



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NEÚSPĚŠNÉ KONCEPCE SPALOVACÍCH MOTORŮ

UNSUCCESSFUL CONCEPTIONS OF COMBUSTION ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JIŘÍ MARTINEC

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUBOR ZHÁŇAL

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Martinec

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Neúspěšné koncepce spalovacích motorů

v anglickém jazyce:

Unsuccessful conceptions of combustion engines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní bakalářské práce je vypracování přehledu neúspěšných konstrukčních variant spalovacích motorů, uvedení případných výhod a nevýhod dané koncepce, či zdůvodnění, proč ve své době neuspěl.

Cíle bakalářské práce:

- vypracování historického přehledu alternativních koncepcí spalovacích motorů
- objasnění principů jednotlivých konstrukcí a pravděpodobné zdůvodnění jejich neúspěšnosti

Seznam odborné literatury:

- KOŽOUŠEK, J. Výpočet a konstrukce spalovacích motorů I. SNTL Praha, 1978.
- RAUSCHER, K. Spalovací motory. VUT Brno, 1996 (elektronický text).
- KOŠŤÁL, J. - SUK, B. Pístové spalovací motory. SNTL Praha, 1973.
- KOVAŘÍK, L. Motory Wankelovy a jim příbuzné. SNTL Praha, 1970.
- VLK, F. Vozidlové spalovací motory. Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2001, Brno.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lubor Zháňal

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 16.11.2009

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na studium neúspěšných koncepcí spalovacích motorů. Udává stručný přehled slepých cest ve vývoji spalovacích motorů, třídí je dle použitých konstrukčních řešení, zároveň vyjmenovává možné příčiny jejich neúspěchu. Objasňuje princip činnosti jednotlivých koncepcí a shrnuje případné klady a zápory uvedené konstrukce.

ABSTRACT

The main aim of the bachelor thesis was to study unsuccessful conceptions of combustion engines. It determines a brief summary of abortive directions in development of combustion engines, classifying them by structural design, as well specifying reasons of failure. It clarifies working principles and summarize possible pros and cons of each conception.

Klíčová slova:

Spalovací motor, neúspěšné koncepce

Key words:

Combustion engine, unsuccessful conceptions

MARTINEC, J. *Neúspěšné koncepce spalovacích motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 31 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lubor Zháňal.

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně na základě uvedené odborné literatury.

V Brně dne 28.5.2010

.....

Jiří Martinec

PODĚKOVÁNÍ:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Luboru Zháňalovi za cenné rady a poskytnutou pomoc při zpracování bakalářské práce.

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	TEORETICKÁ ČÁST.....	9
2.1	Motory s rotačními písty	9
2.1.1	Wankelův motor	10
2.1.2	Kauertzův motor	14
2.1.3	Virmelův motor	15
2.1.4	Kvaziturbína	16
2.1.5	Další varianty rotačních motorů	21
2.2	Vačkové motory.....	22
2.3	Motory s rotujícími ventily	24
2.4	Axiální motory	25
3	ZÁVĚR.....	28
4	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	29

1 ÚVOD

Spalovací motor je mechanický stroj, který procesem spalování paliva přeměňuje chemickou energii paliva na energii mechanickou a tepelnou. Motor tak koná mechanickou práci a slouží k pohonu jiných strojních zařízení.

První spalovací motory byly vynalezeny již na přelomu 18. a 19. století. V té době používané parní motory dosáhly absolutního technického vrcholu a téměř nebyl prostor pro jejich zlepšení. Ovšem nevýhodou parního motoru byla nízká termická účinnost, a tak bylo potřeba hledat efektivnější varianty pohonu. Pravděpodobně vůbec nejstarší spalovací motor postavil v roce 1807 Francois Isaac de Rivaz, který jako palivo použil směs vodíku a kyslíku. V nastoleném trendu pokračoval Jean Joseph Étienne Lenoir a o 50 let později představil motor poháněný svítiplynem.

K významnému rozmachu spalovacích motorů došlo na konci 19. století, tedy v době, kdy se rozvíjela těžba ropy a s tím související petrochemický průmysl. Kapalná paliva umožnila miniaturizaci spalovacích motorů, což otevřelo nové možnosti v silniční, železniční a vodní dopravě. Motorizace silniční dopravy dovolila snazší přepravu osob a nákladu i do méně přístupných míst. S rozvojem infrastruktury se cestování stalo více komfortní a ušetřilo spoustu drahocenného času. Není proto divu, že mnoho vynálezců navrhovalo rozmanité způsoby, jak nejefektivněji zužítovat chemickou energii paliva. Některé bizarní koncepce spalovacích motorů budou popsány v následujícím textu.

2 TEORETICKÁ ČÁST

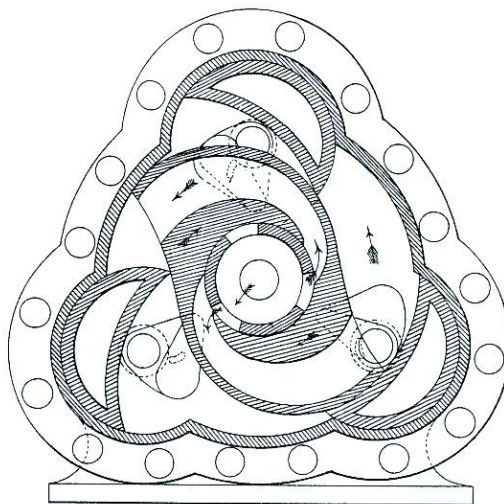
Drtivá většina uvedených koncepcí pracuje na bázi čtyřdobého (Ottova) spalovacího cyklu. Tuto metodu spalování paliva vynalezl německý konstruktér Nikolaus August Otto v šedesátých letech 19. století. Otto vycházel z poznatků Jeana Lenoira. Výsledky experimentů s Lenoirovým motorem ho přivedly k objevu účinnějšího způsobu přeměny energie. Zjistil, že je nutné směs paliva a vzduchu ve válci postupně stlačovat a v okamžiku nejvyššího tlaku zažehnout. Ottův čtyřdobý spalovací cyklus se stal základním principem činnosti většiny spalovacích motorů poháněných kapalnými palivy.

Za více jak stopadesátiletou dobu existence spalovacích motorů bylo vynalezeno nepřeberné množství netradičních koncepcí. Některé zůstaly ve fázi návrhu a nikdy nebyly vyrobeny, jiné pokročily až do stadia prototypu, ovšem jejich nedokonalost je odsoudila k zapomnění. Pro snadnější orientaci jsou uvedené koncepce rozděleny do čtyř skupin podle konstrukčního řešení.

2.1 Motory s rotačními písty

Konceptů s rotačními písty vznikla celá řada, především počátkem druhé poloviny 20. století zaznamenaly rotační motory ohromný rozmach. Většina rotačních motorů se vyznačovala menším počtem částí, byly kompaktnější a lehčí, přitom výkonově srovnatelné s konvenčními pístovými motory. Tehdejší odborná veřejnost jim předpovídala slibnou budoucnost. Postupně se ale ukázalo, že převést myšlenku do praxe není nic snadného. Vynálezci oné doby se potýkali s nedostatečným utěsněním spalovacích komor.

Nejstarší dosud doložený zástupce spalovacích rotačních motorů pochází již z roku 1853, kdy byl patentován Webbův motor (Obr. 1). Není ovšem známo, zdali vůbec byl sestrojen funkční prototyp. Bezpochyby nejvýznamnějším reprezentantem skupiny rotačních motorů je Wankelův motor. Jako jediný ze všech uvedených příkladů je dlouhodobě v sériové výrobě. Proto si zaslouží detailnější popis.



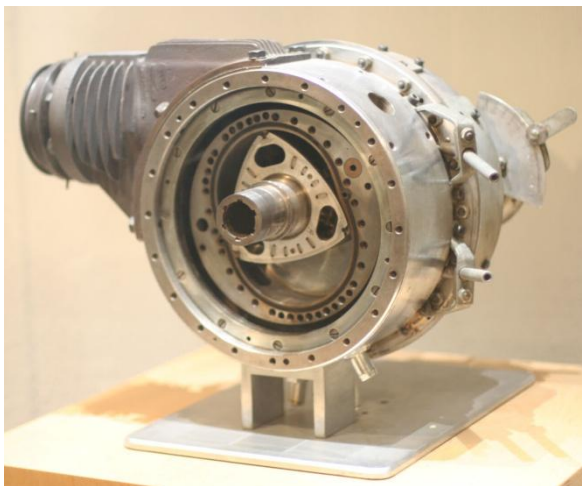
Obr. 1 Koncept Webbova motoru [3]

2.1.1 Wankelův motor

Wankelův motor nedávno oslavil padesát let své existence. Možná i díky své specifické konstrukci nikdy nenašel širší oblibu u výrobců automobilů, přesto stále neupadl v zapomnění a i dnes se setkáváme s vozy, které tuto jednotku využívají. Wankelův motor pracuje s Ottovým cyklem.

- **Historie**

Felix Wankel se nechal inspirovat parními motory s rotačním pístem. Rotační parní motory trpěly nízkou účinností plynoucí z nedokonalého utěsnění rotoru vůči statoru. Nicméně Wankel v této koncepci viděl ohromný potenciál. Myšlenka rotačního spalovacího motoru velmi zaujala automobilku NSU, která Wankelův vývoj následně podporovala. V roce 1957 Felix Wankel prezentoval první prototyp. Ovšem motor s názvem Drehkolbenmotor (DKM 54, Obr. 2) úspěch nepřinesl. Příčinou byla příliš složitá konstrukce, kdy rotaci prováděl jak píst, tak blok motoru. Motor sice dosahoval neuvěřitelného počtu až 17 000 otáček za minutu, jenže stávající konstrukce znesnadňovala servisní operace. Proto Felix Wankel pouhý rok poté přišel s druhou evolucí svého výrobku, s motorem Kreiskolbenmotor (KKM). Píst zde rotoval na excentrické hřídeli, zatímco blok zůstal ve stacionární poloze. Tato podoba Wankelova motoru se uchytila a s drobnými úpravami se vyrábí i v dnešní době.



Obr. 2 První generace Wankelova motoru (DKM 54) [7]

Za další mezník lze považovat rok 1963, kdy byl na autosalonu ve Frankfurtu vůbec poprvé představen automobil s rotačním motorem – NSU Spider. Jednalo se o jednorotorový motor, který dodával výkon 37 kW a umožňoval dosáhnout maximální rychlosti 150 km/h. V roce 1967 spatřil světlo světa vůz NSU Ro 80, což bylo první vozidlo projektované výhradně pro zástavbu Wankelova motoru. Pod kapotou se ukrýval dvourotorový agregát s výkonem 85 kW (115 koní). NSU Ro 80 byl na svou dobu velmi moderní automobil, i proto si vysloužil titul Auto roku 1968. NSU spolupracovalo ve vývoji Wankelova motoru s automobilkou Citroen, která postavila dva modely s „Wankelem“. Nicméně s příchodem prvních technických závad Francouzi od dalšího vývoje upustili. Nedokonalosti konstrukce postupně způsobily krach i samotné automobilky NSU a model Ro 80 byl stažen z výroby.

Již v roce 1961 získala licenci k výrobě motoru Mazda, která Wankelovu motoru zůstala věrna až do dnešních dnů. První model Mazdy s Wankelovým motorem byl představen v roce 1968, jednalo se o vůz Mazda Cosmo. Mazda montovala rotační motor především do sportovně zaměřených aut. V osmdesátých letech to byla Mazda RX-7, se kterou Japonci neúspěšně válčili v mistrovství světa v automobilových soutěžích. Největšího úspěchu v motorsportu se Mazda s Wankelovým motorem dočkala v roce 1991, kdy se speciálem 787B (Obr. 3) triumfovala v závodě 24 hodin Le Mans. V současné době Wankelův motor na trhu reprezentuje model RX-8 a dá se předpokládat, že „Wankel“ se objeví i v další generaci sportovního vozu.



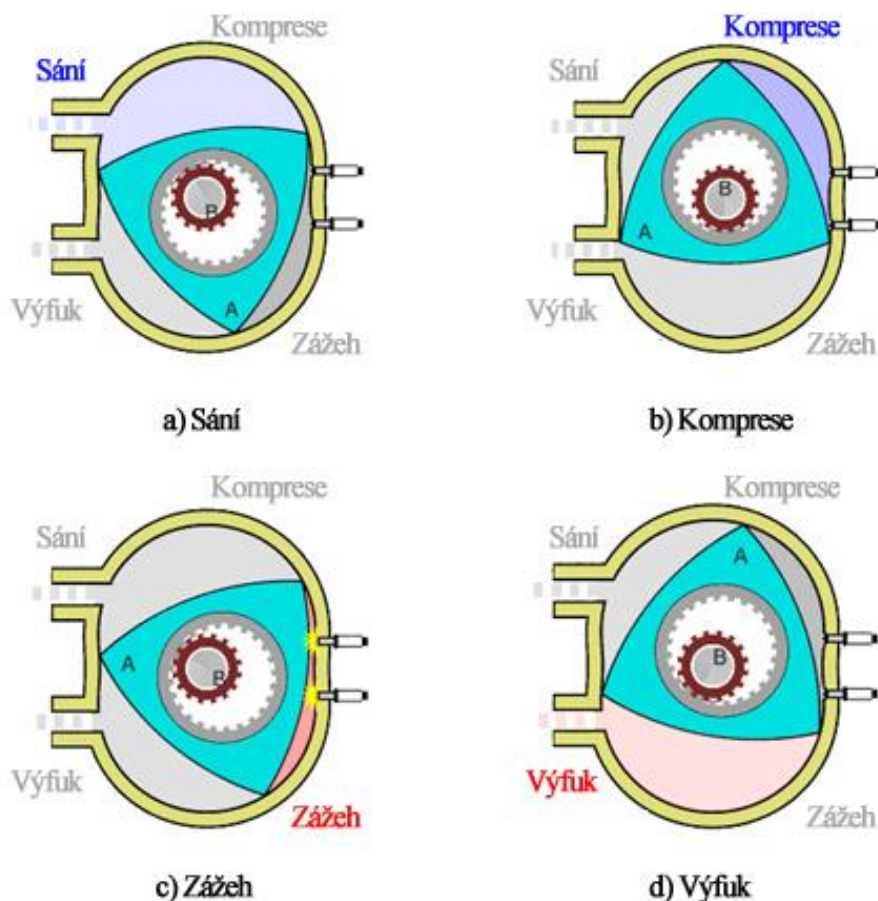
Obr. 3 Wankelův motor v motorsportu, Mazda RX-7 (vlevo), Mazda 787B (vpravo) [7]

Myšlenku rotačního motoru se snažila rozvíjet i automobilka Lada. Rusové vyvinuli jednorotorovou, dvurotorovou dokonce i třírotorovou verzi, všechny byly postupně implementovány do vozů ruské státní policie a KGB. Lada se vývoji věnuje dodnes, s uplatněním v leteckém průmyslu. Zajímavostí je fakt, že licenci k výrobě „Wankelu“ zakoupil i Rolls-Royce, který se zabýval návrhem dieslové varianty Wankelova motoru. Poslední vývojová verze disponovala výkonem 257 kW (350 koní). S „Wankelem“ koketoval také Mercedes, když jej zabudoval do konceptu C111. Čerstvou novinku na autosalonu v Ženevě představila automobilka Audi. Studii modelu A1 vybavila malým Wankelovým motorem, který ovšem v tomto případě slouží pouze jako podpůrná jednotka elektromotoru. Spalovací motor o objemu 254 kubických centimetrů a výkonu 15 kW je schopen dobíjet akumulátory na vzdálenost 200 km. Aplikace Wankelova motoru není omezena pouze automobilovým průmyslem. Díky své jednoduché konstrukci, nízké váze a malému zástavbovému prostoru se montoval i do motocyklů nebo menších letadel. Jistě zajímavou věcí je vývoj miniaturního Wankelova motoru o rozměrech několika málo milimetrů pro potřeby zbrojního průmyslu. Takový motor by sloužil jako generátor elektrické energie.

- **Konstrukce**

Wankelův motor ve srovnání s běžným pístovým motorem postrádá klikový mechanismus pro převod posuvného pohybu na rotační. Ústředními prvky jsou spalovací komora a rotující píst. Spalovací komora má specifický epitrochoidní tvar, píst je ve tvaru konvexního trojúhelníku. Tvarování obou těchto částí zaručuje, že vrcholy pístu jsou v neustálém kontaktu se stěnou spalovací komory. Vznikají tak tři izolované oblasti, které postupně mění svůj objem. Díky tomu lze provádět všechny čtyři cykly, tedy sání, kompresi, expanzi a výfuk během jedné otáčky rotoru, tak jak je to znázorněno na Obr. 4. Rotační pohyb rotoru

zabezpečuje dvojice ozubených kol. Větší s vnitřním ozubením se nachází uvnitř rotoru a krouží okolo nehybného pastorku, pevně spojeného s boční částí skříně. Rotor je nasazen na výstupní hřídeli s excentrem vychýleným od osy hřídele. Tlakové síly působí pomocí rotoru na rameno excentru a vytváří krouticí moment. Poměr otáček výstupní hřídele a rotoru je 3:1, tedy během jedné otáčky rotoru se hřídel otočí třikrát, neboli během otáčky rotoru dojde v každé ze tří izolovaných oblastí k zážehu palivové směsi.



Obr. 4 Fáze spalovacího cyklu Wankelova motoru, písmeno A označuje jeden ze tří vrcholů rotoru, písmeno B značí hřídel s excentrem [7]

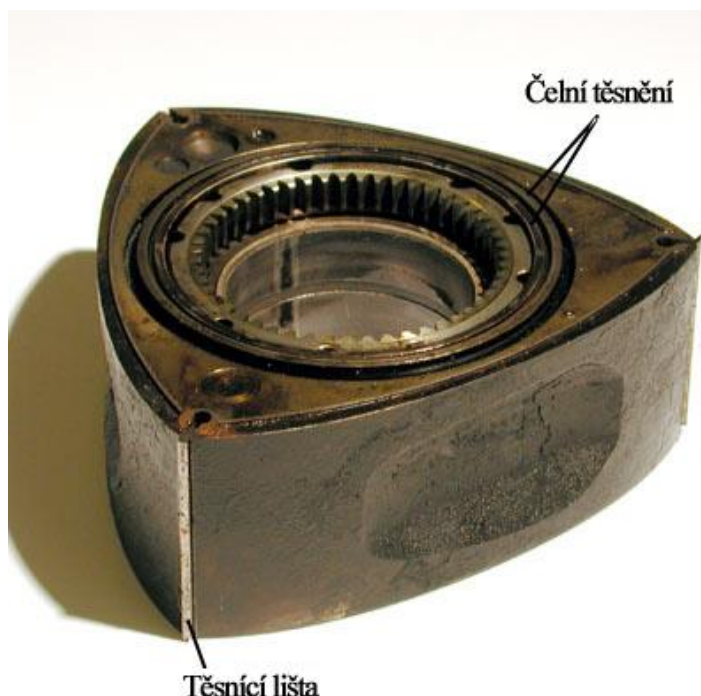
• Výhody

Nespornou výhodou Wankelova motoru je jeho jednoduchá konstrukce. Motor se skládá z mnohem méně součástí v porovnání s pístovým motorem. S menším počtem součástí se snižuje pravděpodobnost poruchy a nároky na údržbu. Je také kompaktnější – zabírá menší zastavěný prostor. S tím souvisí i váha, která je nižší než u srovnatelného klasického pístového motoru. Dalším pozitivem je velmi dobrý poměr kg/kW. Wankelův motor poskytuje navzdory relativně malému zdvihovému objemu motoru velmi dobré výkonové parametry. U rotačního motoru jsou v pohybu jen dvě části, a to rotor a výstupní hřídel. V důsledku toho je motor klidnější a kultivovanější, protože lze docílit dokonalého vyvážení. U Wankelova motoru v podstatě neexistuje riziko zadření motoru kvůli přehřátí. Skříň je obvykle vyrobena z hliníku a rotor z oceli. Díky vysoké tepelné roztažnosti hliníku se blok motoru při vyšších teplotách zvětší a zadření motoru se tak zabrání. Wankelův motor se jeví

jako vhodný pro přímé vstřikování paliva. Fáze spalovacího cyklu trvají déle než u klasického motoru, tudíž je zde více času pro několikanásobné vstříknutí palivové směsi. Pravdou ale je, že přímé vstřikování se u žádného sériově vyráběného vozu zatím neobjevilo.

- **Nevýhody**

Z výčtu kladných stránek by se mohlo zdát, že Wankelův motor je bezchybný stroj. Co tedy brání jeho širšímu rozmachu? Je to celá řada nedokonalostí. Jako zásadní se jeví nedostatečná funkčnost těsnění. Je důležité, aby všechny tři komory od sebe byly neprostupně separované. Toho Felix Wankel docílil speciálními těsnicími lištami na hranách rotoru (Obr. 5). Problémem je ovšem jejich životnost. Těsnicí lišty se nadměrně opotřebovávají v důsledku tření, které vzniká při pohybu lišty po stěně komory za vysokých rychlostí. Naruší-li se hranice mezi spalovacími komorami, jednotlivé plyny se začnou mísit a výsledkem je ztráta komprese.



Obr. 5 Rotor Wankelova motoru s těsnicí lištou [9]

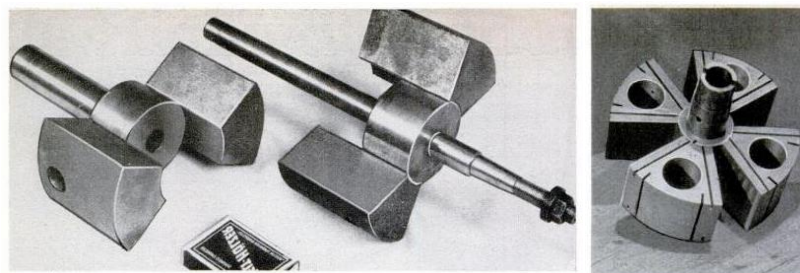
Druhým nedostatkem je nízká termodynamická účinnost. Důvodem je ne zrovna optimální poměr mezi objemem a obsahem spalovacího prostoru. V okamžiku zážehu a spalování směsi má spalovací komora velký obsah a dochází tak k tepelným ztrátám. Díky nerovnoměrnému objemu spalovacího prostoru je hoření směsi komplikovanější a dochází k nebezpečnému detonačnímu spalování. Problematické je i chlazení motoru. Oblast okolo zapalovací svíčky a výfuku je neustále vystavovaná vysokým teplotám, kdežto část v blízkosti sání je chlazena pouhým přívodem směsi. Z toho plynou velké teplotní rozdíly ve spalovací komoře. Zatímco u pístového motoru je primárním zdrojem chlazení výměna plynu ve válci, u Wankelova motoru je nutné motor chladit vnějším okruhem. Chlazení probíhá prostřednictvím kanálků v bloku motoru, kde proudí voda. Nevýhodou je i nízká hodnota kompresního poměru. Příčinou je opět nevhodný tvar spalovací komory. Dalším problémem je ne hospodárny provoz motoru. Výše uvedené nedostatky přispívají k nadprůměrné spotřebě paliva a oleje.

• Budoucnost Wankelova motoru

Všechny výše uvedené neduhy se dají částečně eliminovat. Pravdou je, že především díky Mazdě se spousta z nich již vyřešila, přesto k masovějšímu rozšíření této koncepce nedošlo. S nástupem poslední evoluce motoru zvané Renesis se povedlo snížit spotřebu paliva, vhodnými úpravami zvýšit účinnost mazání a snížit spotřebu oleje, zredukovat hodnoty emisí ve výfukových plynech a údajně i zvýšit spolehlivost a životnost motoru. Mazdu stál vývoj nemalé finanční prostředky, a tak je logické, že své zkušenosti a poznatky chce dále aplikovat. I proto se pustila do vývoje Wankelova motoru na vodíkový pohon. Automobilka již dokonce testovala několik vozů s tímto pohonem a do roku 2015 by je ráda uvedla do sériové výroby. Alternativní paliva by mohla této koncepci motoru vdechnout nový život. Otázkou zůstává, zda se v době finanční krize k Mazdě přidají i jiné automobilky, nebo zůstane Mazda sama vojákem v poli. Koncept Audi představený na Ženevském autosalonu napovídá, že by tomu tak v budoucnosti být nemuselo...

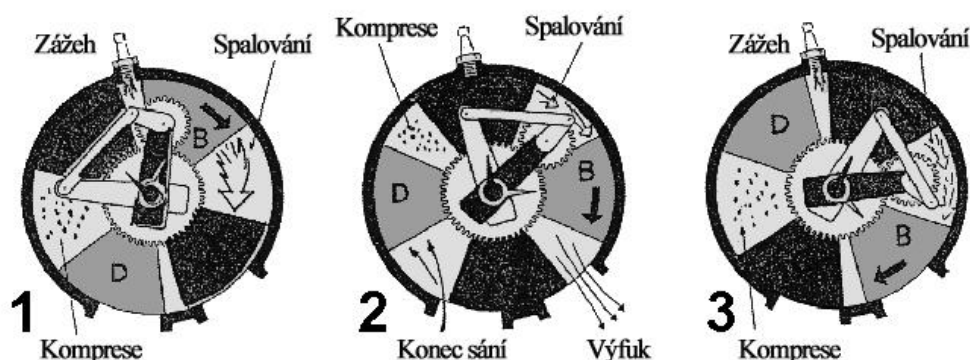
2.1.2 Kauertův motor

V roce 1962 německý inženýr Eugen Kauertz představil svou vizi rotačního motoru. Klíčovým prvkem byl rotor, složený ze dvou sad klínových lopatek, tak jak je to znázorněno na Obr. 6.



Obr. 6 Rozložený lopatkový rotor (vlevo) a složený lopatkový rotor (vpravo) Kauertova motoru [11]

Rotor byl umístěn ve skříni s kruhovým průřezem. Lopatky rotovaly kolem společné osy, ovšem jedna dvojice konstantní rychlostí, druhá proměnlivou rychlostí. To znamená, že dvě sousední lopatky se k sobě přibližovaly nebo naopak oddalovaly. Změnou objemů prostorů mezi lopatkovými písty docházelo ke kompresi nebo expanzi. Vzájemný rozdíl rychlostí mezi dvojicí lopatek zabezpečoval kontrolní planetový převod (Obr. 7).



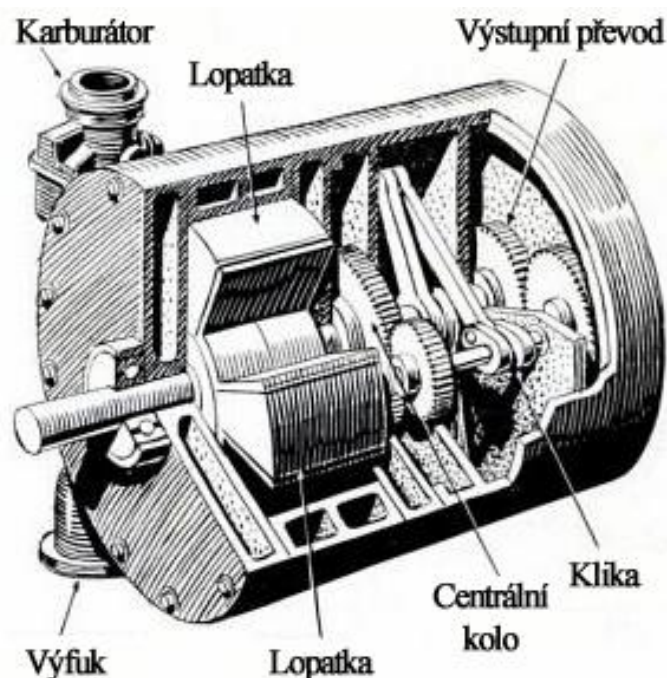
Obr. 7 Pracovní cyklus Kauertova motoru [12]

V motoru nejsou žádné ventily, jejich funkci totiž převzaly samotné klínové lopatky. Těsnění bylo zajištěno pomocí ostří umístěných ve šterbinách v lopatkách rotoru. Působením odstředivých sil se tato ostří dostala do kontaktu se stěnou statoru.

Prototyp motoru dával výkon 105 koní při 2 800 otáčkách za minutu a konstantní krouticí moment v rozmezí 60 až 4 000 otáček za minutu. To vše při objemu pouhých 770 kubických centimetrů. Předností bylo dokonalé vyvážení, tím pádem kultivovaný chod motoru. Koncept sliboval možnost použití různých druhů paliv. Přestože se Eugenu Kauertzovi dostalo podpory od několika firem, jeho nápad úspěch nikdy nesklidil. Na vině byla především planetová převodovka řídící rychlosti jednotlivých lopatek. Ukázalo se, že její křehká konstrukce není schopna dlouhodobě přenášet enormní síly vznikající při spalování paliva.

2.1.3 Virmelův motor

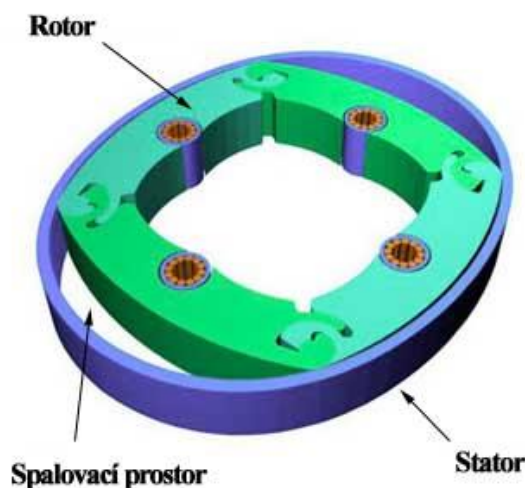
V podstatě stejný princip činnosti využíval Virmelův motor (Obr. 8). Také zde byl aplikován lopatkový rotor a planetový převod pro řízení pohybu lopatkových pístů. Oba páry lopatek byly připevněny na dva sousedé hřídele. Rozdíl byl v tom, že okolo statického centrálního kola neobíhal jeden satelit, nýbrž dva. Obě menší planetová kola kroužila okolo centrálního kola přesně v protilehlé pozici stálou rychlostí. Druhá planeta sloužila k přenosu krouticího momentu na výstupní hřídel. Tímto způsobem uspořádání se měl eliminovat reakční moment. Převodová soukolí ovládala lopatky tak, že dvakrát během cyklu byl pohyb lopatek zastaven a poté znovu obnoven. Největší slabinou Virmelova motoru byl opět řídící převod, který přenášel zatížení vznikající neustálou akcelerací a decelerací lopatkových pístů.



Obr. 8 Virmelův motor [12]

2.1.4 Kvaziturbína

Kvaziturbína (anglický název Quasiturbine, Obr. 9) je další z řady rotačních spalovacích motorů. Svou stavbou se dá označit jako hybrid mezi pístovým a turbínovým motorem. Na první pohled se velmi podobá Wankelovu motoru, nicméně v detailech se podstatně liší, a to jak v konstrukci, tak v činnosti. Hlavní vynálezce Gilles Saint-Hilaire ji sebevědomě označil za „motor nového tisíciletí“.



Obr. 9 Kvaziturbína [18]

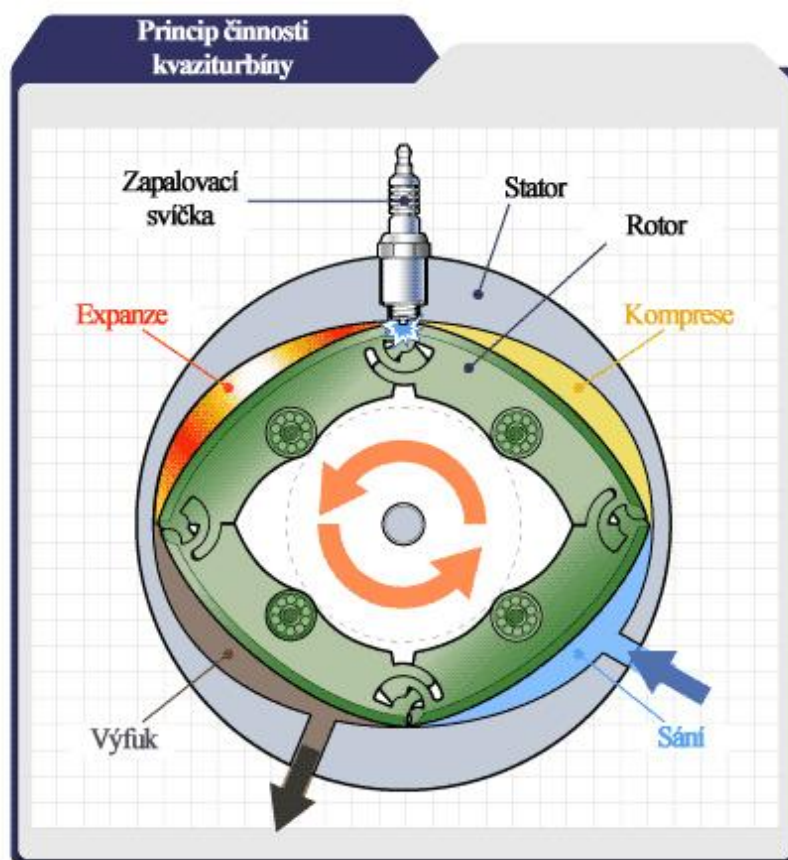
- **Historie**

Na počátku byla myšlenka vytvořit motor s co největší účinností, který by byl šetrný k životnímu prostředí a který by tvořil jistou alternativu pohonu v brzké budoucnosti, tedy v době, kdy dojdou zásoby ropy. Gilles Saint-Hilaire, jakožto termojaderný fyzik, se po zhodnocení nedostatků stávajících konvenčních motorů pustil do vývoje nové koncepce, která by tyto podmínky splňovala. Po podrobné analýze dospěl k závěru, že nejlepším řešením bude vycházet z rotačního motoru. V roce 1993 začaly práce na zařízení, které by pracovalo alternativně buď jako kompresor nebo motor. První verze kvaziturbíny byla patentována v roce 1996.

- **Konstrukce**

Kvaziturbína se podobně jako jiné rotační motory skládá z rotoru a statoru. Na rozdíl od Wankelova motoru, kde je použitý trojúhelníkový rotor, kvaziturbína obsahuje rotor čtyřstěnný. Ten se otáčí v oválném pouzdře – statoru. Rotor se skládá ze čtyř článků, které jsou spojeny složitým zámkovým mechanismem. Jak se rotor otáčí, jednotlivé hrany se přibližují a oddalují od stěny statoru a vytváří tak čtyři spalovací komory. Osa rotace je přesně uprostřed spalovací komory. Rotor během rotace pravidelně přechází ze čtvercového útvaru do kosočtverného a opačně. Princip práce kvaziturbíny je stejný jako u pístového motoru. Postupně proběhnou fáze sání, komprese, zážehu a výfuku. A to v každé ze čtyř oddělených komor, což znamená, že během jedné otáčky rotoru čtyřikrát proběhne cyklus spalování. Kvaziturbína nepotřebuje žádnou klikovou hřídel, která by převáděla pohyb přímočarý

na rotační. S menším počtem částí se snížily ztráty způsobené třením. Účinnost kvaziturbíny je odhadována na 50 %. Schéma činnosti kvaziturbíny znázorňuje Obr. 10.



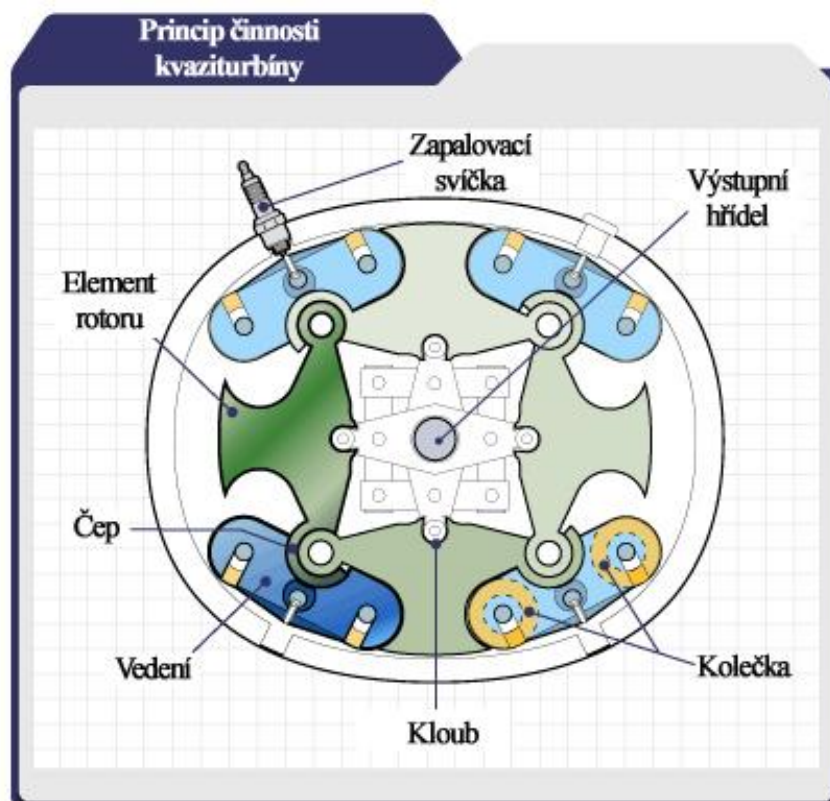
Obr. 10 Princip činnosti kvaziturbíny [14]

Díky uvedené koncepci lze získat velké kompresní poměry, což byl jeden z hlavních cílů vývojarů. Jejich snahou totiž bylo dosáhnout jevu tzv. fotodetonace. Fotodetonace se dá charakterizovat jako nadměrně účinný spalovací režim, při kterém dojde k dokonalému shoření paliva. Výhodou je, že z výfuku neodchází žádné škodliviny ani jiné emise. Tento režim je tak mnohem šetrnější k životnímu prostředí. Aby fotodetonace nastala, je třeba splnit určité podmínky. Předpřipravená směs paliva a vzduchu se vstříkne do spalovací komory a poté musí být stlačena obrovským tlakem tak, aby došlo k samovznícení. Zvýšený tlak a teplota kladou enormní nároky na materiál a celou stavbu stroje. Kvaziturbína byla projektována s ohledem právě na tyto nároky. Pístové motory by podobné tlaky značně poškodily. Wankelův motor zase neposkytuje dostatečnou kompresi.

Jenže po stavbě prototypu se ani kvaziturbína nedočkala kýženého jevu. Proto musel být koncept upraven. Výsledkem snažení je kvaziturbína vyobrazená na Obr. 11, která by zmíněné podmínky splňovat měla. Její konstrukce se velmi podobá původní variantě. Základním prvkem je opět oválný stator, v němž je umístěn rotor.

Zaměříme se nyní právě na rotor. Ten je podstatně složitější. Rotor se skládá ze čtyř speciálně tvarovaných elementů, které vyplňují prostor ve statoru tak, aby byla zajištěna maximální komprese. Tyto elementy jsou vzájemně propojeny čepy. Na každém čepu je navíc přimontován další prvek, jenž tvoří přepážku mezi sousedními komorami. Čep umožňuje otáčivý pohyb vedení, čímž je zajištěna interakce povrchů statoru a vedení v každém

okamžiku. Celkem jsou zde čtyři prvky vedení a každý z nich má v sobě zabudované dvě kolečka, která zajišťují plynulý valivý pohyb po stěně statoru, tudíž rotační pohyb rotoru. Jsou poměrně široká, a to proto, aby styčná plocha umožňovala lépe snášet extrémní tlaky. Výstupní hřídel je uložena ve speciální konstrukci, která je pomocí soustavy čepů a různých příček spojena s rotorem. Výstupní hřídel se otáčí stejnou rychlostí jako rotor kvaziturbíny.



Obr. 11 Konstrukce vylepšené kvaziturbíny, designované s ohledem na fotodetonaci [14]

Stator je oválný a jsou v něm čtyři otvory. Otvor pro zapalovací svíčku, otvor, který je zakryt odnímatelnou záslupkou, otvor pro vstup směsi paliva a vzduchu a otvor pro výfuk spalin. Skříň statoru je utěsněna dvěma víky. V obou mohou být další tři otvory. Jednak může být zapalovací svíčka alternativně umístěna právě na jednom z krytů, jednak se zde mohou nacházet otvory pro přívod paliva a odvod výfukových plynů. Pozice jednotlivých otvorů se odvíjí od činnosti, ke které je kvaziturbína určena. Neslouží totiž jen jako spalovací motor. Díky vysokému kompresnímu poměru může být použita třeba jako kompresor.

Během pohybu rotoru dochází ke změnám objemů jednotlivých komor. Při procesu sání se komora zvětší tak, aby mohla pojmout co nejvíce paliva. Posléze se zmenšuje a nastává komprese, následuje zapálení směsi. V další fázi se komora opět zvětší – expanze. Celý cyklus zakončuje výfuk. Kvaziturbína má ještě jednu zvláštnost. Ve stěně statoru je totiž úzké potrubí ústící právě v otvoru s odnímatelnou ucpávkou. Toto potrubí odvádí malé množství spáleného paliva do předcházející komory, ve které právě končí fáze komprese. Část energie spalin se přemění na mechanickou energii, protože urychluje rotaci rotoru, část pomáhá zefektivnit kompresi směsi paliva a vzduchu. Výsledný efekt je velmi podobný jako u spalovacích turbín.

V kvaziturbíně nenalezneme žádné vačky, zdvihátka, klikové hřídele, ventily, písty a další prvky, kterými disponuje pístový motor. Další věc, která zaujme, je absence olejové vany. Vývojáři tvrdí, že současnou konstrukcí kvaziturbíny se jim povedlo snížit ztráty třením na takovou úroveň, že není třeba speciálního mazání.

- **Výhody a nevýhody**

Již bylo řečeno, že k výhodám kvaziturbíny patří v podstatě dokonalé spálení směsi a z toho vyplývající vyšší efektivita činnosti kvaziturbíny. Dále jmenujme menší množství emisí a škodlivin ve spalínách, schopnost pracovat v libovolně orientované pozici, vysoký točivý moment při nízkých otáčkách, menší hlučnost. Podobně jako u Wankelova motoru lze docílit optimálního vyvážení k omezení vibrací. Pracuje se na verzi kvaziturbíny, jenž by měla být schopna pracovat s jakýmkoli druhem paliva, tedy s benzínem, naftou, zemním plynem nebo třeba vodíkem.

Pravdou ale je, že většina z uvedeného je pouhá domněnka. Největší slabinou kvaziturbíny je fakt, že zatím neexistuje jediný funkční prototyp, který by pracoval jako spalovací motor. Tím pádem zůstávají skryty případné nedostatky. Otázkou je, jak by to bylo se spolehlivostí jednotlivých komponent, především poměrně komplikovaného rotoru. Většina ze zmíněných faktů se opírá pouze o počítačové modely a výpočty. Svým způsobem je to pochopitelné, malá rodinná firma snad ani nemůže dostatečně zaštitit finančně náročný vývoj. Nicméně kvaziturbínu si můžete přece jen koupit. Existuje zatím v jiných verzích než jen jako spalovací motor. Díky svým schopnostem může pracovat třeba jako kompresor nebo turbodmychadlo. V současné době firma nabízí kvaziturbínu jako motor poháněný stlačeným vzduchem (Obr. 14), a to hned ve třech výkonových specifikacích. V roce 2004 byl motor na stlačený vzduch prezentován jako pohon motokáry. Jen o rok později konstruktéři dokonce představili automobil poháněný tímto motorem (Obr. 12). Kvaziturbína také existuje ve verzi, která slouží jako parní motor (Obr. 13). I tu si lze na stránkách výrobce objednat. Uplatnění by měla najít v těžebním průmyslu.



Obr. 12 Automobil s vestavěnou kvaziturbínou poháněnou stlačeným vzduchem [18]

Tým okolo Saint-Hilaire si od svého produktu slibuje mnoho. Vědí, že nebude jednoduché jejich vizi prosadit. Proto se zaměřili na propagaci dosavadních výrobků tak, aby se vryly do paměti širší veřejnosti a seznámili ji s možnostmi, které kvaziturbína nabízí. Saint-Hilaire je přesvědčen, že v budoucnu bude potřeba změnit dosavadní trend v produkci automobilů a bude nutné se zaměřit na nové, ekologicky šetrnější a mnohem účinnější způsoby pohonů. Vzhledem k tomu, že spalovací motor je stále ve fázi počítačových návrhů, bude pravděpodobně trvat ještě mnoho let, než bude kvaziturbína plně připravena a otestována jako konkurenceschopná alternativa ke stávajícím pohonům.



Obr. 13 *Kvaziturbína uzpůsobená jako parní motor [18]*



Obr. 14 *Další dostupná varianta kvaziturbíny, tentokrát motor poháněný stlačeným vzduchem [18]*

2.1.5 Další varianty rotačních motorů

- **Toroidální (prstencové) motory**

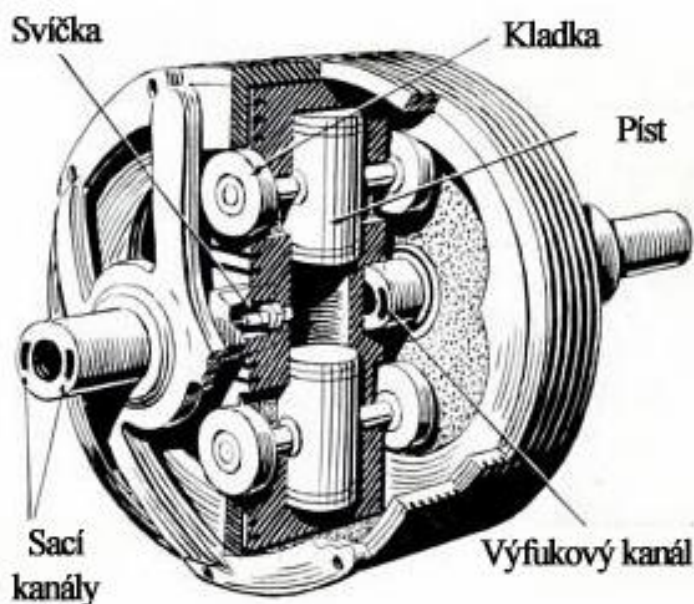
Charakteristickým znakem toroidálních motorů je zakřivený píst, který se pohybuje v prstencové spalovací komoře. Největší překážkou v rozšíření toroidálních motorů byla neschopnost nalézt jednoduchý a spolehlivý způsob, jak přenést energii spalín na výstupní hřídel. V současné době se vývojem prstencového motoru zabývá Raphial Mogrado (Obr. 15).



Obr. 15 Ukázka toroidálního motoru postaveného Raphialem Mogradem [13]

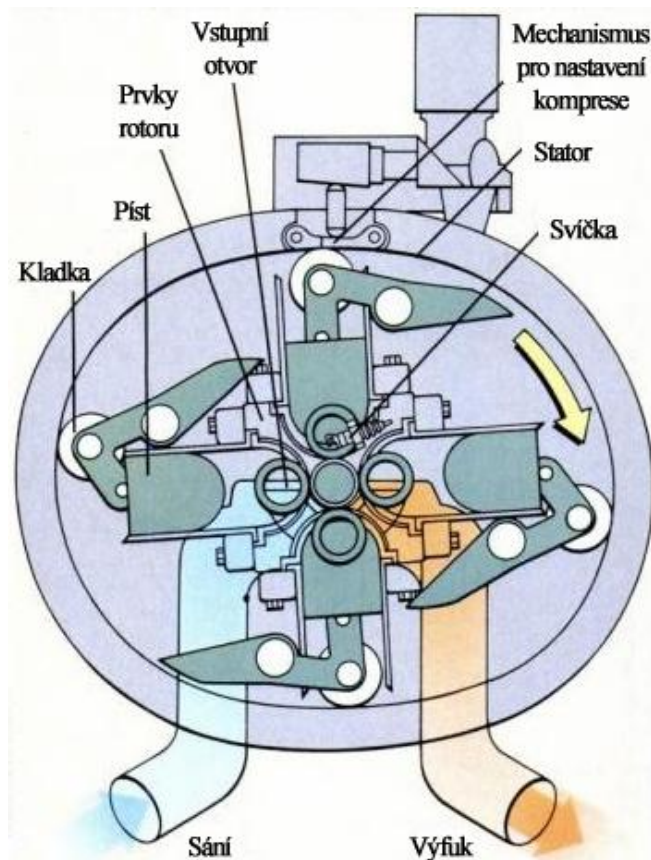
- **Motory s rotující pístní skupinou**

Další podskupinu rotačních motorů tvoří motory, kde prostřednictvím valivých elementů dochází ke společnému rotačnímu pohybu všech prvků motoru. Jako zástupce této skupiny lze uvést **Mercerův motor** (Obr. 16). Směs vzduchu a paliva byla přivedena sáním doprostřed spalovací komory, kde proběhl zážeh. Vratný pohyb dvou protilehlých pístů způsobil pomocí kladky rotaci celé pístní skupiny. K ní byla připojena výstupní hřídel s otvorem pro odvod výfukových spalín.



Obr. 16 Mercerův motor [12]

Na stejném základu pracuje také tzv. **Rotorcam** z roku 1991 (Obr. 17). Síly vznikající během procesu spalování rozpohybují písty, které tisknou valivé prvky proti stěně oválného statoru a tím se celá sestava uvede do otáčivého pohybu. Podle vyjádření autora tohoto vynálezu může Rotorcam pracovat mnohem efektivněji, s nižšími náklady, navíc díky proměnnému kompresnímu poměru s libovolným druhem paliva. Rotorcam byl projektován s cílem uplatnit se v automobilové dopravě. Představa byla taková, že do automobilu by se montovaly dva Rotorcamy, které by byly propojeny hydraulickou spojkou. V běžných situacích by pracovala pouze primární jednotka, která by neposkytovala nikterak velký výkon. To proto, aby se snížila spotřeba paliva. V případě prudkého sešlápnutí plynu by se aktivoval i druhý, mnohem výkonnější Rotorcam. Snaha ovšem zůstala bez povšimnutí automobilek.



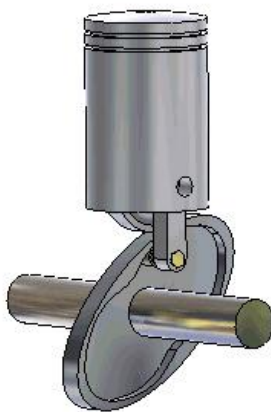
Obr. 17 Konstrukce Rotorcamu [21]

2.2 Vačkové motory

Mnoha konstruktérům se nelíbil všeobecně rozšířený způsob transformace vratného pohybu pístu na rotační pohyb výstupní hřídele pomocí ojnice a kliky. Někteří z nich se rozhodli aplikovat pro tuto činnost vačku. Nicméně žádná koncepce dosud úspěch nezaznamenala.

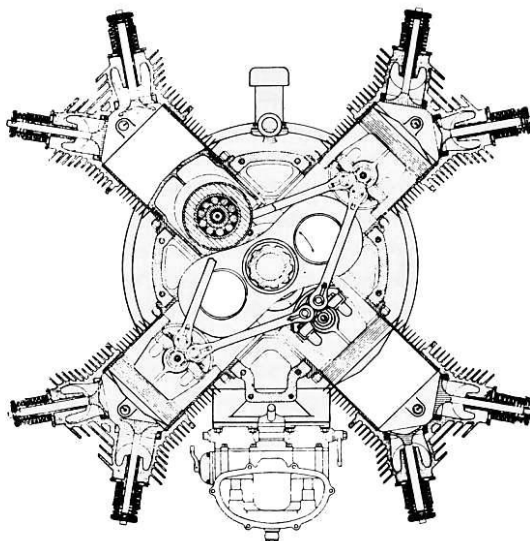
Za nejstarší motor s vačkou je označován **Danielův motor** z počátku 20. století. Jak je vidět z Obr. 18, na píst byly napojeny dva válce, které svíraly eliptickou vačku. Větší válec tlačil na vnější stranu vačky, menší na vnitřní stranu. Vratným pohybem pístu se síla přenášela na vačku, a ta začala rotovat. Vačka byla součástí výstupní hřídele. Motor

obsahoval čerpadlo, které do válce vhánělo stlačený vzduch, aby snadněji došlo k překonání mrtvého bodu během rotace. Vzduch roztáčel vačku také během startování motoru, takže odpadla nutnost roztáčet motor mechanicky pomocí kliky. Čtyřdobý motor obsahoval celkem čtyři válce umístěné ve vertikální pozici, patentována byla také varianta pouze se dvěma válci.



Obr. 18 Detail pístu a vačky Danielova motoru [3]

Mnohem komplikovanější variantu vačkového motoru představil v roce 1926 **Harold Caminez** (Obr. 19). Opět se jednalo o čtyřtakt se čtyřmi válci, rozmístěnými do kříže. Každý válec obsahoval ventil sání a výfuku, zajímavě ale byly řešeny písty. Jednak byl každý píst vybaven kladkou tak jako v předchozím případě, jednak byly všechny čtyři písty spojeny ocelovými klouby. To proto, aby kladky neustále tlačily na vačku umístěnou přesně uprostřed motoru. Dva protilehlé písty byly vždy ve fázi, tj. jejich vratný pohyb byl souhlasný. Valením kladky po vačce se zajišťovala její rotace a tedy i rotace hřídele. Tento motor byl primárně určen pro aplikaci v leteckém průmyslu, nicméně kvůli velké váze a značným vibracím se neosvědčil.



Obr. 19 Konstrukce Caminezova motoru [3]

Technologii pohonu prostřednictvím vačkového mechanismu se aktuálně snaží prosadit firma Revetec.

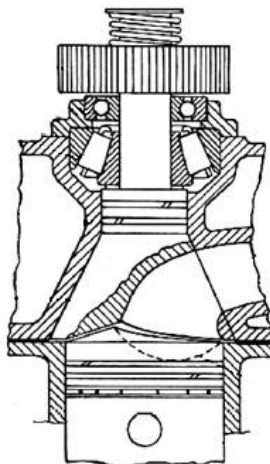
Základním kamenem motoru **Revetec** jsou dvě vzájemně zpřevodované vačky, které svým tvarem tak trochu připomínají zaoblený trojúhelník. Píst je osazen ložisky, která zůstávají v kontaktu s vačkou v každém okamžiku procesu. Takto navrhnutý systém zabezpečuje krátkou dráhu pohybu pístu, která je důležitá pro udržení vysoké komprese. Rychlost pohybu pístu se odvíjí od tvaru vačky. Tvar vačky může být přizpůsoben podle požadavků na druh spalovaného paliva nebo na velikost krouticího momentu. Písty se pohybují skrz speciální vedení s vysokotlakou olejovou lázní, která zabraňuje kontaktu mezi pístem a válcem. Uvedeným postupem se snížily ztráty třením, takže písty mohou být vyrobeny z keramického materiálu. Motor může obsahovat buď dva, nebo čtyři písty rozložené do kříže.

V současnosti se pracuje na vývoji již šestého prototypu. Z výsledků odborných testů a experimentů vyplývá, že motor disponuje velkým krouticím momentem, rychleji akceleroje a vyznačuje se nízkou spotřebou paliva. Účinnost motoru byla z výsledků měření stanovena na téměř 40 %.

2.3 Motory s rotujícími ventily

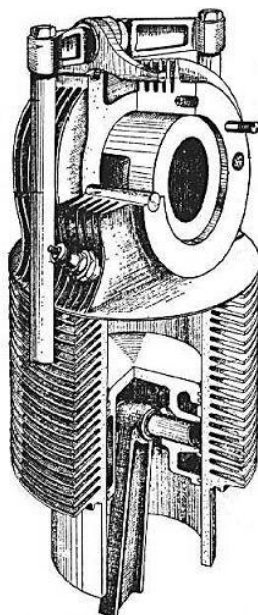
V minulosti vznikla celá řada prazvláštních motorů, mezi nimi i ty, kde výměnu plynů ve válci řídil rotující ventil. Kupodivu se touto ideou zabývalo mnoho inženýrů, což dokazuje skutečnost, že v minulém století bylo vydáno hned několik desítek patentů zabývajících se touto problematikou. Ale ani tato koncepce úspěch nezaznamenala. Jak známo, během spalování vznikají enormní tlaky, které značně zatěžují všechny komponenty, včetně ventilů. Konstrukteři si nevěděli rady s otázkou, jakým způsobem zachytit síly, které působí na rotující ventil.

Například **Frank Aspin** zvolil ventil ve tvaru kužele (Obr. 20), jenž byl uložený v kuželíkovém ložisku. Později Aspin neúspěšně experimentoval s proměnnou rychlostí rotace ventilu v závislosti na fázi spalovacího cyklu. Aspin svou koncepci několikrát modifikoval, především kvůli potížím s chlazením a mazáním ventilu. Přesto se mu tyto problémy nikdy nepovedlo zcela odstranit.



Obr. 20 Detail rotačního kuželového ventilu Aspinova motoru [3]

Trochu jiné řešení vymyslel anglický inženýr **Roland Cross** (Obr. 21). Ten použil horizontálně uložený ventil, který se otáčel konstantní rychlostí. Cross přišel se zajímavým způsobem, jak zredukovat síly působící na ventil. Aby byla zajištěna maximální funkce těsnění, bylo nezbytné držet ventil v bezprostředním kontaktu s hlavou motoru. To zaručoval válec, který se mohl pohybovat v malém rozmezí, a k němu napojený pákový mechanismus. Ten udržoval tlak působící na ventil na maximální přípustné hodnotě. Tedy tak, aby bylo dosaženo správného těsnění a zároveň se předešlo možnému přetěžování. Nadbytečné síly byly pohlceny právě pákovým mechanismem. Cross jako jeden z mála neřešil problémy s mazáním ventilu, na druhou stranu olej stříkající od rotujícího ventilu zanášel zapalovací svíčku. I to se ale později podařilo eliminovat. Crossův motor se údajně na svou dobu vyznačoval slušným výkonem a nízkou spotřebou paliva. Zajímavostí je, že v roce 1935 osadil svými motory dva motocykly a přihlásil je na legendární závod Tourist Trophy na ostrově Man, nicméně ani jeden cíl nespátřil.



Obr. 21 Crossův motor s horizontálním rotujícím ventilem [3]

S jinou koncepcí přišel **Ted Ambrose Mellors**. Ten k řízení ventilů využil maltského mechanismu. V motoru byly tentokrát ventily dva, jeden dával vstup paliva, druhý byl určen pro výfuk. Ovšem ani tento výrobek se neprosadil.

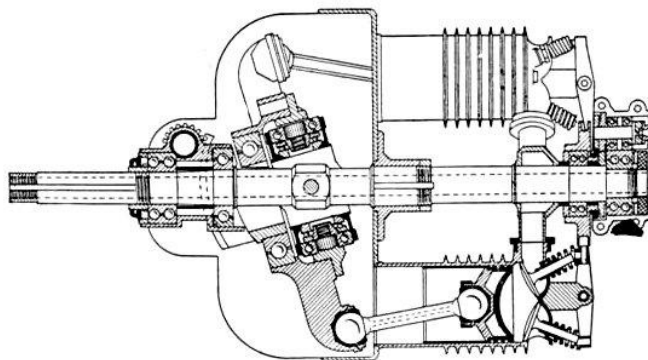
Vývoj motoru s rotačními ventily trvá dodnes. Stará se o něj především americká firma **Coates International Company**, která si již několik svých řešení nechala patentovat. Motor obsahuje dva sférické ventily, z nichž každý je namontovaný na samostatné hřídeli. Ventily jsou uloženy ve speciálních samomazných keramicko-uhlíkových ložiscích. Těsnění je také z keramického materiálu.

2.4 Axiální motory

Na začátku minulého století došlo k významnému rozšíření tzv. axiálních motorů. Axiální motory jsou uspořádány tak, že válce jsou rozmístěny okolo výstupní hřídele a jsou s ní

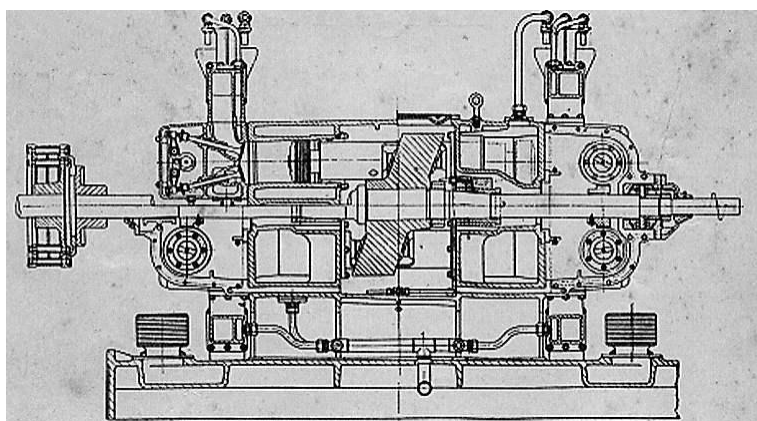
rovnoběžné. Tato úprava měla zvýšit celkovou kompaktnost motoru a zlepšit jeho vyvážení. Naprostá většina těchto motorů byla vyvinuta za účelem pohonu letadel. Některé z nich dokonce opravdu našly uplatnění v bojových letadlech v období První světové války. Později se od této koncepce upustilo, především kvůli problémům s mazáním, obtížnému přívodu paliva do válce a působení odstředivých sil na ventilové rozvody.

Pravděpodobně nejstarší axiální motor, který kdy byl zkonstruován, je **Macomberův motor** z roku 1911 (Obr. 22). Jednalo se o čtyřdobý sedmiválec s nastavitelným kompresním poměrem. Energie uvolněná z paliva se na hřídel přenášela zvláštním mechanismem. Všechny ojnice byly kulovým kloubem připojeny na desku, kterou procházela hřídel uložená v ložiscích. Odlišné časování fází spalovacího procesu v jednotlivých válcích způsobovalo kývavý pohyb desky a díky tomu se pak hřídel roztáčela. Toto byla jedna ze dvou cest, jak realizovat krouticí moment na výstupní hřídeli.



Obr. 22 Macomberův motor s kývavou deskou [3]

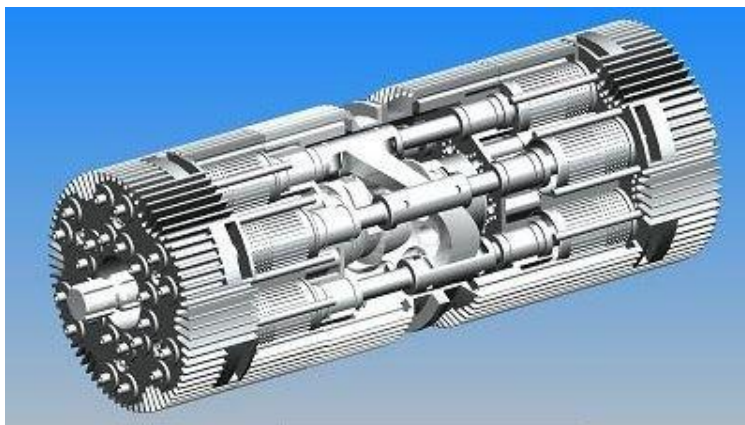
Druhý způsob aplikoval např. **Anthony Michell**. Ten za svůj život stihl zkonstruovat několik verzí axiálních motorů, mimo jiné se věnoval také problematice ložisek a jejich mazání. V tomto případě byla kliková hřídel pevně spojena s kývavým kotoučem. Ojnice všech pístů byly vybaveny dvěma kladkami, kterými kotouč svíraly z vnější i vnitřní strany. Během rotace hřídele tak umožňovaly plynulé valení po povrchu kotouče. První koncept měl válce rozmístěné pouze na jedné straně od kotouče. U dalších evolucí byl již kotouč umístěn v centrální části skříně tak, aby byl obklopen skupinou válců z obou stran (Obr. 23). Toto řešení zvýšilo efektivitu motoru.



Obr. 23 Michellův motor [3]

Jedním z mála axiálních motorů vyvinutých pro pozemní dopravu byl **Bristolův motor**. Tento motor byl určen pro železniční vozidla, osobní automobily nebo autobusy. Nakonec byl hromadně provozován v autobusech městské dopravy v Bristolu ve 30. letech minulého století, ovšem v říjnu 1936 byl projekt přerušen.

V současnosti nabízí axiální motor americká firma AVEC (Obr. 24). Na trh uvedla motor, který vychází z koncepce Karla Hermanna z roku 1941. Klíčovým prvkem je speciálně vytvarovaný kotouč umístěný uprostřed motoru. Na něj je napojeno dvanáct pístů ze šesti válců rozmístěných podél klikové hřídele. Během jedné otáčky hřídele dojde k zážehu postupně ve všech válcích. Podle proklamovaných vlastností je tzv. Axial Vector Engine schopný pracovat s libovolným palivem, vyžaduje nižší náklady jak na výrobu, tak na údržbu, navíc je mnohem výkonnější a lehčí než normální spalovací motory. Vývojáři prohlašují, že může sloužit jako pohon automobilů, lodí nebo letadel. Zatím ovšem k žádnému skutečnému nasazení nedošlo a vše je fází plánů.



Obr. 24 Současná verze axiálního motoru (AVEC) [25]

3 ZÁVĚR

Netradičních koncepcí spalovacích motorů bylo vynalezeno rozsáhlé množství. Je tak v podstatě nemožné všechny vyjmenovat a získat o nich ucelený přehled. Přesto žádná z možných koncepcí nedokázala překonat nebo se alespoň vyrovnat běžně rozšířenému pístovému motoru s klikovou hřídelí. A to navzdory tomu, že o nedostacích pístového motoru byly popsány stohy papírů a z hlediska účinnosti, která se pohybuje okolo 25 %, se nejedná o kdovíjak dokonalý stroj. Jenže za sto padesát let existence pístového spalovacího motoru byla konstrukční stránka věci dotažena téměř k dokonalosti. Pístové spalovací motory jsou dnes jedním z nejspolehlivějších strojů vůbec a přizpůsobují se čím dál tím vyšším nárokům na výdrž a ekonomičnost provozu spalovacích motorů. Nejde jen o motory samotné, ale i sekundární sektor, jako proces výroby nebo výzkum v oblasti používaných materiálů, zaznamenal ohromný pokrok. Možnou příčinnou neúspěchu některých koncepcí tak může být fakt, že neprodělaly tento proces postupné evoluce.

Společným rysem, který se promítá v naprosté většině uvedených konceptů, je přítomnost prvku rotace. Ta je nezbytná pro vznik krouticího momentu na výstupní hřídeli. Široká skupina konstruktérů se zabývala motory s rotačními písty. Prostřednictvím Wankelova motoru lze hovořit o relativním úspěchu konstrukce motoru s rotačním pístem. Tato koncepce nabízí celou řadu pozitiv, na druhou stranu majoritní překážkou v širším rozvoji se staly problémy s nedostatečným utěsněním spalovací komory.

I v moderní době je vyvíjena spousta neobvyklých koncepcí. Konstruktéři většinou poukazují na fakt, že během posledního století nedošlo k žádnému významnému posunu v účinnosti spalovacích motorů, a tak se to snaží svými nápady sami změnit. Některé firmy testují první prototypy, jiné jsou stále ve fázi návrhu. Drobnou nadějí na úspěch jim dává fakt, že v nedlouhé době nevyhnutelně dojde k zásadní změně v produkci pohonných jednotek. Se stále se ztenčujícími zásobami ropy přichází v úvahu uplatnění alternativních paliv (vodík, zemní plyn, bioetanol apod.) nebo pohon pomocí energie uchované v akumulátorech. Vývojáři z menších firem se zaměřují právě na možnou aplikaci alternativních paliv ve svých koncepcích. Zda-li uspějí, ukáže až čas.

4 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ECKERMANN, Erik. *World History Of The Automobile*. Warrendale : Society of Automotive Engineers, 2001. x, 371 s. ISBN 0-7680-0800-X.
- [2] *Inventors.about.com* [online]. c2010 [cit. 2010-05-25]. The History of the Automobile – Gas Engines. Dostupné z WWW: <<http://inventors.about.com/library/weekly/aacarsgasa.htm>>.
- [3] SELF, Douglas. *The Douglas Self Site* [online]. c1998-2010 [cit. 2010-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.dself.dsl.pipex.com/MUSEUM/POWER/unusualICeng/unusualICeng.htm>>.
- [4] VOKÁČ, Luděk. *Auto.IDNES.cz* [online]. 8. dubna 2008 [cit. 2010-05-25]. Wankelův rotační motor. Jak to vlastně funguje?. Dostupné z WWW: <http://auto.idnes.cz/wankeluv-rotacni-motor-jak-to-vlastne-funguje-f47-ak_aktual.asp?c=A080401_015114_ak_aktual_vok>.
- [5] *Autoweb.cz* [online]. 8. březen 2010 [cit. 2010-05-25]. Wankelův motor s rotačním pístem. Dostupné z WWW: <<http://www.autoweb.cz/autonovinky-nova-auta/wankeluv-motor-s-rotacnim-pistem/18027>>.
- [6] *Tipcar.cz* [online]. 23.12.09 [cit. 2010-05-25]. Wankelův rotační motor slaví padesátiny. Dostupné z WWW: <<http://www.tipcar.cz/wankeluv-rotacni-motor-slavi-padesatiny-4398.html>>.
- [7] Wankel engine. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 27 July 2001, last modified on 30 April 2010 [cit. 2010-05-25]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wankel_engine>.
- [8] KHEMANI, Haresh. *Brighthub.com* [online]. 2008 [cit. 2010-05-25]. The Wankel Engine – PART II – Advantages. Dostupné z WWW: <<http://www.brighthub.com/engineering/mechanical/articles/4433.aspx>>.
- [9] NICE, Karim. *Howstuffworks.com* [online]. 2001 [cit. 2010-05-25]. How Rotary Engines Work. Dostupné z WWW: <<http://auto.howstuffworks.com/rotary-engine.htm>>.
- [10] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. Brno : [vl.n.], 2003. 580 s. ISBN 80-238-8756-4.

-
- [11] SCHLICHTIG, Heinz. Those Rotary Engines: Round Two. *Popular Mechanics*. June 1962, No. 6, s. 88-91. Dostupný také z WWW: <http://books.google.cz/books?id=mtwDAAAAMBAJ&pg=PA88&lpg=PA88&dq=The+Kauertz+Engine&source=bl&ots=UB-Iy9aWIr&sig=FD0y9aFGtSK9i1YXKStlpTtmxUE&hl=cs&ei=ewL0S53vIqTdsAbOssyHDA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CCgQ6AEwAw#v=onepage&q=The%20Kauertz%20Engine&f=false>.
- [12] P. NORBYE, Jan. Rivals to the Wankel: A Roundup of Rotary Engines. *Popular Science*. January 1967, No. 1, s. 80-85. Dostupný také z WWW: <<http://books.google.cz/books?id=CSEDAAMBAJ&pg=PA80&dq=The+tschudi+engine&cd=4#v=onepage&q=The%20tschudi%20engine&f=false>>.
- [13] *Angel Labs* [online]. c2006-2010 [cit. 2010-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.angellabslc.com/index.html>>.
- [14] HARRIS, William. *Howstuffworks.com* [online]. 2005 [cit. 2010-05-25]. How Quasiturbine Engines Work. Dostupné z WWW: <<http://auto.howstuffworks.com/quasiturbine.htm>>.
- [15] *Blog.auto.cz* [online]. 18. 10. 2006 [cit. 2010-05-25]. Vylepšený Wankel – jak vypadá?. Dostupné z WWW: <<http://fea.blog.auto.cz/2006-10/vylepseny-wankel-jak-vypada/#comment-69>>.
- [16] BODE, Dave. *Findarticles.com* [online]. 2000 [cit. 2010-05-25]. An Engine For The New Millennium?. Dostupné z WWW: <http://findarticles.com/p/articles/mi_m0FZX/is_4_66/ai_62371174/?tag=content;col1>.
- [17] Quasiturbine. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 7 December 2004 , last modified on 7 May 2010 [cit. 2010-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Quasiturbine>>.
- [18] *Quasiturbine.com* [online]. c2005 [cit. 2010-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://quasiturbine.promci.qc.ca/EIndex.htm>>.
- [19] *Physicsdaily.com* [online]. 07-10-2008 [cit. 2010-05-25]. Quasiturbine. Dostupné z WWW: <<http://www.physicsdaily.com/physics/Quasiturbine>>.
- [20] VENTURA, Tim. *Americanantigravity.com* [online]. 24. 4. 2006 [cit. 2010-05-25]. The Quasiturbine. Dostupné z WWW: <<http://www.americanantigravity.com/documents/Quasiturbine-Interview.pdf>>.
- [21] MCKEE, Steve. Rotorcam: Piston Engine Turned Inside Out. *Popular Science*. May 1991, No. 5, s. 36. Dostupný také z WWW:

<http://books.google.cz/books?id=zAlugfGhlj8C&pg=PA36&lpg=PA36&dq=The+Murray+Rotor+Cam&source=bl&ots=ZHk3H99W6S&sig=8FxH2uWgkj8b3hpVsmN2ketX-Cc&hl=cs&ei=MZD1S5CLDZyfOIC9zYgJ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CBUQ6AEwAA#v=onepage&q=The%20Murray%20Rotor%20Cam&f=false>.

- [22] *Revetec.com* [online]. c2009 [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.revetec.com/home.html>>.
- [23] WATSON, Ralph. *Ralphwatson.scienceontheweb.net* [online]. 2001 [cit. 2010-05-25]. THE DEVELOPMENT OF A VIABLE ROTARY VALVE ENGINE. Dostupné z WWW: <<http://ralphwatson.scienceontheweb.net/rotary.html>>.
- [24] *Coatesengine.com* [online]. c2005 [cit. 2010-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.coatesengine.com/index.html>>.
- [25] *Axialvectorengine.com* [online]. c2010 [cit. 2010-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.axialvectorengine.com/index.html>>.