

Michael
Květoň

AUTOMOBILY a MOTOCYKLY
s motorem

WANKEL





Michael Květoň

AUTOMOBILY a MOTOCYKLY
s motorem

WANKEL

Grada Publishing

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **trestně stíháno**.

Michael Květoň

Automobily a motocykly s motorem Wankel

Vydala Grada Publishing, a.s.
U Průhonu 22, Praha 7
obchod@grada.cz, www.grada.cz
tel.: +420 234 264 401
jako svou 8287. publikaci

Odpovědná redaktorka Věra Slavíková
Grafická úprava a sazba Jakub Náprstek
Počet stran 144
První vydání, Praha 2021
Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a. s.

© Grada Publishing, a.s., 2021
Cover Design © Jakub Náprstek, 2021

*Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami
nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků.*

ISBN 978-80-271-4591-1 (ePub)
ISBN 978-80-271-4590-4 (pdf)
ISBN 978-80-271-3429-8 (print)

Obsah

Úvodem.....	6
1 ŽIVOTOPIS FELIXE WANKELA	7
2 WANKELŮV MOTOR S KROUŽIVÝM PÍSTEM	14
3 WANKELOVA SPOLUPRÁCE S NSU.....	23
4 CITROËN A WANKELŮV MOTOR	38
5 TOYO KOGYO (MAZDA)	43
6 CURTISS-WRIGHT	62
7 OSTATNÍ VÝROBCI AUTOMOBILŮ VE SPOJENÝCH STÁTECH.....	70
8 ROLLS-ROYCE.....	76
9 DAIMLER-BENZ.....	80
10 FICHTEL & SACHS	88
11 MOTOCYKLY S WANKELOVÝM MOTOREM	91
12 WANKELŮV MOTOR VE VÝCHODNÍ EVROPĚ	101
13 DALŠÍ OBLASTI POUŽITÍ WANKELOVA MOTORU A JEHO BUDOUCNOST	113
Přehled automobilů Mazda s Wankelovým motorem	122
Přehled automobilů VAZ (AVTOVAZ) vybavených motorem s rotačním pístem.....	132
Prospekty.....	134
Poskytovatelé licence a její držitelé v roce 1977	143
Zdroje a literatura	144

ÚVODEM

Motor s krouživým pístem konstrukce Felixe Wankela se ve vývojových dílnách společnosti NSU poprvé rozběhl 1. ledna 1957. Na rozdíl od pozdějších motorů však u něho rotoval jak krouživý píst, tak i pracovní komora, které byly společně uloženy v pevné skříni. Během tří let vývoje došlo zejména k jeho zjednodušení, řekněme „kinematickému obrácení“, což znamenalo, že pracovní komora motoru zůstala pevná (byla současně skříní motoru) a otáčel se pouze rotor, excentricky vzhledem k hřídeli.

Dne 19. ledna 1960 byl v Deutsches Museum v Mnichově tento motor představen novinářům a odborné veřejnosti. V témže roce byl motor vestavěn do upraveného vozu NSU Sport Prinz a v roce 1963 představila firma NSU na Mezinárodní automobilové výstavě IAA ve Frankfurtu svůj nový model NSU Spider s Wankelovým motorem, který se začal o rok později sériově vyrábět. Odborný svět byl nadšen, Wankelův motor byl označován za motor budoucnosti a zpočátku tomu vše nasvědčovalo. Do roku 1973 byly prodány téměř tři desítky licencí nejrozličnějším firmám, od automobilek po výrobce sněžných skútrů či průmyslových motorů.

Že se nakonec předvídaný celosvětový úspěch nedostavil, je věc jiná, nicméně Wankelův motor své poslední slovo dosud neřekl.



ŽIVOTOPIS FELIXE WANKELA

1

Felix Wankel se narodil 13. srpna 1902 v Lahru v podhůří pohoří Schwarzwald na západě Bádenska-Württenberska jako jediné dítě lesního adjunkta Rudolfa Wankela a jeho ženy Gerty, rozené Heidlauff. Po svém otci zdědil smysl pro přesnost a metodiku, po matce potom cit pro tvary a tvůrčí povahu. Rodiče záhy objevili nadání svého syna a poskytovali mu technické hračky jako parní strojky, elektromotorky na baterie a podobně. V roce 1903 se rodina přestěhovala do Geisingenu a o šest let později dále do Donauschingenu. Felixovo dětství bylo ovlivněno životem v myslivně a péčí o svěřená zvířata.

Toto bezstarostné období však skončilo v roce 1914, kdy jeho otec padl na bojišti začínající 1. světové války. Rok poté se matka se synem přestěhovali do Heidelbergu, kde začal Felix navštěvovat gymnázium. Později přešel na gymnázium v Donauschingen a ve Weinheimu, které však v septimě, vzhledem k potížím se studiem matematiky a fyziky, v roce 1921 bez maturity opustil.

Po tomto neúspěchu nastoupil do učení jako obchodní příručí v nakladatelství Carl Winter v Heidelbergu. Bylo to pro něho dosti významné období, protože zde měl přístup ke knihám o významných objevitelích a vynálezcích i o technice samé, a doplňoval si tak samostudiem své vzdělání. Dodejme, že byl velice inteligentní, měl mimořádnou prostorovou představivost a zajímala jej technika jako taková, zejména pak spalovací motory.

V roce 1924 si s kamarádem Paulem Kindem zřídili ve skladu jeho otce malou dílnu, kterou nazvali Paki podle počátečních písmen kamarádova jména. Zde společně realizovali své představy a pro jednoho výrobce maziv vyvinuli a vyrobili indikátor průtoku oleje na rotačním principu. Postavili také aerodynamicky koncipovanou tříkolku poháněnou dvouválcovým V-motorem, kterou nazvali „Teufelskäfer“ (Čertův brouk).

Značné vibrace použitého motoru však Wankela velice rozčilovaly. Na základě těchto dvou zkušeností začal již tehdy přemýšlet o spalovacím motoru, který by měl pouze rotační součásti. Tak začalo jeho systematické hledání vhodného provedení takového motoru.

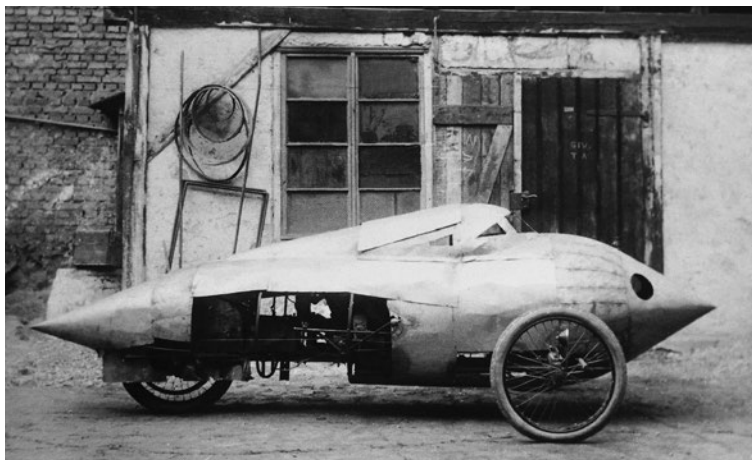
Automobily a motocykly s motorem Wankel



Malý Felix Wankel se svými rodiči před hájovnou v Geisingenu



Felix Wankel jako gymnazista v Heidelbergu



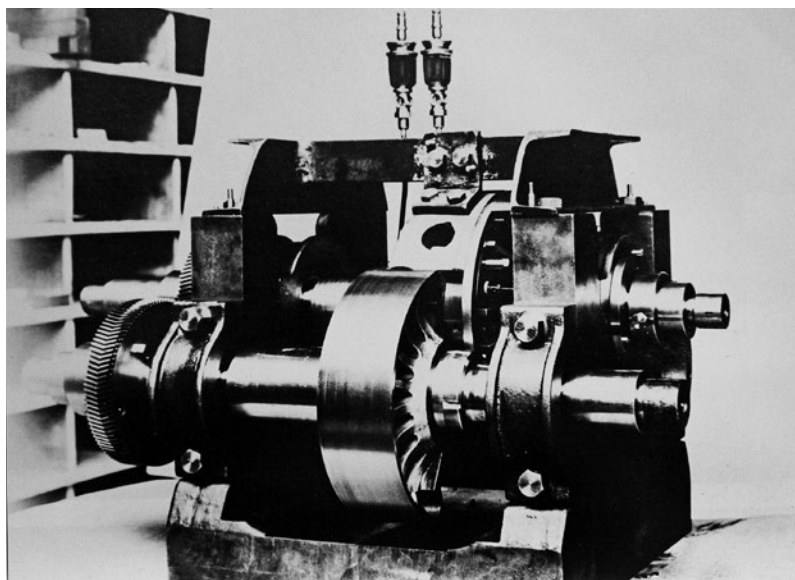
Tříkolka „Teufelskäfer“

Životopis Felixe Wankela

Zjistil přitom, že nahrazením vratného pohybu pístového stroje rotačním pohybem se již v minulosti zabývala celá řada vynálezců (mezi jinými i James Watt). A během výzkumů se vynořovaly další a další problémy, jako jsou utěsnění jednotlivých součástí a distribuce maziva při vysokých teplotách a otáčkách, které se snažil řešit.

V roce 1926 byl kvůli hospodářským problémům z nakladatelské firmy propuštěn. V téže době poznává inženýra Ernsta Wolfa, tehdy těž nezaměstnaného, který mu v následujících deseti letech pomáhá řešit některé strojařské problémy, zejména otázky utěsnění rotačních součástí, a kromě toho jej učí, jak své technické představy znázornit na přesných strojařských výkresech. Wankel se rovněž intenzívně věnuje pokusům s rotačními šoupátky, nahrazujícími klasický ventilový rozvod spalovacích motorů. Když museli s kolegou Kindem z finančních důvodů svou dílnu v Heidelbergu opustit, přestěhoval se Wankel do domu své matky v Lahru, kde si zřídil dílnu, v níž se snažil uskutečnit své teoretické představy. Zde také v roce 1932 realizoval svůj první motor s rotačním pístem DKM32, který si v roce 1933 nechal patentovat. Motor, který však měl zcela jiné uspořádání než dnešní Wankelův motor, se dokonce jedenkrát krátce rozběhl. Osvědčil se však více jako kompresor, který poskytoval tlak 5 barů při 1000 ot/min a jeho hlavním přínosem bylo úspěšné vyřešení prostorového utěsnění rotačních dílů.

Díky svým aktivitám také poznává materiálového specialistu firmy BMW Leopolda Plai-chingera a továrníka Wilhelma Kepplera. Oba muži měli vysoké postavení v NSDAP a v pozdějších letech se stali velkými Wankelovými příznivci a přímluvci.



První Wankelův motor s rotačním pístem DKM32

Automobily a motocykly s motorem Wankel

Zde je třeba se zmínit o poněkud temnější stránce Wankelova života. V roce 1926 vstoupil do NSDAP a zpočátku se věnoval vedení mládeže v různých polovojských sdruženích. V pozdějších letech mu stranická legitimace v leččems pomohla. Wankel se však dostal do ostrého sporu s jedním vysokým partajním činovníkem, jehož nařkl z korupce. To jej v roce 1933 přivedlo do vězení, odkud mu po půl roce pomohli právě Plaichinger a Keppler. Ze strany však byl vyloučen, naštěstí bez dalších fatálních následků. V roce 1937 se snažil znovu vstoupit do NSDAP, byl ale odmítnut. O tři roky později jej Keppler doporučil do SS, kam byl přijat s hodností Obersturmbannführera. Po dvou letech však byl z neznámých důvodů z řad SS vyloučen.

V roce 1934 podepsal smlouvu s firmou BMW na vývoj šoupátkového čtyřválce pro osobní vozidla. Motor však nebyl příliš spolehlivý a jeho vývoj nepokračoval. O dva roky později se velmi úspěšně vypořádal s problémy leteckého hvězdicového pětiválce Siemens. Wolf-Dieter Bensinger, pozdější šéfkonstruktor motorů firmy Mercedes Benz, o tom napsal velice příznivé hlášení vyšším instancím, které se dostalo až k Hermannu Göringovi. Ten doporučil, aby se Felixi Wankelovi dostalo maximální možné podpory. Od roku 1936 Wan-



Člun „Zisch“ s podvodními nosnými plochami

kel spolupracoval s Říšským ministerstvem letectví (Reichsluftfahrtministerium) a od této chvíle se mohl naplno věnovat výzkumné práci ve své vývojové dílně (Wankel Versuchs Werkstatt – WVW) v Lindau u Bodamského jezera, financované říšskou vládou. Zde se až do konce války věnoval především problematice rotačních šoupátek a obecně utěšňování rotačních dílů pro nejrůznější firmy. Jeho další zájmovou oblastí byly lodě.

V letech 1937–1941 se vývojové dílny WVW ustavičně rozšiřují a Wankel se zde věnuje celé řadě projektů v oblasti rotačních a válcových šoupátek, kompresorů a utěšňování rotačních součástí. Na základě úspěšného řešení těchto problémů u motorů Junkers, BMW a Daimler je tu v roce 1942 založeno výzkumné a vývojové středisko víceválcových leteckých motorů.

Ve své dílně WVW se Wankel věnoval také vývoji rychlých člunů se speciálními nosnými plochami pod hladinou. Při určité rychlosti se trup člunu vynořil z vody a loď klouzala pouze po nosných plochách. Tyto čluny, které Wankel nazýval „Zisch“, začaly velice zajímat jak Reichsluftfahrtministerium, tak Wehrmacht i námořnictvo. Předpokládalo se jejich použití jako rychlých prostředků pro záchranu sestřelených pilotů, ale také jako nosičů torpéd či speciálních náloží.

Následující léta byla pro Wankela mimořádně plodným obdobím. Spolupracoval s celou řadou německých vědeckých a výzkumných pracovišť a v roce 1944 byli před uzavřením opční smlouvy s firmami Auto-Union, Hanomag, NSU, Börsig a Daimler Benz.

Konec 2. světové války však znamenal také rázný konec pro WVW. Francouzská okupační armáda zařízení výzkumného pracoviště demontovala a Wankel byl na krátkou dobu zatčen. Po propuštění mu byla dočasně zakázána výzkumná práce.

Po krušných poválečných letech se Wankel v roce 1949 nastěhoval do svého vlastního domu v Lindau a začíná si zde budovat malou dílnu. V roce 1951 mu jeho starý příznivec W. Keppler zprostředkoval kontakt s firmou Opel a později MAN. Výsledky jednání však byly negativní. Štěstí se na něho usmálo až díky firmě Goetze AG v Buscheidu, se kterou spolupracoval od roku 1938. Firma s ním uzavřela poradenskou smlouvu a přenechala mu nějaké obráběcí stroje do jeho nově založeného technického vývojového střediska. V témže roce navazuje Wankel první kontakty s firmou NSU ohledně vývoje rotačního kompresoru.

Díky penězům, které mu plynuly z poradenství, se Wankel mohl opět plně věnovat svým studiím z předchozích let. Podařilo se mu rovněž získat ke spolupráci svého někdejšího šéfkonstruktéra Ernsta Höppnera, který s ním pracoval až do své smrti v roce 1966.

Tento geniální konstruktér byl pro Wankela nejvýznamnějším spolupracovníkem, o němž prohlásil, že bez něho by byl jako jednoruký. O Vánocích 1953 se Wankelovi podařilo vyřešit kinematický problém studie motoru DKM53, což byl rozhodující krok k prvnímu použitelnému motoru s rotačním pístem. Po mnoha úvahách o převodových poměrech a tvarech pracovní komory a rotačního pístu dospěl 13. dubna 1954 k finálnímu řešení. Toto datum je obecně označováno jako den, kdy byl vynalezen Wankelův motor. V témže roce začala spolupráce Felixe Wankela s firmou NSU, které se však budeme věnovat v samostatné kapitole.

Automobily a motocykly s motorem Wankel

Z příjmů z prvních prodaných licencí mohl Wankel začít v roce 1960 realizovat své představy o ideálním výzkumném a vývojovém středisku, budoucím TES (Technische Entwicklungsstelle). Pečlivě kontroloval a konzultoval všechny detaily budoucí stavby a zkoušel je na modelech. Jednalo se o dvoupodlažní budovu s prosklenými stěnami a dokonalým přímým osvětlením všech pracovišť. Začátkem roku 1962 bylo středisko oficiálně otevřeno a stalo se součástí společnosti Fraunhofer Gesellschaft (Fraunhoferova společnost pro rozvoj aplikovaného výzkumu). Dnes je tento objekt vlastnictvím společnosti VW AG a je památkově chráněný.



Výzkumné a vývojové středisko TES

Ve druhé polovině 60. let Wankelův podíl na vývoji jeho motoru ve společnosti NSU slábnul, částečně i kvůli často dosti problematické spolupráci s neústupným Wankelem. Ten je v té době již v důchodovém věku, nicméně s neochabujícím elánem se věnuje další práci. V roce 1963 vydává knihu Einteilung der Rotations-Kolbenmaschinen (Rozdělení strojů s rotujícími písty) a vrací se k práci na člunech s vodními nosnými plochami.

V následujících letech se věnuje zejména vývoji různých typů rotačních kompresorů a spolupracuje s různými firmami, například Daimler-Benz nebo Ogura.

ŽIVOTOPISNÝ ZÁVĚR

Felix Wankel se v roce 1936 oženil s Emmou Kirn, avšak jejich manželství zůstalo bezdětné.

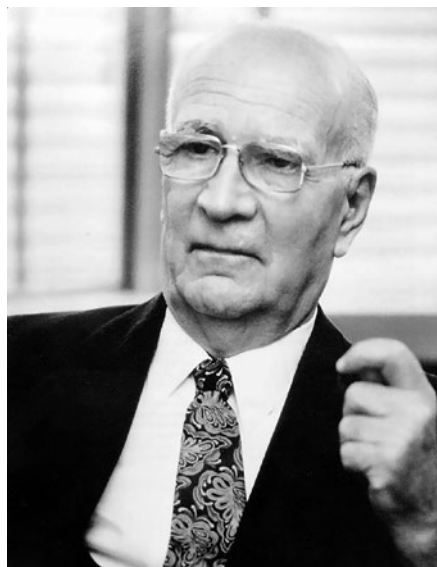
V roce 1969 mu mnichovská Technická univerzita udělila titul Dr. Ing. Honoris Causa.

Felix Wankel byl velkým milovníkem zvířat a v roce 1970 založil nadaci „Felix Wankel Stiftung“ pro podporu úsilí o ochranu přírody a zejména zvířat.

Založil rovněž fond pro výzkum rakoviny, na niž v roce 1975 zemřela jeho žena Emma.

Jako zajímavost uvedme, že F. Wankel nikdy nevlastnil řidičský průkaz. Měl sice svůj vlastní vůz NSU Ro 80, v něm se však nechával vozit.

V roce 1984 byla Felixi Wankelovi diagnostikována rakovina prostaty. Podstoupil sice úspěšnou operaci, nastala však recidiva a Felix Wankel dne 9. října 1988 ve věku 86 let umírá. Je i se svou manželkou Emmou pochován v Heidelbergu.



Felix Wankel na sklonku života, nedlouho před smrtí



Hrob manželů Wankelových v Heidelbergu

2

WANKELŮV MOTOR S KROUŽIVÝM PÍSTEM

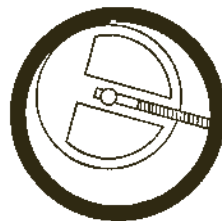
Felix Wankel jako první přivedl na svět prakticky použitelný motor s rotačním pístem. Nicméně vynálezci, kteří usilovali o nahrazení vratného pohybu pístového stroje rotačním pohybem, byla v minulosti celá řada.

Malou exkurzi do minulosti přináší následující přehled.

1588

Ramelliho rotační vodní čerpadlo

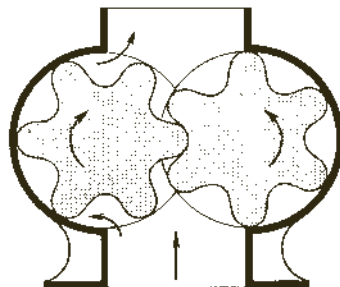
Ital Agostino Ramelli vytvořil v roce 1588 vodní čerpadlo s excentrickým rotorem, do něhož se radiálně zasouvalo těsnění.



1636

Pappenheimovo zubové čerpadlo

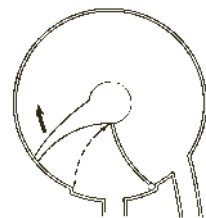
Němec Gottfried Heinrich von Pappenheim vynalezl v roce 1636 zubové čerpadlo, jaké se dodnes používá například jako olejové čerpadlo ve spalovacích motorech.



1759

Rotační parní stroj J. Watta

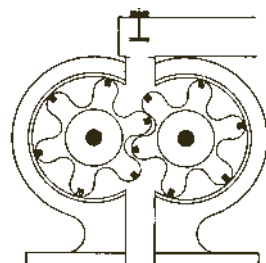
Skot James Watt je autorem celé řady vynálezů z oblasti parních strojů, včetně prvního, komerčně využitelného vahadlového parního stroje. V roce 1759 vynalezl první parní stroj, který přímo převáděl tlak páry na rotační pohyb. Jeho pokusy však ztroskotaly kvůli problémům s utěsněním.



1799

Rotační parní stroj W. Murdocka

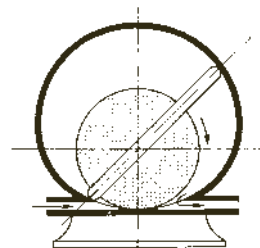
William Murdock, rovněž Skot a současník Jamese Watta, vytvořil v roce 1799 úspěšně fungující rotační parní stroj. Dřevěná těsnění rotujících částí však měla velmi malou životnost a nedokonale těsnila.



1860

Rotační kompresor F. Franchota

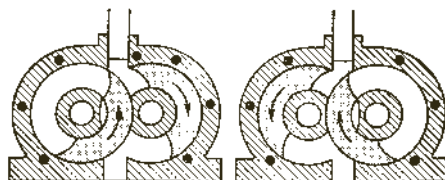
Francouz Charles Louis Félix Franchot vyrobil v roce 1860 rotační kompresor. Pro tvar jeho pracovní komory byla poprvé použita peritrochoida.



1867

Rotační parní stroj J. Behrense

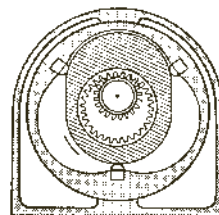
Američan Henry J. Behrens vytvořil v roce 1867 rotační parní stroj, v jehož pracovní komoře se proti sobě otáčely dva válcové rotory s vybránými tvaru „C“, přičemž oba rotory těsnily s pracovní komorou po celé ploše. Stroj však pro svou funkci vyžadoval vysoký tlak páry, jaký byl v tehdejších kotlích nedosažitelný.



1901

Rotační parní stroj J. F. Cooleye

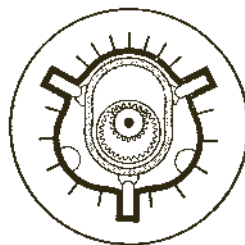
V roce 1901 vytvořil Američan John F. Cooley rotační parní stroj, u něhož rotoval stejným směrem vnější i vnitřní rotor. Vnitřní rotor měl tvar epitrochoidy, vnější pak měl tvar jeho obálky. Problémem opět bylo vzájemné utěsnění obou rotorů.



1908

Rotační motor F. Umplebyho

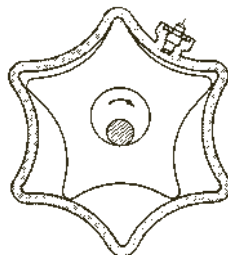
Angličan F. Umpleby se v roce 1908 pokusil upravit Cooleyho systém na spalovací motor. Bližší podrobnosti však nejsou známé.



1923

Rotační motor Wallindera a Skooga

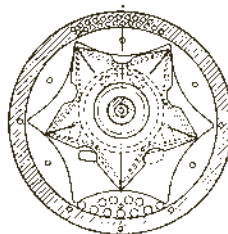
V roce 1923 oznámili Švédové Wallinder a Skoog společný výzkum rotačního motoru s pětihranným rotorem. Ztroskotali však rovněž na problémech s utěsněním.



1938

Návrh rotačního motoru Sensauda de Lavauda

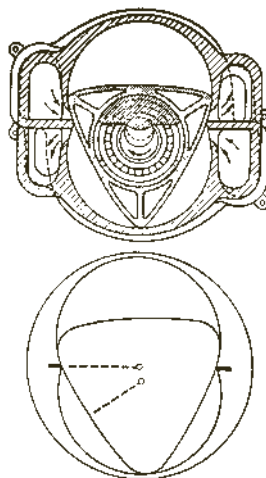
V roce 1938 Francouz Sensaud de Lavaud teoreticky zpracoval návrh rotačního motoru, který však kvůli řadě problémů nebyl schopen praktické funkce.



1943

Rotační kompresor B. Maillarda

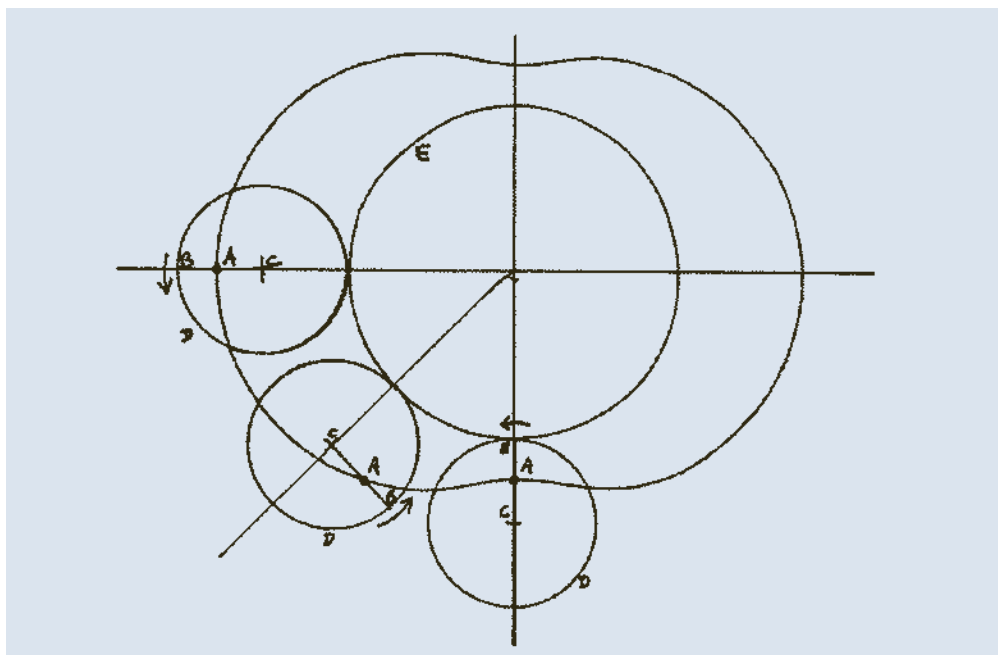
V roce 1943 navrhl Švýcar Bernard Maillard na základě teoretických úvah kompresor, jehož rotor měl tvar hypotrochoidy, přičemž jeho obálka tvořila vnitřní povrch pracovní komory. Jeho další teoretické výzkumy významně přispěly ke geometrické analýze rotačního motoru.



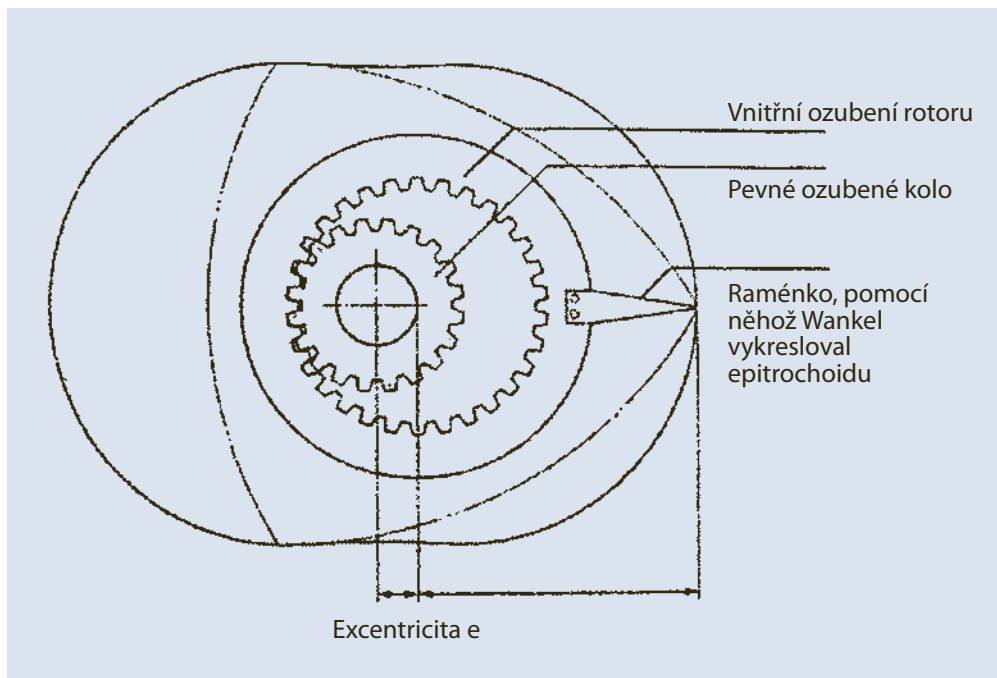
TROCHA TEORIE

Unikátní tvar pracovního prostoru Wankelova kompresoru a později i motoru tvoří křivky opisované bodem na obvodu kružnice, která se odvaluje po vnějším obvodu druhé kružnice. Jestliže se pohyblivá (generující) kružnice odvaluje po vnějším obvodu stacionární (základní) kružnice, vytvořená křivka se obecně nazývá epicykloida. Pokud se generující kružnice pohybuje po vnitřním obvodu základní kružnice, vznikne křivka obecně nazývaná hypocykloida.

Základní tvar pracovního prostoru Wankelova motoru je definován generující kružnicí, jejíž poloměr je polovinou poloměru základní kružnice. Bod vykreslující křivku musí být v poloviční vzdálenosti od středu generující kružnice k obvodu. Výsledným tvarem je tzv. epitrochoida se dvěma laloky, což je tvar pracovního prostoru Wankelova motoru. Rotor, který má tvar sférického trojúhelníku se zaoblenými rohy, je tvořen křivkou (trochoidou), která je tzv. vnitřní obálkou pracovního prostoru motoru a jeho vrcholy jsou v trvalém kontaktu s povrchem pracovního prostoru. Felix Wankel si pro vytvoření požadovaného tvaru zhotovil pomůcku ze dvou ozubených kol, jednoho s vnitřním a jednoho s vnějším ozubením a s převodovým poměrem dvě ku třem. Vnější ozubené kolo opatřil lamelou pro upevnění tužky, která vykreslila požadovaný tvar.



Grafické znázornění vzniku epitrochoidy odvalováním



Kinematika Wankelova motoru

Zde musíme dodat, že F. Wankel nedokázal pracovat s matematickým aparátem, který by mu práci zjednodušil. Z dnešního pohledu byl zřejmě postižen poruchou učení, které se říká dyskalkulie a která popisuje neschopnost pracovat s matematickými symboly. Wankel sám o sobě prohlašoval, že za celý život zvládl pouze čtyři základní početní operace. Byl to až profesor Othmar Baier ze Stuttgartu, který zpracoval teoretické základy konstrukce Wankelova motoru, což byl významný přínos pro budoucí vývoj (napsal 22 publikací k této tematice a přihlásil 3 patenty).

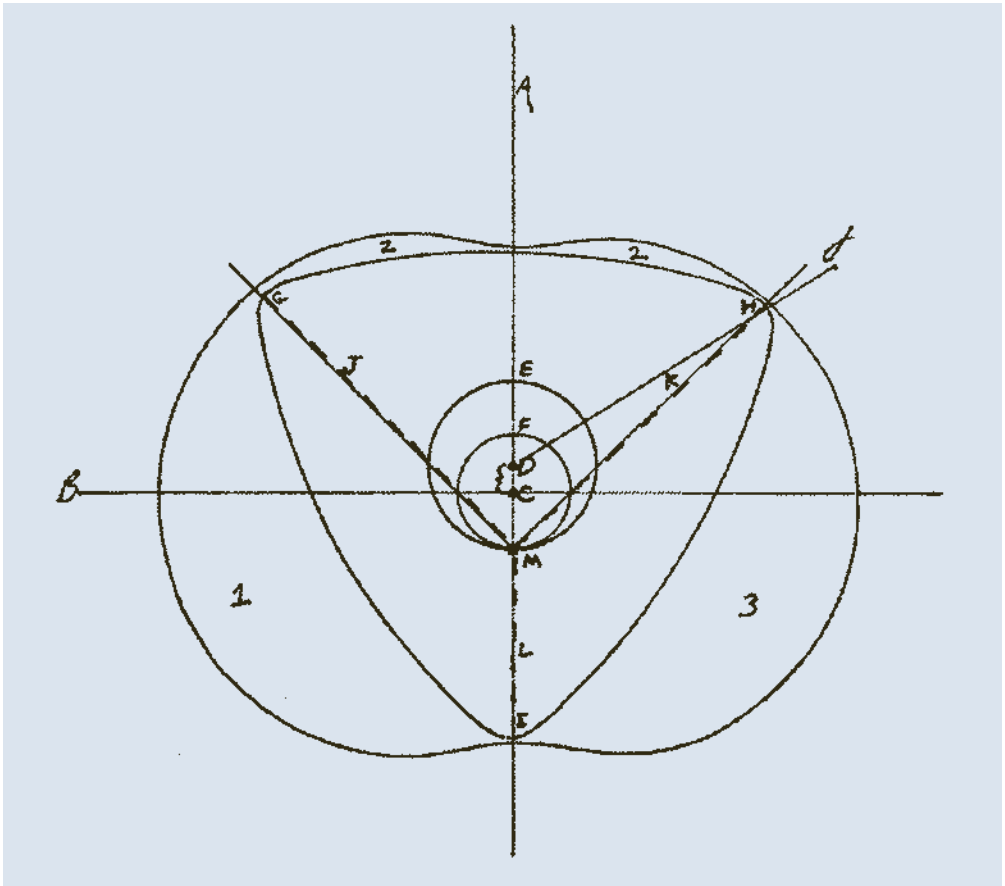
Avšak zpět k teorii. Přímce vedené napříč nejužším místem pracovního prostoru říkáme vedlejší osa, zatímco přímka napříč nejširším místem se nazývá hlavní osa. Tyto hodnoty se často používají pro charakterizování určité konstrukce motoru. Dalšími termíny, které se vyskytují v souvislosti s Wankelovým motorem, je vrchol rotoru (místo, kde je rotor v trvalém kontaktu s povrchem pracovního prostoru), normála rotoru (kolmice k tečně pracovního prostoru, kde se ho dotýká vrchol rotoru), střed rotoru (průsečík ekvidistantních čar vedených z vrcholů rotoru), excentricita (vzdálenost mezi středem rotoru a středem hlavní hřídele) a koeficient K (poměr poloměru rotoru k excentricitě).

Zvolíme-li generující kružnici, jejíž poloměr je třetinou základní kružnice, bude mít výsledná epitrochoida tři laloky místo dvou a rotor pak bude mít čtyři vrcholy. Zmenšováním poloměru generující kružnice násobky základní kružnice počet laloků epitrochoidy

Wankelův motor s krouživým pístem

poroste; v pracovním prostoru se čtyřmi laloky se bude pohybovat rotor s pěti vrcholy atd. Možnosti různých tvarů jsou prakticky neomezené, avšak Wankel se soustředil především na charakteristiky kompresního potenciálu a úhel sklonu vrcholových těsnění.

Konstrukční úvahy o kompresním poměru a úhlu sklonu těsnění jsou dány v první řadě koeficientem K , což je poměr poloměru rotoru k excentricitě motoru. Jestliže konstruktér definuje koeficient K , jsou změny komprese omezeny rozměry motoru. Po mnoha pokusech s různými velikostmi koeficientu K a s různými tvary pracovního prostoru a rotoru se ustálilo řešení s trochoidním rotorem v epitrochoidním pracovním prostoru se dvěma laloky. Wankelův kompresor tohoto řešení měl potenciál pro přepracování na spalovací motor.



Geometrická terminologie Wankelova motoru

A = vedlejší osa; B = hlavní osa; 1,2,3 = pracovní komory; C = střed hlavní hřídele; D = střed excentru; E, F = fázovací ozubená kola; G, H, I = vrcholy rotoru; J, K, L = normály rotoru; M = průsečík normál rotoru a současně bod dotyku fázovacích ozubených kol; γ = úhel sklonu vrcholových těsnění; $C-d$ = excentricita motoru; Poloměr rotoru/excentricita = K faktor