejszy i ciekawy aspekt silnika Feliksa Wankla – ruch wirującego w bloku rotora. Analiza ruchu pozwoliła na wysunięcie następujących wniosków:

- nierzadko spotykane w przypadku silników rotacyjnych zjawisko spalania małych ilości oleju w cyklu pracy nie jest defektem silnika, gdyż cecha ta wynika z budowy tej jednostki, a konkretnie z bliskiego kontaktu wkładek uszczelniaczy z blokiem silnika przy wysokich prędkościach obrotowych;
- narzędzie inżynierskie, jakim jest wysoce wyspecjalizowane oprogramowanie, pozwala w logiczny i intuicyjny sposób przedstawić skomplikowane zależności mechaniczne elementów złozenia;
- przemieszczenie translacyjne wkładki uszczelniacza tuż za osiągnięciem maksymalnej wartości w cyklu podczas opadania osiąga drugie maksimum lokalne – zachowanie to oznacza kontakt wkładki uszczelniacza z blokiem silnika, kiedy to wkładka pracuje sprężyście, chowając się w żłobek uszczelniacza.

Literatura

- [1] Rotary Piston Machines, Felix Wankel, ILIFFE BOOKS LTD, 1965
- [2] Rotary Engine, Kenichi Yamamoto, 1981 Toyo Kogyo, Hiroshima, Japan
- [3] Mazda RX-7 Owners Manual, 1994
- [4] Archiwum magazynu Auto ŚWIAT
<http://lukaszm.motogrono.pl/2009/05/22/silnik-wankla/>