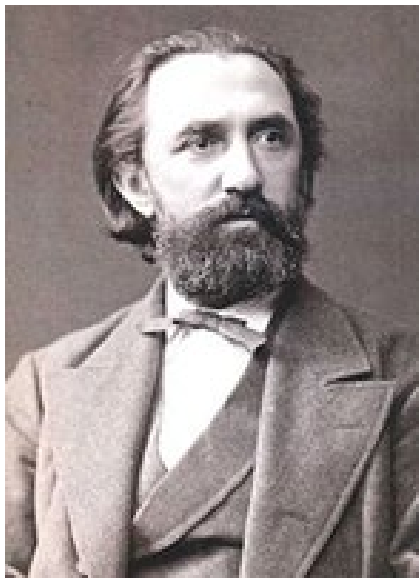


WYIMKI Z HISTORII TŁOKOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH CZ. 5. SILNIK WANKLA – JEDYNY SILNIK Z TŁOKIEM WIRUJĄCYM PRODUKOWANY SERYJNIE

W jednym z komentarzy do poprzedniego artykułu na temat rozwoju silników spalinowych zostałem poproszony o przygotowanie materiału o silniku opatentowanym przez Felixa Heinricha Wankla (ur. 13.08.1902, zm. 09.10.1988). Był to przypuszczalnie pierwszy, wykonany i w pełni przetestowany silnik spalinowy, w którym tłok nie wykonuje ruchu posuwisto-zwrotnego, lecz obraca się wewnątrz cylindra. Dzięki zbliżonemu do trójkąta kształtowi tłoka posiadającemu trzy osie symetrii, patrząc z boku, możliwe jest realizowanie jednocześnie trzech obiegów roboczych w przestrzeniach zamkniętych przez każdą z trzech bocznych powierzchni tłoka. Figura, którą tworzą boczne krawędzie tłoka, nosi nazwę trójkąta Reuleaux. Jest to figura geometryczna o stałej szerokości składająca się z łuków okręgów o środkach i końcach w wierzchołkach trójkąta równobocznego o boku d . Pole powierzchni trójkąta wynosi $\frac{1}{2}(\pi - \sqrt{3})d^2$ i jest najmniejsze spośród pól wszystkich figur o stałej szerokości równej d . Figura ta w rozwiązaniach mechanicznych została rozwinięta dzięki pracom niemieckiego inżyniera i teoretyka budowy maszyn Franza Reuleaux (ur. 30.09.1829, zm. 20.08.1905), często zwanego „ojcem kinematyki”.

Silnik Wankla posiada wiele zalet, wśród których należy wymienić stosunkowo małe rozmiary i masę, prostą konstrukcję (mniejszą liczbę elemen-



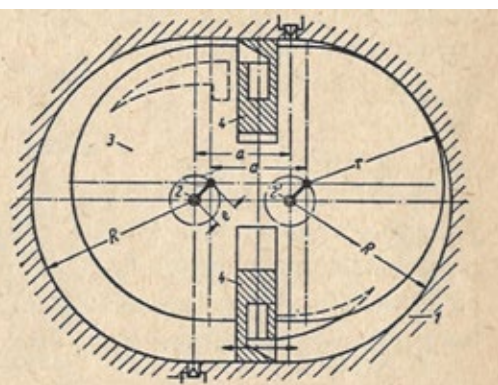
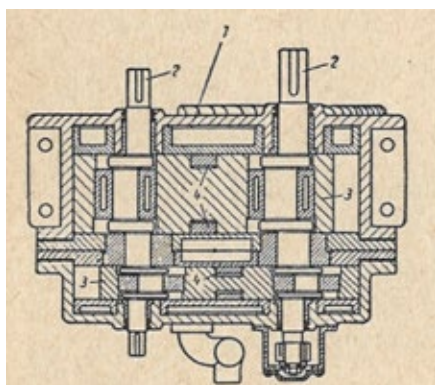
Dr Franz Reuleaux
(źródło: Wikipedia.) [dostęp: 31.12.2022]

tów niż w silnikach o ruchu posuwisto-zwrotnym (tłoka), niewielkie vibracje i niską hałaśliwość podczas pracy, a także osiąganie wysokich prędkości obrotowych i wysoką sprawność mechaniczną. Jednak silnik ten posiada również szereg wad, które powodują, że nie jest to popularny i powszechny napęd. Jako główną wadę tego rozwiązania należy wymienić trudność w efektywnym uszczelnieniu komór spalania i związane z tym przedmuchy wewnętrzne czynnika. To z kolei powoduje spadek ciśnienia indykowanego i zmniejszenie sprawności termodynamicznej. Silniki te wykazują się również



Prof. h.c. Dr. h.c. Felix Heinrich Wankel
(źródło: Faktopedia.pl) [dostęp: 31.12.2022]

większymi stratami ciepła na skutek niekorzystnej (szerokiej i płaskiej) komory spalania, co powoduje spadek sprawności ogólnej silnika i generuje naprężenia termiczne związane z „gorącą” i „zimną” strefą pracy silnika. W całkowitym bilansie silniki te odznaczają się więc większym jednostkowym zużyciem paliwa, mniejszą trwałością elementów i większą ilością spalin emitowanych na jednostkę wykonanej pracy względem nowoczesnych silników o posuwisto-zwrotnym ruchu tłoka. Niemniej jednak problem dalszego doskonalenia i szerszego zastosowania silników Wankla w prak-



Silnik Rogus Gustawa Różyckiego opatentowany w Polsce w 1947 roku (przekroje w płaszczyźnie wyznaczonej przez osie wałów korbowych i w płaszczyźnie prostopadłej do osi wałów): 1 – cylinder, 2 – wał korbowy, 3 – tłok, 4 – przegroda ruchoma
(źródło: [6])

Inż. Gustaw Michał Różycki (zdjęcie z okresu służby wojskowej w armii Austro-Węgier w czasie I Wojny Światowej, źródło: <http://motocyklista.eu/wynalazcy-gustaw-rozycki/>) [dostęp: 31.12.2022]

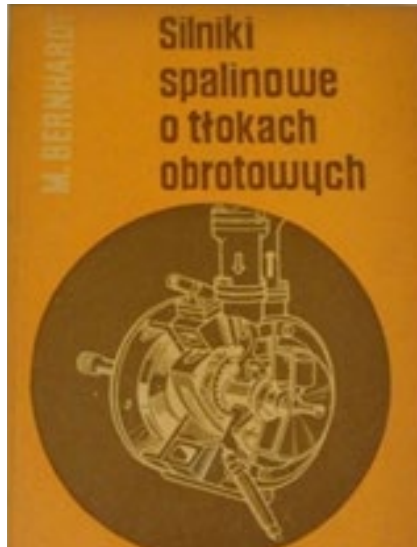
tyce pozostaje otwarty. Zobaczmy, co przyniesie przyszłość, a niezależnie od niej warto przyrzeć się temu rozwiązaniu i jego twórcy.

Na początek należy zauważyć, że pomysł wykorzystania ruchu obrotowego tłoka w maszynach energetycznych nie jest nowy i do dziś powstało wiele patentów na pompy, sprężarki oraz silniki pneumatyczne, hydrauliczne, parowe i spalinowe rozpatrywanego rodzaju. Należy tu wymienić m.in. silnik Rogus Gustawa Różyckiego (ur. 14.01.1892, zm. 02.03.1975), silnik Omega Granville'a Bronshawa (ur. 1887, zm. 1969), silnik Kauertz Eugena Kauertza (ur. 1898, zm. 1988), rewolwerowy dwusuwowy silnik Selwood Cecila Hughesa i wiele innych [1]. Wybrane wyimki z historii rozwoju maszyn z tłokami wirującymi podają m.in. za wymienioną pozycją nieżyjącego już prof. Macieja Bernhardtta (ur. 16.01.1923, zm. 18.01.2017) pt. „Silniki spalinowe o tłokach obrotowych (WKiŁ, Warszawa 1964). Ponadto tam, gdzie to konieczne, wskazują źródła internetowe i odniesienia do patentów.

Pierwsza pompa wody z tłokiem o ruchu obrotowym została przypuszczalnie opracowana w 1588 roku przez włoskiego inżyniera Agostino Ramelliego (ur. 1531, zm. ~1610). Powszechnie stosowana w systemach smarowania pompa zębata została opracowana w 1636 roku przez niemieckiego inżyniera Pappenheima. Pierwszy pomysł maszyny parowej z tłokiem obrotowym został przedstawiony w 1782 roku przez Jamesa Watta (ur. 30.01.1736, zm. 25.08.1819). W 1846 roku brytyjski wynalazca i inżynier Elijah Galloway (ur. bd., zm. 04.03.1856), wynalaz-



Prof. dr inż. Maciej Bernhardt
(źródło: <https://histmag.org/>)



Kompedium wiedzy o silnikach Wankla

ca pędnika okrętowego znanego jako koło wielopłatkowe Morgana, zbudował dwuwirnikową maszynę parową o tłoku krążącym, która rozwijała moc 12 kW (16 KM) przy prędkości wirnika 400–480 obr./min. Jednym z pierwszych, o ile nie pierwszym (przypuszczalnie nigdy niewdrożonym), zasilanym spalinami silnikiem

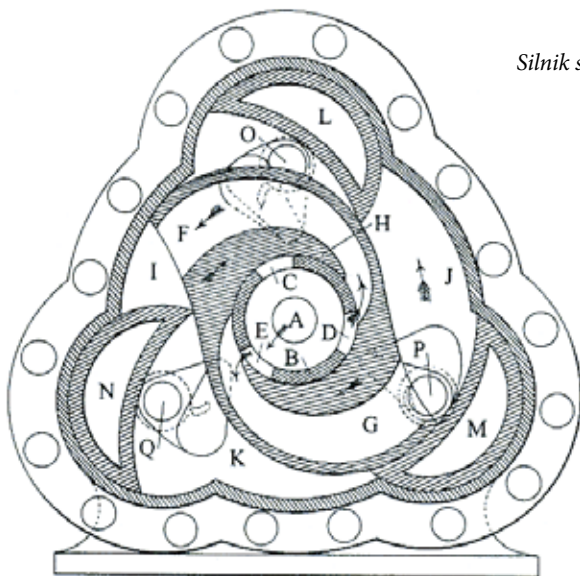
z wirującym tłokiem był silnik autorstwa angielskiego wynalazcy Josepha Webba z Dalston w Hrabstwie Middlesex, na który otrzymał on patent brytyjski nr 1216 w 1853 roku. Poniżej przedstawiłem rysunek pokazujący przekrój tego silnika. Spaliny powstające przypuszczalnie w zewnętrznej wytwornicy wpływają do silnika przez centralny otwór A. Przechodzą przez zawór stacjonarny B (przez otwory C, D, E) i tym samym do kanałów F, G w obracającym się tłoku H. Następnie rozprężają się w przestrzeniach I, J i K utworzonych pomiędzy obracającym się tłokiem i obrotowymi „przyporami” L, M i N. Rozprężając się, napędzają tłok. Pod koniec rozprężania gazy opuszczają otwory wylotowe O, P i Q [1, 2].

Od czasu silnika Webba powstało wiele koncepcji silników z tłokami obrotowymi. Poniżej przedstawiam kilka wybranych. Już parę lat później, bo w 1866 roku Amerykanin z Nowego Yorku, Henry J. Behrens, opracował dwuwirnikową maszynę parową o obwodowym rozgraniczeniu komór. Silnik ten był nadal rozwijany i już dwa lata później Dexter D. Hardy otrzymał patent na bardzo podobny silnik (patent amerykański 77,373 z dn. 28.04.1868).

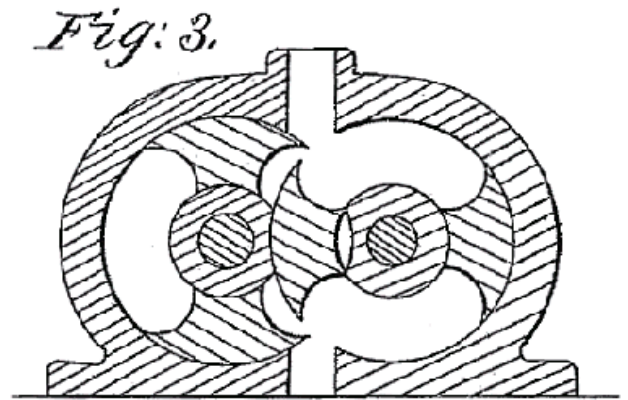
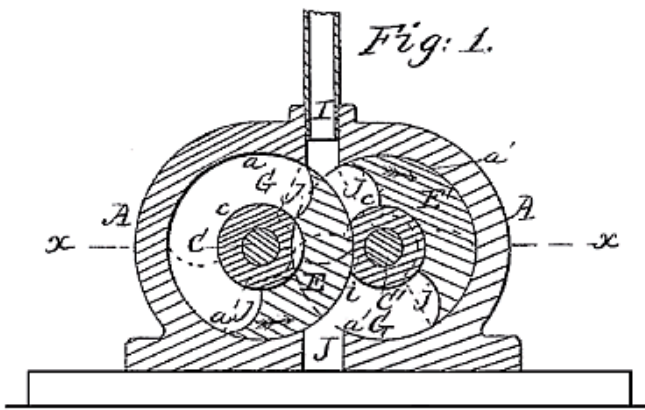
W roku 1876 szwajcarski inżynier Pierre-Joseph Ravel (ur. 1832, zm. 1908), ojciec kompozytora Maurice Ravela, otrzymał patent na silnik o swobodnym ruchu tłoka (bezkorbowy). Był to silnik dwustronnego działania z rotacyjnym ruchem tłoka. Pierre-Joseph Ravel zasłynął już wcześniej zbudowanymi w późnych latach 60. XIX w.: samochodem napędzanym parą i dwusuwowym silnikiem spalinowym zasilanym acetylenem.

W 1877 roku Johann Martin Gottfried Neuerburg (ur. 1825, zm. 1903) i J. Pulfrich z Kolonii uzyskali patent na oscylacyjny silnik atmosferyczny pracujący na dokładnie tej samej zasadzie co silnik gazowy Otto–Langena. W 1882 roku zaś Paryżanie, Frantz Marti i Julius Quaglio, opracowali silnik z tłokiem obrotowym zbliżony nieco do wcześniejszej koncepcji zaproponowanej przez Webba.

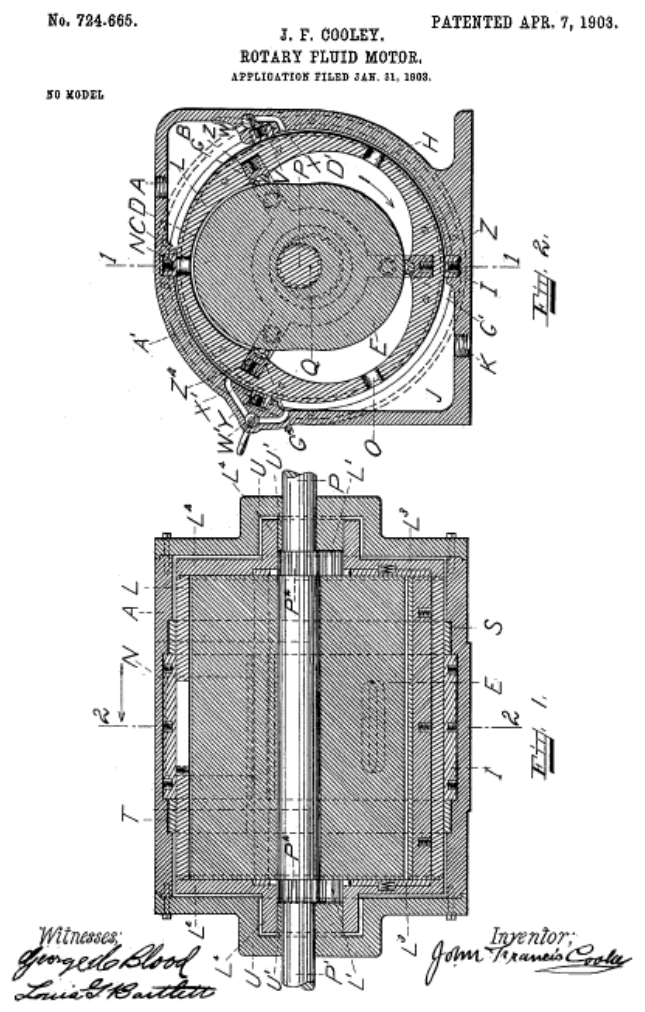
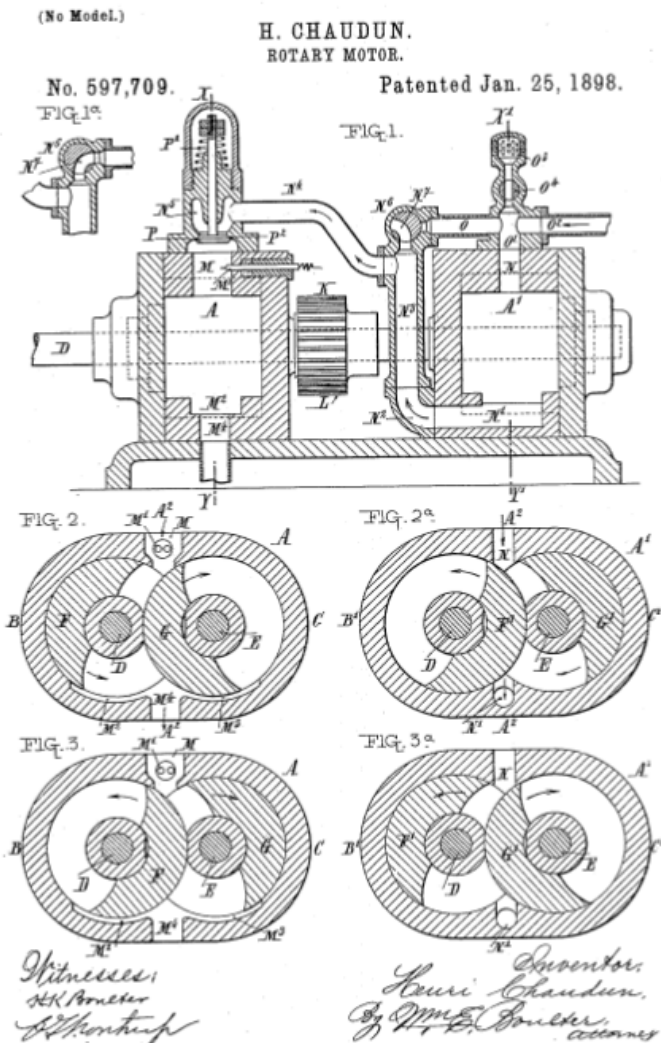
W roku 1884 powstał przypuszczalnie ostatni lub jeden z ostatnich atmosferycznych (bez sprężania) silnik spalinowy o obrotowym ruchu tłoka, którego twórcą był australijski wynalazca Robert Pickup Park z Południowego



Silnik spalinowy z tłokiem obrotowym
Josepha Webba
(źródło: patent brytyjski
nr 1216 z 1853 roku)



Rozwiązania wykonania maszyny parowej Behrensa (źródło: patent amerykański 53,915 z dn. 10.04.1866)

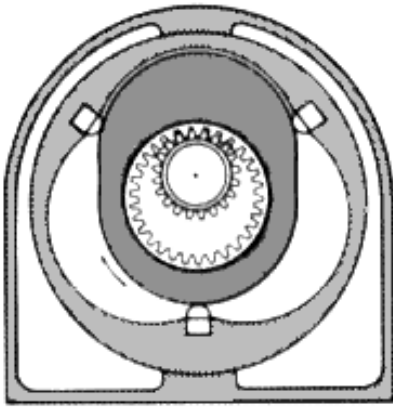


Silniki z tłokami wirującymi: spalinowy Chauduna oraz silnik parowy Cooleya (źródło: patenty amerykańskie 597,709 z dn. 25.01.1898 i 724,665 z dn. 07.04.1903)

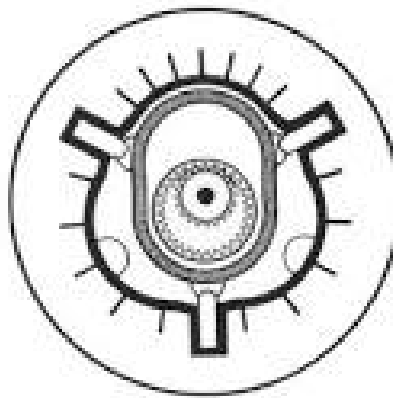
Melbourne. Ten ostatni wynalazek stanowił uzupełnienie o tłok obrotowy wcześniejszego mechanizmu opatentowanego w 1805 roku przez Thomasa Knighta (Lorda Cochrane). Więcej o tych rozwiązaniach czytelnicy znaj-

dą w książce prof. Horsta Hardenberga (ur. 1934, zm. 11.04.2000) pt. „The middle ages of the internal-combustion engine 1794–1886” [2] oraz w innych źródłach internetowych wskazanych na końcu artykułu.

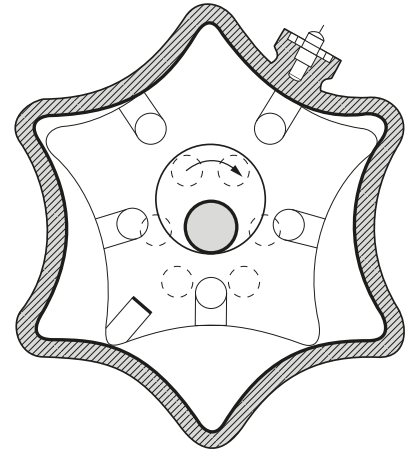
W 1897 roku Francuz Henri Chaudun przekonstruował maszynę parową Behrensa w spalinowy silnik czterotaktowy. Na rozwiązanie to uzyskał patent w 1898 roku (patent amerykański 597,709 z dn. 25.01.1898).



Silnik parowy Cooleya z 1901 roku*



Silnik spalinowy Umpleby'ego z 1908 roku*



Silnik spalinowy Wallindera i Skooga z 1923 roku*

*(źródło: opisy patentowe wskazane w tekście)

Z kolei w 1901 roku John F. Cooley opracował, a w 1903 roku opatentował silnik parowy o tłoku krążącym o profilu epicykloidalnym pracującym w korpusie hypocykloidalnym (patenty amerykańskie 724,665, 724,994, 725,615 i 748,348 oraz patent brytyjski 6168). Silnik ten był nieco zbliżony do późniejszego silnika Wankla.

W 1908 roku Fred Umpleby przekształcił silnik Cooleya z parowego w spalinowy silnik czterotaktowy. Na wynalazek ten otrzymał patent (patent brytyjski GB190824559A z dn. 04.11.1909). Niestety ze względu na problemy z uszczelnieniem tłoka w korpusie rozwiązania nie wdrożono. Silnik Umpleby'ego można dziś oglądać w muzeum w Keighley w Yorkshire [4].

Kolejny silnik spalinowy o tłoku krążącym został opatentowany w 1923 roku przez szwedzkich inżynierów Wallindera i Skooga. W ich patencie nie wskazano jednak również szczegółów realizacji uszczelnienia tłoka. Felix Wankel uzyskał swój pierwszy patent w 1929 roku, choć jego pierwszy prototyp powstał znacznie później,

o czym mowa dalej. W roku 1934 Wankel, pracując dla niemieckiej wytwórni silników BMW, rozwijał zbliżony do silnika Behrensa trójwornikowy silnik o tłokach wirujących i obwodowym rozdzielaniu komór spalania.

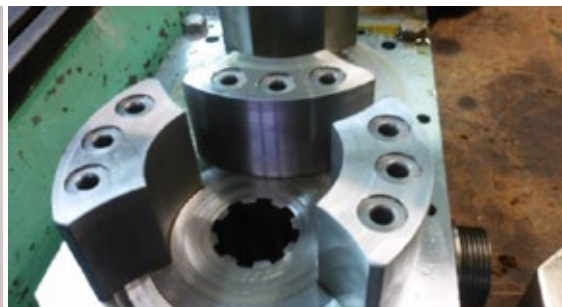
Jak widać, koncepcja zaprezentowana w 1866 roku przez Behrensa stanowiła inspirację dla wielu wynalazców, w tym wymienionych już Henriego Chauduna, Dextera Hardy'ego czy Felixa Wankla. Warto tu również wymienić zaprojektowaną i zbudowaną w Wyższej Szkole Morskiej w Szczecinie maszynę przetwarzającą energię (w tym zastosowaniu jako pompa oznaczona MP-05) autorstwa byłego rektora Wyższej Szkoły Morskiej w Szczecinie i Akademii Morskiej w Szczecinie, prof. Bolesława Kuźniewskiego (ur. 22.06.1935, zm. 20.08.2017). Na wymienioną maszynę Kuźniewski uzyskał ochronę patentową (patent polski PAT.110112 udzielony dn. 24.11.1983).

Wróćmy jednak do silnika Wankla, w którym tłok jest osadzony mimośrodowo w korpusie o kształcie epitrochoidy. Dla wyjaśnienia dodajmy,

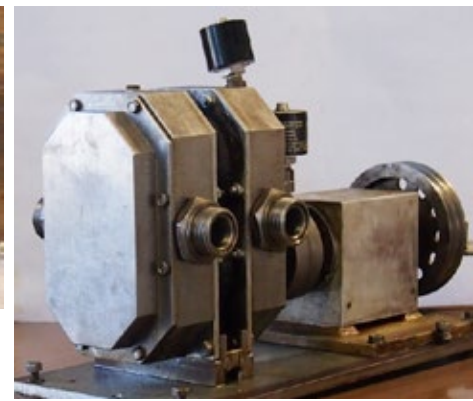
że epitrochoida to krzywa zakreślona przez punkt pozostający w stałym położeniu względem okręgu o promieniu r toczącego się po nieruchomym okręgu o promieniu R . Obracający się tłok wraz z korpusem tworzy trzy komory, które w trakcie jego obrotu realizują poszczególne funkcje związane z przebiegiem procesu w silniku czterotaktowym, czyli pełnią funkcję komory ssawnej (wlotowej), sprężania, rozprężania (pracy) i wylotu.

Funkcje te dla wybranego jednego boku tłoka zostały zilustrowane na załączonym rysunku prezentującym różne położenia tłoka podczas jego obrotu. W zależności od kąta obrotu tłoka (1) wewnątrz korpusu (2) komory te zmieniają kształt i objętość. Konstrukcja silnika Wankla umożliwia więc realizację w przestrzeni zamykanej przez dany bok tłoka pełnego cyklu roboczego (czterech cykli) w trakcie jednego obrotu tłoka.

Poszczególne funkcje realizowane w komorze (komorach) spalania przebiegają natomiast analogicznie jak w klasycznym silniku czterosuwowym

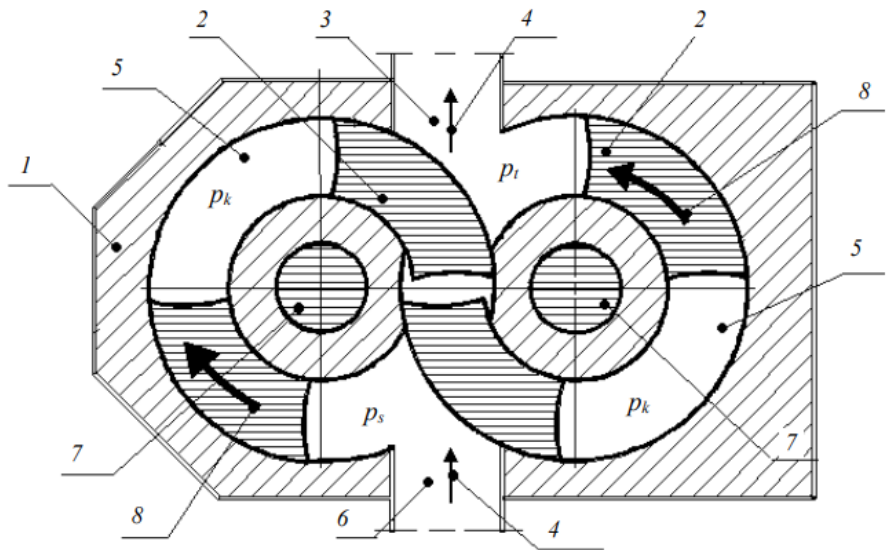


Wnętrze i widok ogólny prototypu pompy z wirującymi tłokami MP-05 Bolesława Kuźniewskiego (fot. archiwum Adama Komorowskiego)





Prof. dr hab. inż. Bolesław Kuźniewski
(fot. Andrzej Szkocki, Głos Szczeciński, 2004)



Pompa wyporowa z wirującymi tłokami MP-05 autorstwa Bolesława Kuźniewskiego (źródło: patent polski PAT.110112 z dn. 24.11.1983): 1 – korpus pompy, 2 – tłoki w postaci segmentów torusa, 3 – otwór tłoczny, 4 – kierunek przepływu czynnika pompowanego, 5 – przestrzeń robocze, 6 – otwór ssawny, 7 – walki łożyskowe w korpusie, 8 – kierunki obrotu wałków z tłokami, p_s – ciśnienie w komorze ssania, p_t – ciśnienie w komorze tłoczenia, p_k – ciśnienie w komorze roboczej

(czterotaktowym o ruchu posuwisto-zwrotnym tłoka w cylindrze).

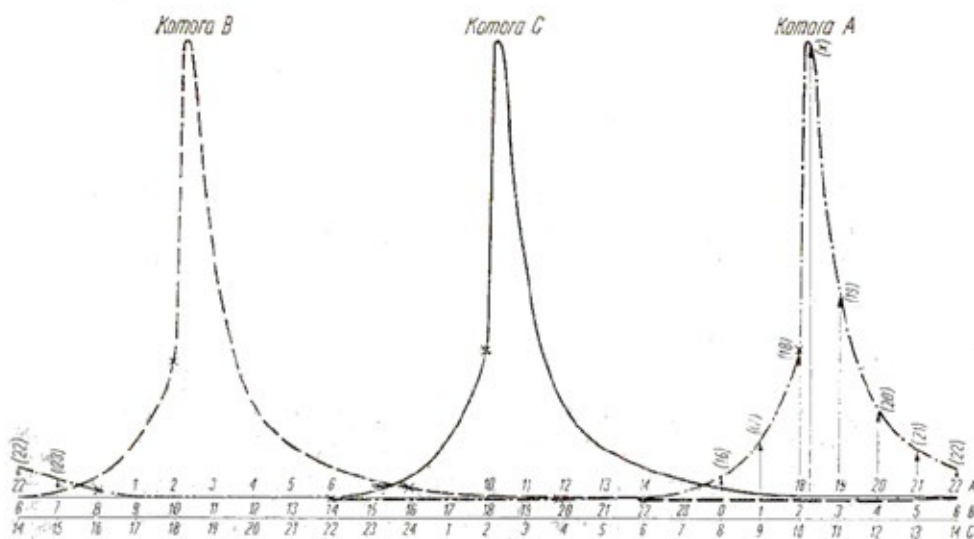
W momencie gdy mieszanka paliwowo-powietrzna uzyskuje maksymalne sprężenie, realizowany jest zapłon inicjowany przez świece zapłonowe. Mieszanka paliwowo-powietrzna dostarczana jest przez kanał wlotowy (3), a spaliny odprowadzane przez kanał odprowadzający (4). Ruch tłoka jest przenoszony na mimośrodowe odcinki wału centralnego. Z kolei sam tłok w trakcie ruchu jest prowadzony przez koła zębate nieruchomo przymocowane do płaskich ścian komory, które są współosiowe z wałem centralnym przenoszącym moment obrotowy silnika. Animacja prezentująca działanie

silnika dostępna jest w Internecie [5, 8]. Zainteresowani czytelnicy znajdą też szczegółowy opis działania silnika Wankla, różne rozwiązania konstrukcyjne oraz całościowy opis zagadnień związanych z jego eksploatacją we wciąż aktualnej książce prof. Macieja Bernhardta [6]. Szczegółowe informacje bibliograficzne zamieściłem na końcu artykułu.

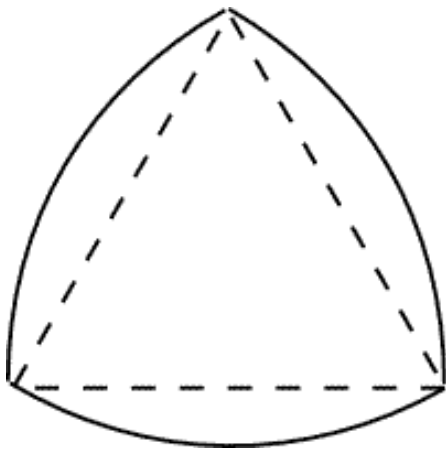
Przy okazji przyjrzyjmy się twórcy silnika z tłokiem wirującym, Felixowi Heinrichowi Wanklowi, który był postacią kontrowersyjną. Wybrane fakty z jego życia przytaczam tu za życiorysem wynalazcy opublikowanym przez encyklopedię Alchetron [9]. Wankel urodził się w 1902 roku w Lahr,

w ówczesnym Wielkim Księstwie Badenii, na Nizinie Górnego Renu w dzisiejszych południowo-zachodnich Niemczech. Jego ojciec zginął podczas I wojny światowej, a warunki życiowe nie pozwoliły mu na uzyskanie formalnego wykształcenia technicznego. Dysponował on jednak niespotykaną intuicją i wyobraźnią przestrzenną oraz wykazywał zainteresowanie techniką.

W roku 1919 Wankel powiedział przyjaciółom, że ma marzenie, aby zbudować samochód z „nowym typem silnika, w połowie turbinowego, w połowie tłokowego” oraz dodał, że to jego wynalazek. W 1921 roku ukończył lokalną szkołę bez matury. Autorzski plan rozwoju motoryzacji zaczął

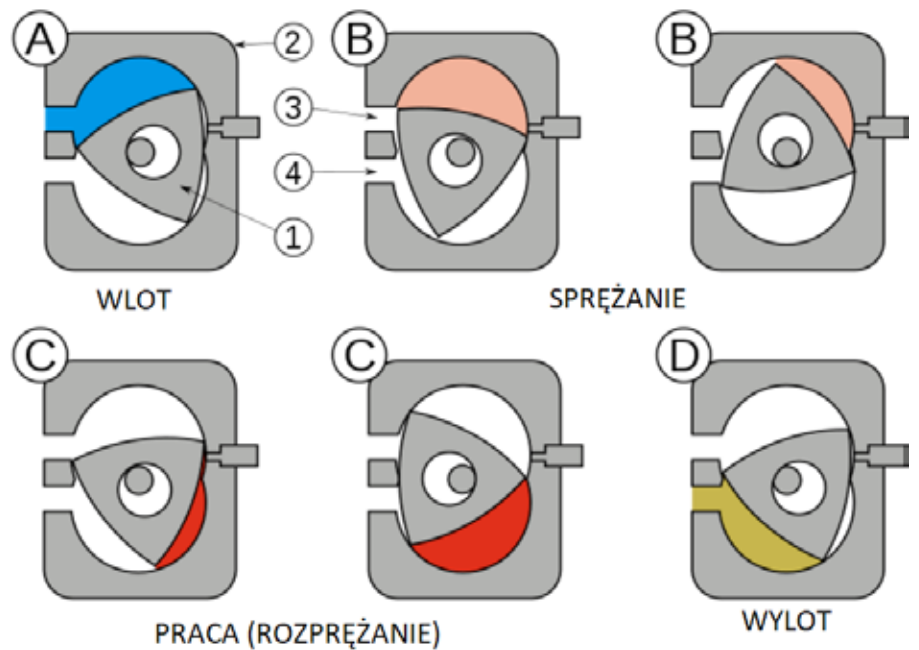


Rozwinięty wykres indykatorowy – kolejnymi liczbami na osi odciętych oznaczono kolejne położenia tłoka w zakresie jednego obrotu; A, B i C to oznaczenia kolejnych trzech komór spalania w korpusie, licząc w kierunku przeciwnym do kierunku obrotu tłoka (źródło: [6])



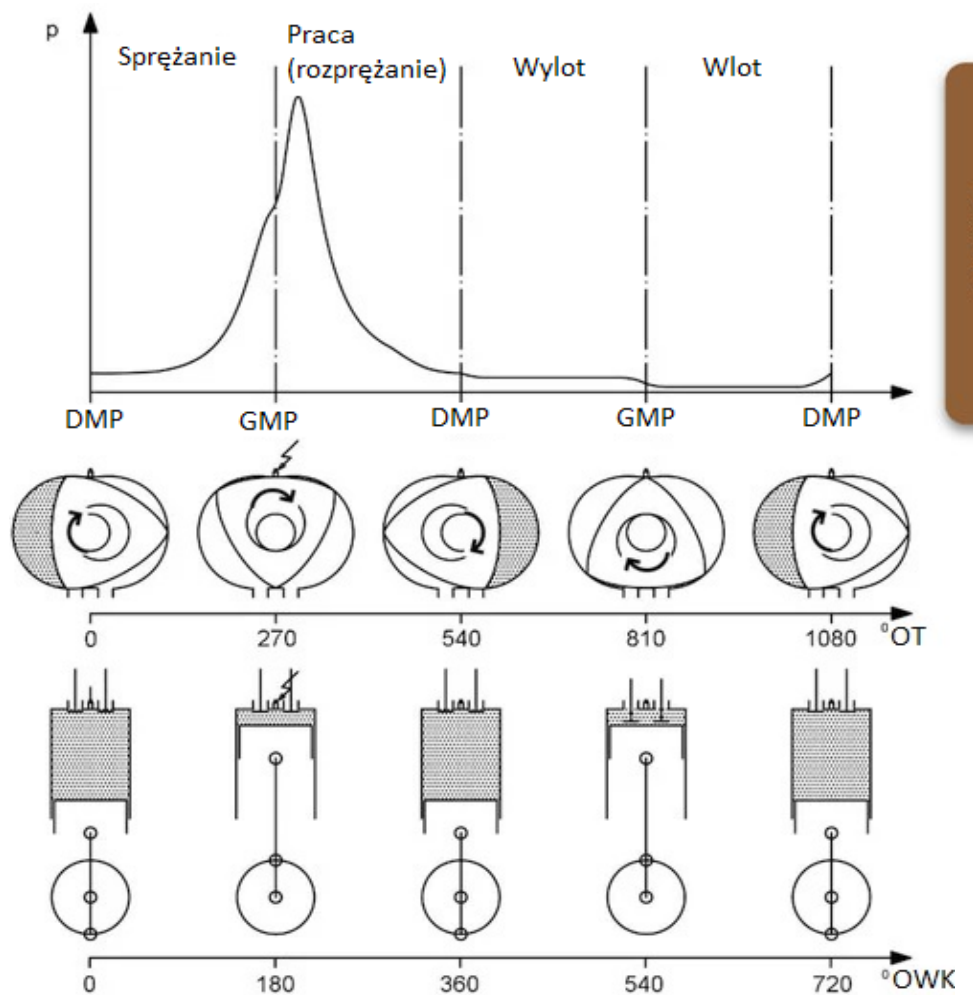
Trójkąt Reuleaux

Fazy pracy silnika Wankla
na przykładzie wybranej
komory spalania
(źródło: [5])



wprowadzać w życie niedługo później, bo w 1924 roku opracował projekt silnika z obrotowym tłokiem, na który uzyskał swój pierwszy patent w 1929 roku. Po opuszczeniu szkoły nauczył się zawodu kupca w wydawnictwie Carl Winter Press w Heidelbergu, gdzie pracował do czerwca 1926 r. Jednocześnie od 1924 roku poświęcał się pracy w warsztacie mechanicznym mieszczącym się w przydomowej szopie w Heidelbergu. W 1927 roku jeden z przyjaciół wynalazcy przekształcił warsztat w oficjalnie działającą firmę zajmującą się naprawą motocykli DKW i Cleveland. Wankel pracował tam dorywczo, aż do swojego aresztowania w 1933 roku.

Aby nakreślić tło tego ostatniego zdarczenia, trzeba się nieco cofnąć w czasie do początków lat 20. XX wieku, gdy Wankel aktywnie realizował się jako członek skrajnie prawicowych i antysemitycznych organizacji. W 1921 roku wstąpił do heidelberskiego oddziału Deutschvölkischer Schutz und Trutzbund, zaś rok później został członkiem NSDAP, czyli Narodowo-Socjalistycznej Niemieckiej Partii Robotniczej, która wkrótce jednak została zdelegalizowana. Wankel założył i prowadził grupy młodzieżowe związane z organizacją tuszącą związki z NSDAP, w tym prowadził szkolenia paramilitarne. Mimo że zainteresowania techniką nie były powszechne w tych organizacjach, Wankel otrzymał w 1928 roku możliwość rozmowy z Adolfem Hitlerem oraz innymi narodowymi socjalistami



Porównanie realizacji czterotaktu w pojedynczej komorze silnika Wankla i w cylindrze silnika o ruchu posuwisto-zwrotnym: DMP – dolny martwy punkt, GMP – górny martwy punkt, skrajne położenia tłoka w cylindrze silnika o ruchu posuwisto-zwrotnym; °OT – stopień kątowy obrotu tłoka, °OWK – stopień obrotu wału korbowego (na podstawie [7]).



Felix Wankel rozmawia z Heinrichem Himlerem podczas spotkania w Lindau (zdjęcie z kolekcji „Życie i praca Felixa Wankla”, <https://bz-ticket.de/ein-streitbarer-erfinder-und-umstrittener-mensch--41347601.html>, [dostęp: 31.12.2022])

na temat rozwoju myśli technicznej i edukacji młodzieży. W międzyczasie matka Wankla pomogła założyć lokalny oddział NSDAP w jego rodzinnym mieście Lahr, a Wankel w 1926 roku ponownie związał się z tą partią, gdzie podjął współpracę z Robertem Wagnerem. W 1931 roku Wagner powierzył Wanklowi kierownictwo faszystowskiej młodzieżówki Hitlerjugend w Badении. Niedługo później obaj działacze pokłócili się, widząc inne kierunki rozwoju organizacji. Wankel próbował położyć większy nacisk na szkolenie wojskowe, podczas gdy Wagner chciał, aby Hitlerjugend była organizacją przede wszystkim polityczną. Rozpoczął się okres publicznych wzajemnych oskarżeń, które działacze kierowali przeciwko sobie.

Ponieważ przejście władzy przez nazistów w Niemczech 30 stycznia 1933

roku umocniło pozycję Wagnera, ten kazał aresztować Wankla i uwięzić go w więzieniu Lahr w marcu 1933 roku. Wynalazca został z niego uwolniony we wrześniu 1933 roku dzięki interwencji doradcy ekonomicznego Hitlera, Wilhelma Kepplera, u samego Hitlera. Keppler był przyjacielem Wankla i zagorzałym zwolennikiem jego przedsięwzięć inżynierskich, począwszy od 1927 roku. Teraz pomógł Wanklowi zdobyć kontrakty państwowe i uruchomić własną firmę Wankels Versuchs Werkstätten w Lindau. Wankel próbował ponownie dołączyć do NSDAP w 1937 roku, ale jego wniosek został odrzucony. Z pomocą Kepplera został jednak w 1940 roku przyjęty do SS w randze obersturmbannführera. Jednak dwa lata później członkostwo Wankla w SS zostało cofnięte z niejasnych powodów.

Podczas II wojny światowej Wankel opracowywał uszczelnienia i zawory obrotowe do samolotów niemieckich sił powietrznych i torped marynarki wojennej produkowanych przez firmy BMW i Daimler-Benz. Po wojnie, w 1945 roku przez kilka miesięcy był więziony przez Francuzów, jego laboratorium zostało zamknięte, zaś raporty z jego pracy zostały skonfiskowane. Wankel otrzymał też zakaz dalszej pracy wynalazczej. Trwało to do 1951 roku, gdy wynalazca otrzymał od firmy Goetze AG fundusze na wyposażenie nowego Centrum Rozwoju Technicznego w swoim prywatnym domu w Lindau nad Jeziorem Bodeńskim. Wówczas rozpoczął prace rozwojowe nad silnikiem swojej konstrukcji w NSU Motorenwerke AG, co doprowadziło do powstania pierwszego działającego prototypu silnika Wankla 1 lutego 1957 roku. W przeciwieństwie do nowoczesnych silników Wankla, w tej wersji obracał się zarówno wirnik, jak i obudowa. Silnik rozwijał moc 15,7 kW (21 KM). Pierwsza licencja na to rozwiązanie została udzielona amerykańskiej firmie Curtiss-Wright.

19 stycznia 1960 roku silnik Wankla został po raz pierwszy zaprezentowany specjalistom i prasie na spotkaniu Niemieckiego Związku Inżynierów w Deutsches Museum w Monachium. W tym samym roku zaprezentowany został kolejny silnik oznaczony KKM 250. Rozpoczął się okres udoskonalania silników Wankla i poszukiwania jego nowych zastosowań. Na targach IAA w 1963 roku firma NSU zaprezentowała NSU Wankel-Spider, pierwszy pojazd konsumencki, który wszedł do



Przekrój silnika Mazda RX-8 (źródło: <https://carfromjapan.com/article/car-maintenance/mazda-rx8-engine-rebuild/> [dostęp: 31.12.2022])



Prototypowa szybka łódź motorowa zasilana czterowirnikowym doładowanym silnikiem Wankla 26B zasilanym metanolem (źródło: <https://engineswapdepot.com/?p=3892>, [dostęp: 31.12.2022])

| Rok udzielenia licencji | Nazwa licencjodawcy | Typ i przeznaczenie silnika | Zakres mocy (kW) | Uwagi |
|-------------------------|---|---|------------------|--|
| 1958 | Curtiss-Wright | Silniki wszystkich typów chłodzone wodą i powietrzem | 74–735 | W 1984 licencję odsprzedano firmie Deere and Co. |
| 1960 | Fichtel & Sachs | Silniki przemysłowe i okrętowe | Do 22 | |
| 1961 | Yanmar Diesel | Silniki okrętowe iskrowe (o zapłonie samoczynnym) | Do 74 (do 221) | |
| | Toyo Kogyo (Mazda): | Silniki pojazdów motorowych | Do 147 | |
| | Daimler Benz | Silniki wszystkich typów | Powyżej 37 | |
| 1963 | Rheinstahl-Hanomag | Silniki benzynowe | 29–147 | Przed 1972 przejęta przez Daimler-Benz |
| 1964 | Alfa Romeo | Silniki pojazdów motorowych | 37–221 | |
| 1965 | Rolls-Royce | Silniki o zapłonie samoczynnym lub wielopaliwowe | 74–625 | |
| | VEB Automobilbau | Silniki dla transportu drogowego | 0–18 i 37–74 | Licencje porzucono przed 1972 |
| | Porsche | Silniki samochodów sportowych | 37–735 | |
| 1966 | Outboard Marine | Zaburtowe silniki okrętowe | 37–294 | |
| 1967 | Comotor (NSU Motorenwerke and Citroën) | Silniki benzynowe | 29–147 | |
| | Graupner | Silniki do modeli | Do 2 | |
| 1969 | Savkel | Przemysłowe silniki benzynowe | Do 22 | |
| 1970 | Nissan | Silniki samochodowe | 59–88 | |
| | General Motors | Wszystkie typy silników o liczbie wirników do czterech, z wyłączeniem lotniczych silników | Bd. | |
| | Suzuki | Silniki motocyklowe | 15–66 | |
| 1971 | Toyota | Silniki samochodowe | 55–110 | |
| | Ford Germany (włączając Ford Motor Company) | Silniki samochodowe | 59–147 | |
| Przed 1972 | Perkins Engines | Silniki wszystkich typów | Do 184 | |
| | Klöckner-Humboldt-Deutz | Silniki o zapłonie samoczynnym | Bd. | Rozwój zarzucono przed 1972 |
| | MAN | | | |
| | Krupp | | | |

produkcji w 1964 roku. W sierpniu 1967 roku NSU spotkało się z dużym zainteresowaniem dzięki nowoczesnemu pojazdowi NSU Ro 80, który miał 115-konny silnik z dwoma wirnikami. Był to pierwszy niemiecki samochód wybrany „Samochodem Roku” w 1968 roku. W Japonii producent Mazda rozwiązał problem drgań silnika. Silnik ten był z powodzeniem stosowany przez Mazdę w kilku generacjach

samochodów klasy coupé i sedanach z serii RX, w tym w Mazdzie Cosmo, R100, RX-7, a ostatnio także w RX-8. Poniżej zamieściłem zestawienie najważniejszych danych technicznych silnika ostatniego z wymienionych pojazdów.

Z kolei firma Mercedes-Benz ukończyła swój eksperymentalny model C111 w 1969 roku z 3-wirnikowym silnikiem Wankla. W 1970 roku kolej-

ny model z 4-wirnikowym silnikiem Wankla osiągał prędkość maksymalną 290 km/h, ale nigdy nie wszedł do produkcji seryjnej. Oprócz prób zastosowań silników Wankla w motoryzacji podejmowano i wciąż podejmuje się próby zastosowania tych silników w innych gałęziach transportu i gospodarki, w tym do napędu statków wodnych.

Pośród ciekawych kierunków rozwoju tych silników należy natomiast wska-

zać rozwój silników Wankla o zapłonie samoczynnym, co było przedmiotem badań firm Yanmar oraz Rolls-Royce, a także prób zasilania silnika wodorem oraz opracowania modyfikacji silnika Wankla umożliwiającą realizację dwutaktowego cyklu pracy. Wybrane zastosowania i podejmowane kierunki rozwoju silników Wankla przedstawiam w załączonej tabeli.

Licencje udzielone przez NSU na silniki Wankla w latach 1958–1972 (opracował L. Chybowski na podstawie [8])

Wankel odniósł sukces w biznesie, zabezpieczając umowy licencyjne na całym świecie. Przed 1958 rokiem Wankel i partnerzy założyli firmę Wankel GmbH, zapewniając wynalazcy udział w zyskach ze sprzedaży licencji na silnik. Wśród licencjobiorców byli Daimler-Benz od 1961 roku, General Motors od 1970 roku, Toyota od 1971 roku. Opłaty licencyjne dla Wankel GmbH wynosiły 40%, a później 36%. W 1971 roku Wankel sprzedał swój udział w opłatach licencyjnych za 50 milionów marek niemieckich angielskiemu konglomeratowi Lonrho. W następnym roku otrzymał z powrotem Centrum Rozwoju Technicznego od Towarzystwa Fraunhofera. Od 1986 roku Instytut Felixa Wankla współpracował z Daimler Benz AG.

Daimler Benz pokrył koszty operacyjne w zamian za prawa do badań. Wankel sprzedał Instytut firmie Daimler Benz za 100 milionów marek.

Dane techniczne silnika Wankla samochodu Mazda RX-8 231 (opracował L. Chybowski na podstawie: <https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Mazda/879/Mazda-RX-8-231.html>, [dostęp: 01.01.2023])

Pośród ciekawostek dotyczących wynalazcy można wymienić fakt, że Wankel nigdy nie miał prawa jazdy, ponieważ cierpiał na silną krótkowzroczność. Był jednak właścicielem NSU Ro 80 z silnikiem Wankla, którym był wożony przez szofera. Wankel otrzymał wiele odznaczeń państwowych. W 1969 roku otrzymał honorowy doktorat z inżynierii na Uniwersytecie Technicznym w Monachium. Zmarł w Heidelbergu w wieku 86 lat.

Był orędownikiem praw zwierząt i sprzeciwu wobec wykorzystywania zwierząt w testach. Wankel w dojrzałych latach życia próbował się zdystansować od wcześniejszych związków z faszyzmem i narodowym socjalizmem oraz antysemitkich poglądów, wskazując, że u ich źródła leżały młodzińcze zapędy i chęć zrobienia czegoś dobrego dla kraju. Nie zmienia to jednak tego, że jego wcześniejsza działalność pozostaje faktem.

Oczywiście nic w naturze nie jest czarne lub białe i choć bez wątpienia Felix Wankel dokonał ogromnego postępu w kwestii rozwoju silników spalinyowych z tłokami wirującymi, to jego młodzińska aktywność polityczna pozostawiła na nim niezmywalne znamię. Ocenę całokształtu jego działalności jako człowieka pozostawiam czytelnikom. Miejmy jednocześnie nadzieję, że w takiej czy innej postaci silniki o tłokach obrotowych będą się rozwijały. Kto wie, może w przyszłości w pewnych zastosowaniach staną się niezastąpione.

Na zakończenie składam serdeczne podziękowanie Panu Adamowi Komorowskiemu za udostępnione zdjęcia prototypu pompy z wirującymi tłokami MP-05 projektu Bolesława Kuźniewskiego.

Najważniejsze źródła wykorzystane w opracowaniu:

1. *The Museum of Retro Technology Unusual Internal-Combustion Engines Available online: <http://www.douglas-self.com/MUSEUM/POWER/unusualI-Ceng/unusualI-Ceng.htm> [accessed on Jan 1, 2023].*
2. *Hardenberg, H. The Middle Ages of the Internal-Combustion Engine 1794–1886; R-262.; Society of Automotive Engineers: Warrendale, 1999;*
3. *Marsh, J. Wankel Rotary Engine Available online: <http://www.citroenet.org.uk/miscellaneous/wankel/wankel1.html> [accessed on Jan 1, 2023].*
4. *Wankel, F. Einteilung der Rotations-Kolbenmaschinen; Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Fachverlag: Stuttgart, 1963;*
5. *Wikipedia Silnik Wankla Available online: https://pl.wikipedia.org/wiki/Silnik_Wankla [accessed on Jan 1, 2023].*
6. *Bernhardt, M. Silniki o tłokach obrotowych; WKiŁ: Warszawa, 1964;*
7. *Kutlar, O.A.; Malkaz, F. Two-Stroke Wankel Type Rotary Engine: A New Approach for Higher Power Density. Energies 2019, 12, 4096, doi:10.3390/en12214096.*
8. *Wikipedia Wankel engine Available online: https://en.wikipedia.org/wiki/Wankel_engine [accessed on Jan 1, 2023].*
9. *Alchetron Felix Wankel Available online: <https://alchetron.com/Felix-Wankel> [accessed on Jan 1, 2023].*



| Parametr | Opis |
|----------------------------|---------------------------|
| Liczba wirników | 2 |
| Paliwo | Benzyna |
| Objętość robocza silnika | 1308 cm ³ |
| Stożek sprężania | 10,0 |
| Maksymalna moc użyteczna | 170 kW przy 8200 obr./min |
| Maksymalny moment obrotowy | 211 Nm przy 5500 obr./min |

Dane techniczne silnika Wankla samochodu Mazda RX-8 231 (opracował L. Chybowski na podstawie: <https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Mazda/879/Mazda-RX-8-231.html>) [dostęp: 01.01.2023]

Leszek Chybowski