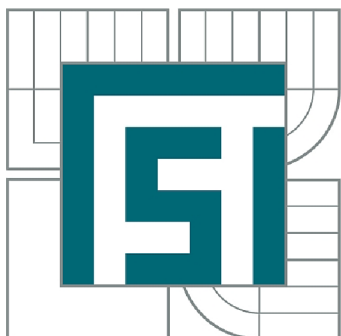


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

NEKONVENČNÍ KONCEPCE SPALOVACÍCH MOTORŮ

UNCONVENTIONAL DESIGN FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

BAKALÁRSKA PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MIROSLAV ŠENKÝŘ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MIROSLAV ŠPLÍCHAL

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁRSKÉ PRÁCE

student(ka): Miroslav Šenkýř

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

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

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

Nekonvenční koncepce spalovacích motoru

v anglickém jazyce:

Unconventional design for internal combustion engines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tradiční pístový motor s klikovým mechanismem představuje, přes své určité nevýhody, základ pro pohon lehčích letounů. Snahou rady konstruktérů je odstranit nevýhody pístových motorů prostřednictvím různých inovativních konstrukcí. Úkolem práce je najít takovéto nekonvenční konstrukce spalovacích motorů a posoudit jejich použitelnost pro pohon letadel.

Cíle bakalářské práce:

Popsání způsobu práce nekonvenčních spalovacích motorů, rozbor hmotnostních a výkonových charakteristik těchto motorů. Zhodnocení výhod a nevýhod těchto motorů oproti klasickému pístovému motoru s klikovým mechanismem a posouzení použitelnosti pro pohon letadel.

Seznam odborné literatury:

[1] OTT, A.: Pohon letadel. první. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1993. 168 s. ISBN 80-214-0522-8.

[2] Jane's: Aero - Engines. Virginia USA: Hobb the Printers, 2007. 778 s. Dostupné z [www:<jae.janes.com>](http://www.jae.janes.com). ISSN 1748-2534.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslav Šplíchal

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 26.11.2010

L.S.

prof. Ing. Antonín Píšteck, CSc.

Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.

Dekan fakulty

LICENČNÍ SMLOUVA
POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřena mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Miroslav Šenkýř
Bytem: Vrbovská cesta 4727/26 Piešťany 921 01
Narozen/a (datum a místo): 20.07.1988 Piešťany

(dále jen „autor“)

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta strojního inženýrství
se sídlem: Technická 2896/2 616 69 Brno
jejímž jménem jedna na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):
- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: NEKONVENČNÍ KONCEPCE SPALOVACÍCH MOTORŮ

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Miroslav Šplíchal

Ustav: Letecký ustav

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- tištěné formě – počet exemplářů
- elektronické formě – počet exemplářů

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činnosti dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v plátnem znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových prav k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupně v mezinárodní síti
 - ✓ ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsazených informací)
4. Nevýdělečně zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v plátnem znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsaná ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupraveně touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v plátnem znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodně a pravě vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

Abstrakt

Práca je zameraná na nekonvenčné koncepcie spaľovacích motorov, teda na spaľovacie motory neobvyklých konštrukcií. Sú to motory, ktoré majú odlišné tvary spaľovacieho priestoru tvary hriadel'ov a merných výkonov od konvenčných koncepcii. Práca opisuje nekonvenčné motory ako je Wankel a Nutating motor. Práca objasňuje konštrukciu, princíp činnosti výhody a nevýhody. Vzhľadom k stálemu zdokonaľovaniu konštrukcií týchto motorov majú perspektívu do budúcnosti aj v leteckom priemysle.

Kľúčové slová

Rotačný motor, Wankel, Nutating motor, piestový motor, rotor, piest, valec, ventil, expanzia, kompresia, merný výkon,

Abstract

The work is focused on unconventional concepts for internal combustion engines, namely, internal combustion engines of unusual structures. These are the engines that have different shapes of combustion chamber, shapes of shafts and specific output from the conventional concepts. This paper describes an unconventional engines as the Wankel engine and the Nutating engine. The work explains the construction, operating principle, advantages and disadvantages. Due to the continuous improvement of structures of these engines they have the future prospects in the aviation industry.

Keywords

Rotary engine Wankel, Nutating engine, piston engine, rotor, piston, cylinder, valve, expansion, compression, power density

Bibliografická citácia

ŠENKÝŘ, M. *Nekonvenční koncepce spalovacích motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 57 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Miroslav Šplíchal.

Prehlásenie

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému *Nekonvenční koncepce spalovacích motorů* som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení § 152 trestného zákona č. 140/1961 Sb.

V Brne dňa 26.5. 2011 podpis autora

PodĎakovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Miroslavovi Šplíchalovi za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

V Brne dňa 26.5. 2011 podpis autora

Obsah

Úvod

| | |
|---|--------------|
| 1. Všeobecné informácie o spaľovacích motoroch..... | 12-14 |
| 1.1 Rozdelenie spaľovacích motorov..... | 12 |
| 1.2 Požiadavky na letecké spaľovacie motory..... | 14 |
| 2. Konvenčná koncepcia spaľovacieho motora (piestový motor)..... | 15-21 |
| 2.1 História..... | 15 |
| 2.2 Konštrukcia..... | 17 |
| 2.2.1 Motorová skriňa..... | 17 |
| 2.2.2 Valce a hlavy valcov..... | 18 |
| 2.2.3 Kluková hriadeľ, ojnice a piesty..... | 18 |
| 2.2.4 Rozvod..... | 19 |
| 2.3 Princíp..... | 20 |
| 3. Nekonvenčná koncepcia spaľovacieho motora (Wankel)..... | 22-37 |
| 3.1 História..... | 22 |
| 3.2 Konštrukcia..... | 22 |
| 3.2.1 Blok motora..... | 24 |
| 3.2.2 Stredná časť..... | 24 |
| 3.2.3 Rotor..... | 25 |
| 3.2.4 Excentrický hriadeľ..... | 25 |
| 3.2.5 Spaľovacia priehlbina a vrchol spojov..... | 25 |
| 3.3 Princíp..... | 27 |
| 3.3.1 Nasávanie..... | 28 |
| 3.3.2 Kompresia..... | 29 |
| 3.3.3 Zapálenie..... | 29 |
| 3.3.4 Expanzia..... | 30 |
| 3.3.5 Výfuk..... | 30 |
| 3.4 Výhody a nevýhody..... | 31 |
| 3.5 Aplikácia v letectve..... | 32 |
| 3.6 Zástavba do lietadla..... | 33 |
| 3.6.1 Motorové lôžko..... | 33 |
| 3.6.2 Motorové kryty..... | 35 |
| 4. Nekonvenčná koncepcia spaľovacieho motora (Nutating)..... | 37-42 |
| 4.1 História..... | 37 |
| 4.2 Konštrukcia..... | 38 |
| 4.3 Princíp..... | 40 |
| 4.4 Výhody a nevýhody..... | 41 |
| 5. Ďalšie nekonvenčné koncepcie spaľovacích motorov..... | 42-48 |
| 5.1 Všeobecne..... | 42 |
| 5.2 Axiálny motor..... | 42 |
| 5.3 Rotačný motor (Webb motor)..... | 44 |
| 5.4 Vačkový piestový motor (Cam engine)..... | 45 |
| 5.5 Toroidný motor..... | 46 |

| | |
|---|--------------|
| 5.6 Jamesov motor..... | 47 |
| 6. Porovnanie konvenčných a nekonvenčných koncepcii spaľovacích motorov..... | 49-52 |
| 6.1 Všeobecne..... | 49 |
| 6.2 Výkon a hmotnosť..... | 50 |
| 6.2.1 Rotačný motor MISTRAL G-300..... | 50 |
| 6.2.2 Piestový motor Lycoming IO-540..... | 51 |
| 6.2.3 Nutating motor..... | 51 |
| 6.3 Spotreba a emisie..... | 51 |
| Záver..... | 53 |
| Použitá literatúra..... | 54 |
| Zoznam použitých veličín a jednotiek..... | 56 |
| Zoznam obrázkov..... | 57 |

Úvod

Spaľovacie motory s konvenčnou koncepciou (piestové motory) sa používajú niekoľko rokov. Od začiatku vývoju sa tieto motory postupne zlepšovali až na úroveň motorov, ktoré sa používajú dnes. Klasické piestové motory sa používajú väčšinou u športových lietadiel, ktoré sú využívané na školenie nových pilotov, vyhliadkové lety a iné letecké práce. Vzhľadom na stály vývoj leteckých spaľovacích motorov sú kladené väčšie nároky na výkon, ekonomickosť, hmotnosť, jednoduchosť údržby, životnosť a bezpečnosť. Taktiež vývoj motorov s neobvyklou konštrukciou nezaostával, ale vzhľadom k nedostatkom poznatkov v materiálovej oblasti mali tieto motory určité nedostatky kvôli, ktorým nemohli konkurovať klasickej koncepcii. Postupom času vznikli nové materiály, ktoré pomohli k vývoju nekonvenčných koncepcií spaľovacích motorov (tesnenia). V dnešnej dobe sú tieto motory na vysokej úrovni a preto sa začínajú používať aj v leteckom priemysle.

V tejto práci je zahrnutý opis jednotlivých motorov a ich výhody a nevýhody. Práca sa rozdeľuje do šiestich kapitol, ktoré sa delia na jednotlivé podkapitoly. Na začiatku práce, teda v prvej, kapitole sú rozdelené spaľovacie motory do jednotlivých kategórií a sú popisované jednotlivé všeobecné požiadavky, ktoré sú kladené na letecké pohonné jednotky. V druhej kapitole je pre obnovenie znalostí a poznatkov opísaná konvenčná koncepcia piestového motora. Nasledujúca kapitola sa zaujíma o veľmi známu nekonvenčnú konštrukciu motora Wankel, ktorý sa postupom času začal používať nie len v automobilovom ale aj v leteckom priemysle. Kapitola v poradí štvrtá sa zaoberá menej známou neobvyklou konštrukciou motora Nutating. Tieto dve kapitoly podrobne popisujú jednotlivé motory a oboznamujú čitateľa o konštrukcii motorov a snažia sa čitateľa uviesť do problematiky týchto koncepcií. V piatej kapitole sú stručne popísané ďalšie nekonvenčné koncepcie motorov. V tejto kapitole nájdeme rôzne zaujímavé konštrukcie, ktoré boli realizované, ale bohužiaľ sa vzhľadom k zložitosti alebo iným problémom neujali leteckom priemysle. V poslednej kapitole sú porovnávané konvenčné a nekonvenčné koncepcie. V jednoduchosťi je vysvetlené rozdiely a taktiež výhody a nevýhody. V tejto kapitole je vidieť rozdiely zložitosti konštrukcií a taktiež rozdiel hmotnosti a výkonov prípadne spotreby. Súčasťou práce sú obrázky ktoré nám slúžia pre lepšie pochopenie danej problematiky.

1. Všeobecné informácie o spaľovacích motoroch

1.1 Rozdelenie spaľovacích motorov

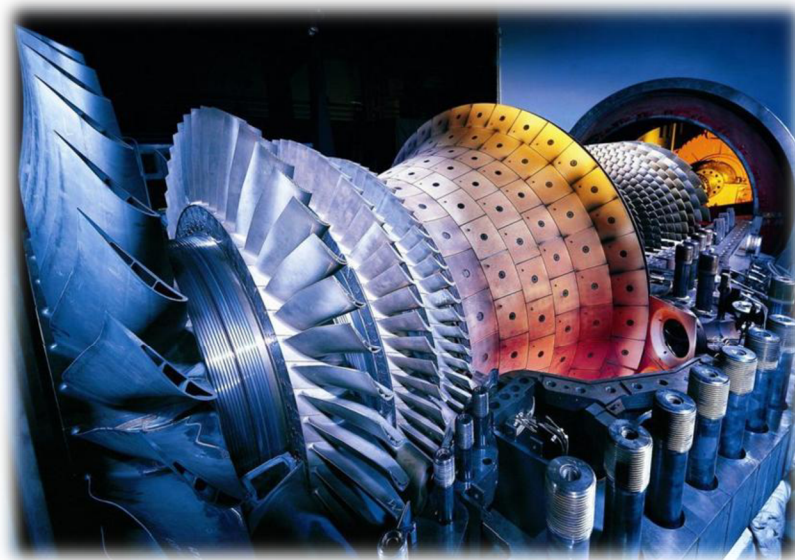
Podľa miesta spaľovania:

- motory s vnútorným spaľovaním (vznetový, zážihový)



Obr. 1.1 Motor s vnútorným spaľovaním

- motory s vonkajším spaľovaním (plynová turbína)



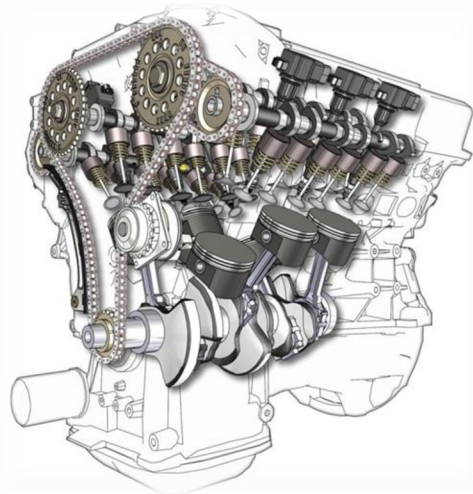
Obr. 1.2 Motor s vonkajším spaľovaním

Podľa pracovného cyklu:

- s kontinuálnym pracovným cyklom (spaľovacia turbína)
- s prerušovaným pracovným cyklom (dvojtaktný, štvortaktný)

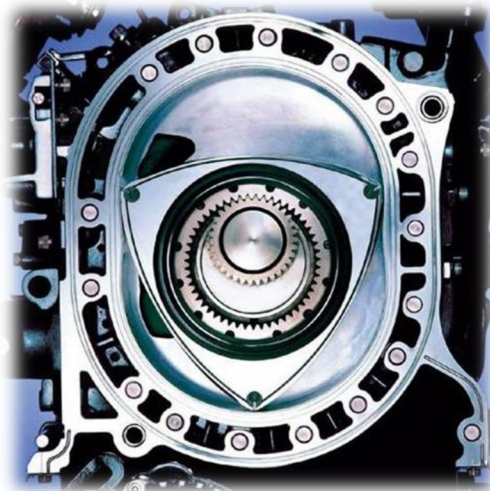
Podľa základného pracovného princípu:

- piestové spaľovacie motory s priamočiarym pohybom piesta



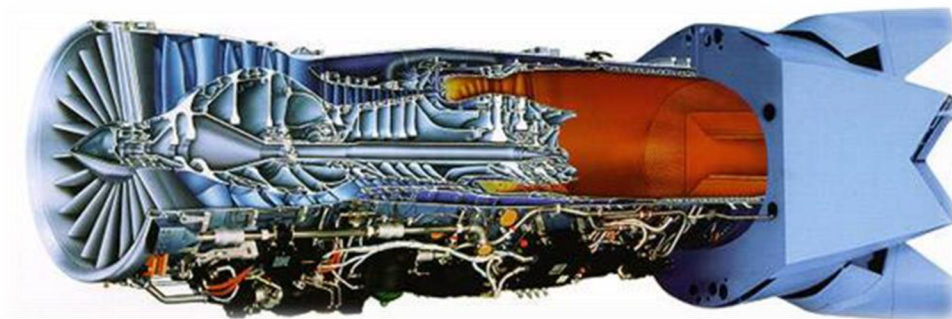
Obr. 1.3 Piestový spaľovací motor s priamočiarym pohybom piesta

- spaľovacie motory s rotačným pohybom piesta



Obr. 1.4 Spaľovací motor s rotačným pohybom piesta (13)

- lopatkové motory (turbíny)



Obr. 1.5 Lopatkový motor

- reaktívne motory (prúdové, raketové)

Podľa spôsobu vyvolania spaľovania:

- zážihové
- vznetové
- motory s kombinovaným zapalovaním
- žiarové motory

1.2 Požiadavky na letecké spaľovacie motory

Charakteristiky lietadlových spaľovacích motorov musia byť také, aby spĺňali nasledujúce hlavné požiadavky:

- čo najmenšia hmotnosť
- čo najväčšia hospodárnosť
- dostatočný výkon
- malé rozmery
- prevádzková technologickosť
- výrobná technologickosť
- vysoká prevádzková spoľahlivosť pri dostatočnej dlhej životnosti
- výškovosť podľa účelu
- vyváženie zotrvačných síl pohyblivých mechanizmov motora

Hmotnosť každého lietadlového celku a tiež hmotnosť lietadlového motora v konečnom dôsledku ovplyvňuje efektívnosť prevádzky lietadla. Znižujeme hmotnosť motora pomocou aplikácie ľahkých konštrukčných materiálov všade tam, kde je to možné. Charakteristický parameter je merná hmotnosť. Je to pomer celkovej hmotnosti motora k efektívnemu výkonu motora.

Hospodárnosť prevádzky je určená spotrebou paliva a oleja na jednotku výkonu (tzv. merná spotreba).

Výkon lietadlového motora je prevažne určený požadovanými vlastnosťami lietadla, do ktorého má byť zabudovaný.

Rozmery motorov a jeho súčastí ovplyvňuje veľkosť celkového aerodynamického odporu lietadla. S rastúcim odporom sa zhoršuje výkon lietadla, teda klesá rýchlosť a klesá efektívnosť prevádzky lietadla.

Požiadavky prevádzkovej technologickosti sú dôležité z pohľadu leteckého mechanika, ktorý má motor kontrolovať, opravovať a udržiavať v prevádzky schopnom stave. Motor musí umožniť ľahkú montáž, demontáž a ľahký prístup ku kontrolovaným prvkom.

Spoločnosť je dôležitý faktor v leteckom priemysle. Konštrukčné prevedenie motora musí vykazovať vysokú úroveň spoľahlivosti, čo je schopnosť zachovať svoje vlastnosti za daných podmienok. Zároveň by mala konštrukcia byť riešená tak, aby mala pokiaľ možno veľkú životnosť.

Výškovosť závisí od účelu, teda závisí na akom lietadle bude motor namontovaný a na aké účely dané lietadlo bude používané. S rastúcou výškou klesá atmosférický tlak, kde dôsledkom toho je pokles množstva zmesi a tým znižovanie

výkonu. Tomuto sa dá konštrukčné predísť tým, že sa namontuje kompresor, ktorý bude motor preplňovať.

Zotrvačné sily pohybujúcich sa mechanizmov vo vnútri motora môžu byť zdrojom nežiaduceho chvenia motora. Toto chvenie sa potom prenáša na drak lietadla, čo ovplyvňuje pevnosť konštrukcie a letové vlastnosti lietadla.

2. Konvenčná koncepcia spaľovacieho motora (piestový motor)

2.1 História

Prvý let riaditeľnej vzducholode uskutočnil v roku 1852 Francúz Henru Giffard, ktorý skonštruoval parný stroj o výkone 2,2 kW pri suchej hmotnosti 150 kg. Parný stroj sa uplatnil aj v lietadlách ťažších ako vzduch. V roku 1882 bolo lietadlo poháňané dvoma parnými strojmi o výkonoch 14,7 kW a 7,4 kW.

Veľký pokrok bol 3.12.1903, kedy vzletelo prvé lietadlo bratov Wrightovcov so spaľovacím motorom. Požitý motor bol radový, vodou chladený štvorvalec o výkone 8,8 kW a hmotnosti 110kg.

V nasledujúcich rokoch vývoj spaľovacích motorov napredoval veľmi rýchlo. Vzniklo veľa rôznych usporiadaní piestov, vodou alebo vzduchom chladené. Rástol výkon a zvyšovala sa ich spoľahlivosť. V tejto dobe vznikol tzv. rotačný motor, ktorého hlavný rozdiel bol v tom že kľukový hriadeľ stál a skriňa motora a valce rotovali.

V medzivojnovom období sa začali objavovať výškové motory s odstredivými kompresormi. Motory tej doby mali vyššie otáčky, preto sa začali zavádzať reduktory. Motory v druhej polovici tridsiatych rokoch prekročili výkon 735 kW. V druhej svetovej vojne vývoj motorov pokračoval, dosiahlo sa výkonu až 2950 kW. Piestové motory majú aj dnes veľké uplatnenie hlavne na malých a stredných lietadlách. Vývoj stále pokračuje, vyvinuli sa motory riadené počítačom, ktoré pomáhajú k lepšiemu výkonu a vhodnej spotrebe paliva.



Obr.2.1 Lycoming (motor používaný v lietadlách Cessna)(18)

História piestových motorov na území Československa

V tom čase existovali tri podniky, ktoré sa zaujímali o letecké motory.(Walter, ČKD a AVIA)

Firma Walter vyrábala svoje motory aj licenčné. Výroba hviezdicových motorov ako napr. Castor, Pollux, Regulus. V oblasti radových vzduchom chladených motorov boli invertné typy napr. Minor a Major. Neskôr sa vyvinuli niekoľko veľmi výborných piestových motorov ako napr. M-137, M-132, M-337, M-332 a iné.



Obr.2.2 Piestový radový motor M-337AK

Firma ČKD vyvinula rad plochých, vzduchom chladených motorov Praga. Najvýznamnejší motor bol Hispano Suiza o výkone 625 kW pre stíhačky Avia B 534.

Firma Avia vyrábala hviezdicové motory Rk-17 a po vojne začali vyrábať sovietske motory Švecov AŠ-82T, ktorý bol zabudovaný na lietadlách AV-14 a Mikulina AM-42. Významnou činnosťou bola úprava motorov AI-14 na motory M-462RF pre poľnohospodárske lietadla Z-37A Čmelák, ktoré lietajú dodnes s týmito motormi.



Obr.2.3 Piestový hviezdicový motor M-462RF

2.2 Konštrukcia

Existuje celá rada rôznych piestových motorov, ale všetky majú rovnaké hlavné časti motora:

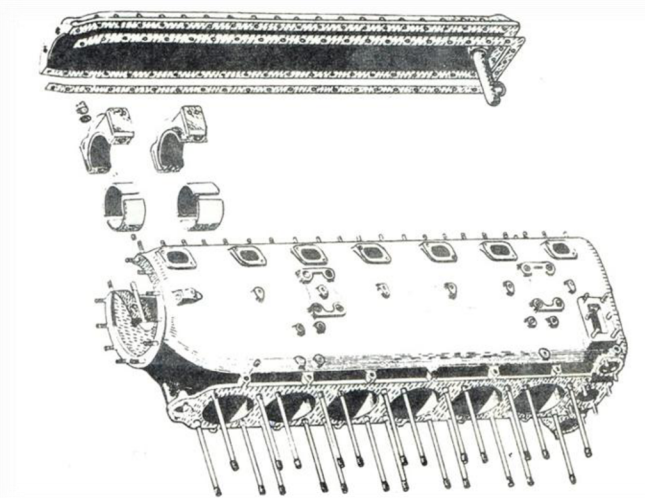
- motorová skriňa
- valce a hlavy valcov
- kľuková hriadeľ, ojnice a piesty
- rozvod
- skriňa pohonov
- reduktor (nemusí byť)
- kompresor (nemusí byť)

2.2.1 Motorová skriňa

Motorová skriňa plní predovšetkým tieto funkcie:

- umožňuje tuhý základ pre uchytenie valcov motora
- poskytuje tuhé uloženie kľukového hriadeľa a vrtuľového reduktora
- nesie pomocné agregáty
- vnútorné kanáliky rozvádzajú olej k mazaným miestam a agregátom
- tesní olej
- prevádzajú ťah vrtule na drak lietadla
- odvádza časť tepla do atmosféry

Motorová skriňa je najviac namáhaná zaťažením, vyvolaným tlakom plynu vo valcoch. Ten pôsobí na jednej strane na hlavu valca a opačne na kľukový hriadeľ a skrutky upevňujúce valce. Tvar tejto skrine závisí na usporiadaní valcov. Lietadlové piestové motory v tomto období sú z pravidla so *suchou motorov skriňou*, teda olejová náplň je v nádrži. Motorová skriňa musí byť odvetraná voľne prepojené s atmosférou tak ,aby sme zamedzili vzniku pretlaku. Pretlak je spôsobený vratným pohybom piestu vo valci a únikom výfukových plynov cez piestne krúžky. Odvetrávače v motorovej skrini musia byť konštrukčne riešené tak, aby neodchádzala olejová hmla do atmosféry, ale aby umožnili rýchle vyrovnávanie tlaku v skrini.



Obr.2.4 Motorová skriňa M-337AK (5)

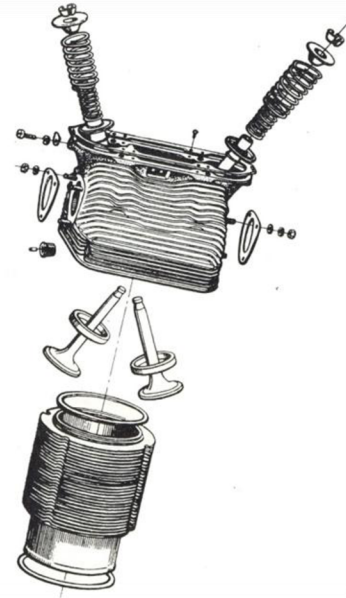
2.2.2 Valce a hlavy valcov

Valce so svojimi hlavami plnia u piestového motorov tieto funkcie:

- vytvárajú utesnený spaľovací priestor
- slúži k vedeniu piestu pri jeho vratnom pohybe
- odvádza teplo, ktoré do neho preštiepuje

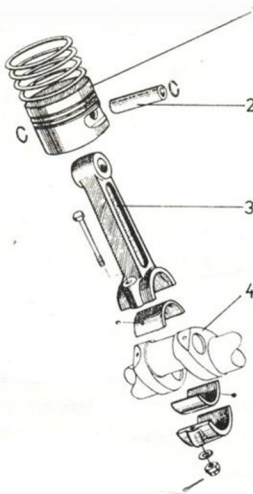
Vo vnútornom priestore valca prebiehajú jednotlivé pochody pracovného cyklu, pri ktorom nastáva zmena tepelnej energie palivovej zmesi na mechanickú energiu zvýšením tlaku plynu vo valci. Teplota valca a jeho hlavy je potom závislá na množstve tepla privedeného a množstva tepla odvedeného. Tieto hodnoty sú v rôznych častiach valca značne rozdielne a preto sú aj značné rozdiely teploty rôznych miest na valci. Najväčší rozdiel teplôt, teda najväčšie tepelné namáhanie existuje v mieste medzi

výfukovým a sacím ventilom. Pri výrobe valcov a ich hlavách je teda nutné použiť taký materiál, ktorý je dostatočne pevný pri vysokých teplotách a dobre odoláva treniu piesta a piestnych krúžkov. Z pravidla sa používajú ako základne materiály oceľ, zliatiny ľahkých kovov, bronz a meď. Oceľ sa používa na výrobu vložiek valcov a sediel ventilu. Tento materiál vyniká vysokou pevnosťou aj pri vyšších teplotách. Zliatiny ľahkých kovov sa používajú na výrobu hláv valcov pre svoju malú hmotnosť, dobrú obrobiteľnosť a tepelnú vodivosť.



Obr.2.5 Valec a hlava valca (2)

2.2.3 Kľuková hriadeľ, ojnice a piesty



Kľukový hriadeľ spolu s ojnicami tvoria kľukový mechanizmus, ktorý mení priamočiary pohyb piestov na pohyb rotačný. Menšia časť vytvorenej energie je späť dodávaná piestom na nepracovné zdvihy a na pohon agregátov. Krútiaci moment je prenášaný na vrtuľu buď priamo alebo cez reduktor.

Piest oddeľuje spaľovací priestor od motorovej skrine. Prenáša na kľukový mechanizmus sily od rozdielov tlakov. Úplný piest sa skladá z vlastného piesta, piestnych krúžkov, piestneho čapu a jeho poistiek.

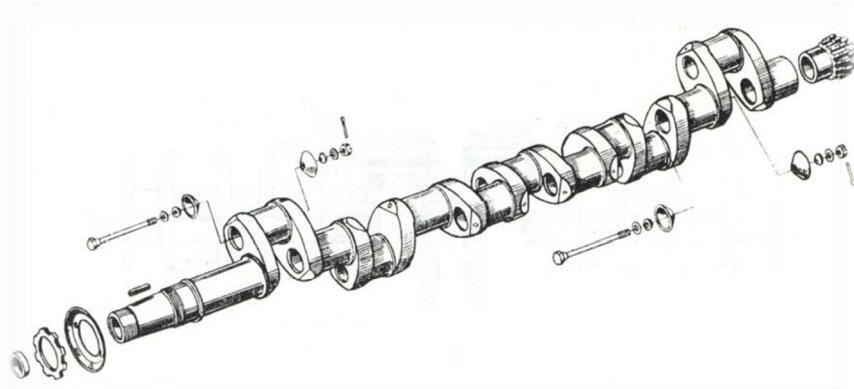
Ojnica sa skladá z troch častí: ojničná hlava, driek a ojničné oko. Ojnica spája piest spolu s kľukovým hriadeľom. Táto súčiastka je namáhaná

Obr.2.6 Kľukový mechanizmus (2)

1-piest, 2-čap, 3-ojnica,
4-kľukový hriadeľ

striedavo na ťah a tlak. Ojničné hlavy môžu byť delené (radové motory) a nedelené (hviezdicové motory).

Tvar kľukového hriadeľa závisí na počte valcov motora. Kľukový hriadeľ je uložený v motorovej skrini v klzných ložiskách. Samotný kľukový hriadeľ sa skladá z niekoľko častí: hlavných a kľukových čapov, ramien kľuky, predného a zadného konca. Na prednom konci je uchytená vrtuľa alebo reduktor, na zadnom konci väčšinou je skriňa náhonov (pohon agregátov).



Obr.2.7 Kľukový hriadeľ (2)

2.2.4 Rozvod

U piestových motorov rozvod zaisťuje plnenie valcov čerstvou zmesou a odvod spalín. Rozvod musí byť správne nastavený. Rozvod môže byť šúpatkový alebo ventilový, ten sa používa častejšie. Celý systém rozvodu sa skladá z:

- ventilov a ventilových pružín
- vahadiel, zdvíhacích tyčienok a zdvihákov
- vačkových hriadeľov, alebo vačkových kotúčov
- ozubených kôl náhonu

Ventily slúžia k uzavretiu sacích a výfukových kanálov. Ventily sa skladá z: taniera, ktorý svojim kuželovým okrajom dosadá do sedla ventilu a drieku ventilu, ktorý slúži na vedenie ventilu. Sací a výfukový ventil sú konštrukčne rozdielne. Výfukové ventily sú často plnené sodíkom.

Ventilové pružiny slúžia na dotlačenie ventilu do hlavy valca. Pružiny sú prevažne skrútkovité a na jeden ventil sú dve.

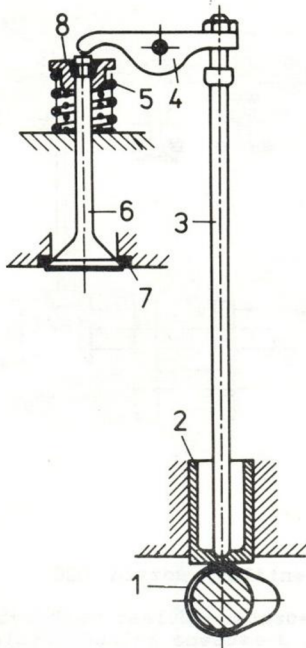
Vahadlo prenáša pohyb od zdvíhacej tyčinky alebo priamo od vačky na ventil. Vahadlo má upravené konce tak, že na jednom je upravené na dotyk zdvíhacej tyčinky alebo vačky a na druhej je upravené na dotyk s driekom ventilu. V mieste dotyku s driekom ventilu je väčšinou vahadlo vybavené s nastaviteľnou skrútkou, ktorou sa nastavuje ventilová vôľa.

Vačky ovládajú zdvih ventilov sú umiestnené buď na vačkovom hriadeľi (radový motor), alebo na vačkovom kotúči (hviezdicový motor). Tvar vačky zabezpečuje otváranie ventilov a tiež dobu, po ktorú je ventil otvorený.

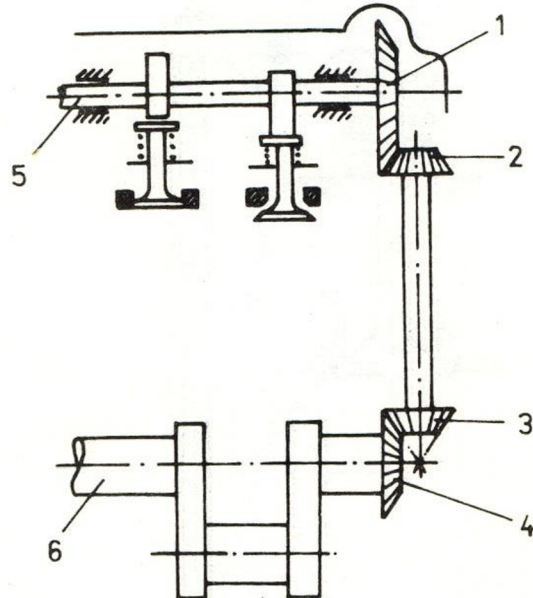
Najčastejšie sa používajú dva druhy rozvodov:

*Rozvod **OHV** s vačkovým hriadeľom v motorovej skrini-* ventily sú ovládané pomocou zdvihákov, zdvíhacích tyčínok a vahadiel

*Rozvod **OHC** s vačkovým hriadeľom v hlavách valcov-* Ventily sú ovládané priamo vačkovým hriadeľom, alebo len prostredníctvom vahadiel.



Obr.2.8 Rozvod OHV (2)
1-vačka, 2-zdvíhadlo,
3-zdvíhacia tyčinka,
4-vahadlo, 5- pružina, 6-ventil
7- sedlo ventilu, 8-tanier ventilu



Obr.2.9 Rozvod OHC (2)
1-ozubené kolesá vačkového hriadeľa,
2,3-ozubené koleso zvislého hriadeľa
4- ozubené koleso kľukového hriadeľa
5-vačkový hriadeľ, 6- kľukový hriadeľ

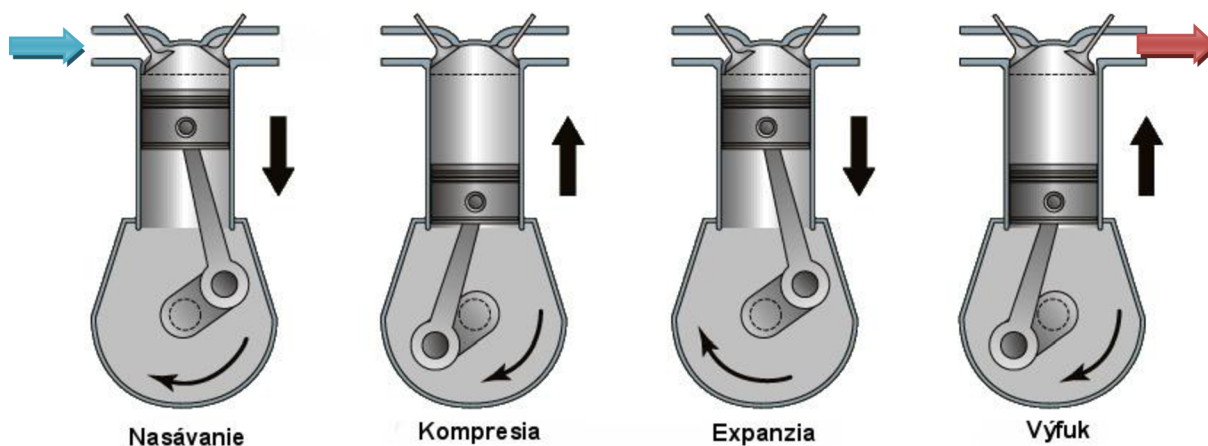
2.3 Princíp

Zmena objemu k uskutočneniu pracovného pochodu vo valci sa realizuje piestom spojeným ojnicoou s kľukovým hriadeľom. Piest vo valci sa pohybuje medzi dolnou a hornou úvratou. Jeden obeh sa uskutoční na štyri zdvihy piesta. Spalovací štvordobý motor ma štyri doby:

- Nasávanie (plniaci zdvih)
- Kompresia (kompresný zdvih)
- Expanzia (expanzný zdvih)
- Výfuk

Pri nasávaní vzniká podtlak a do valca sa cez otvorený sací ventil nasáva nová zmes paliva a vzduchu. Piest pri tomto zdvihu pohybuje z hornej úvrate do dolnej.

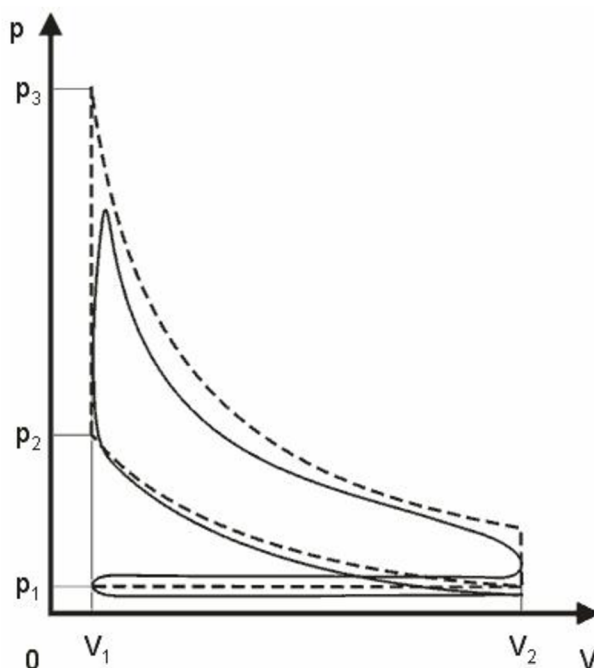
Kompresný zdvih teda kompresia začína tým, že sací ventil sa zatvára a vytvorí sa tesný priestor, v ktorom piest ide z dolnej do hornej úvrate a stláča zmes. Rastie tlak aj teplota. Presne pred dosiahnutím hornej úvrati sa zapáli zmes pomocou zapalovacej sviečky.



Obr.2.10 Doby piestového motora

Expanzia (pracovný zdvih) prebieha pri zatvorených ventiloch. Stlačená zmes sa zapáli a nastáva expanzia plynov, ktoré pôsobia na piest silou a nútia ho sa vrátiť do dolnej úvrate.

Na konci pracovného zdvihu teda expanzného sa otvára výfukový ventil a spaliny, ktoré vykonali energiu odchádzajú do okolia. Piest sa pohybuje do hornej úvrate a tým vytlača spaliny von. Keď sa piest blíži do hornej úvrate začne sa otvárať aj sací ventil, nastáva tzv. preplach spaľovacej komory.



Obr.2.11 p-V diagram piestového spaľovacieho motora (3) skutočný(plná čiara), ideálny(čiarkovaná čiara)

3. Spaľovací motor s rotačným piestom (Wankel)

3.1 História



Obr.3.1 Felix Wankel

V roku 1951 začal nemecký inžinier Felix Wankel (1902-1988) vyvíjať motor NSU Motorenwerke AG, kde v roku 1954 predstavil svoj rotačný motor (DKM 54, Drehkolbenmotor).

Inžinier Hans Dieter Paschke v roku 1957 postavil KKM 57 (Wankel, Kreiskolbenmotor). Prvý funkčný prototyp DKM 54 bol spustený 1. februára 1957 na NSU oddelenie výskumu a vývoja Versuchsabteilung TX.

V rokoch 1950 až 1960 bolo značné úsilie projektovania rotačných motorov. Vývoj a nasledovný rozvoj rotačného motora bolo vďaka jeho dobrým vlastnostiam hladkému, tichému chodu, hmotnosti spoľahlivosti vyplývajúcu z jeho jednoduchosti.

V Spojených štátoch, v roku 1959 na základe licencie od NSU, Curtiss-Wright propagoval drobné vylepšenia v základnej konštrukcii motora. V roku 1960, v Británii Rolls Royce Motor Car, propagoval dvojestupňovú dieselovú verziu motora Wankel.

Aj v Británii, Norton motocykle vyvinula Wankel pre motocykle, založený na vzduchom chladeným Wankelom.

Wankel bol najviac používaný v autách značky Mazda. Ďalej, boli neúspešné pokusy navrhnuť motor Wankel pre automobily od General Motors, ktorí došli k záveru, že motor Wankel bol o niečo drahší, než zabudovať zodpovedajúci piestový motor.

V roku 1961 sovietska výskumná organizácia Nati, NAMI a VNII motorom začala experimentálny vývoj a vytvorila experimentálne motory s rôznymi technológiami. Sovietsky výrobca automobilov AvtoVAZ tiež experimentoval s použitím motorov Wankel v autách. V roku 1974 vytvorili špeciálny dizajn motora a v roku 1978 navrhnutý motor bol označený ako VAZ-311. V roku 1980 začala spoločnosť dodávať Wankel, ktorý poháňal VAZ-2106s (VAZ-411 motor s dvoma rotormi) a Lady, väčšinou do bezpečnostných služieb, ktorých boli asi 200 kusov. Ďalšie modely, ktoré boli VAZ -4132 a VAZ-415.

Aviadvigatel - sovietska letecká konštrukčná kancelária je známa, že vyrába Wankel motory s elektronickým vstrekovaním pre letúne a vrtuľníky.

3.2 Konštrukcia

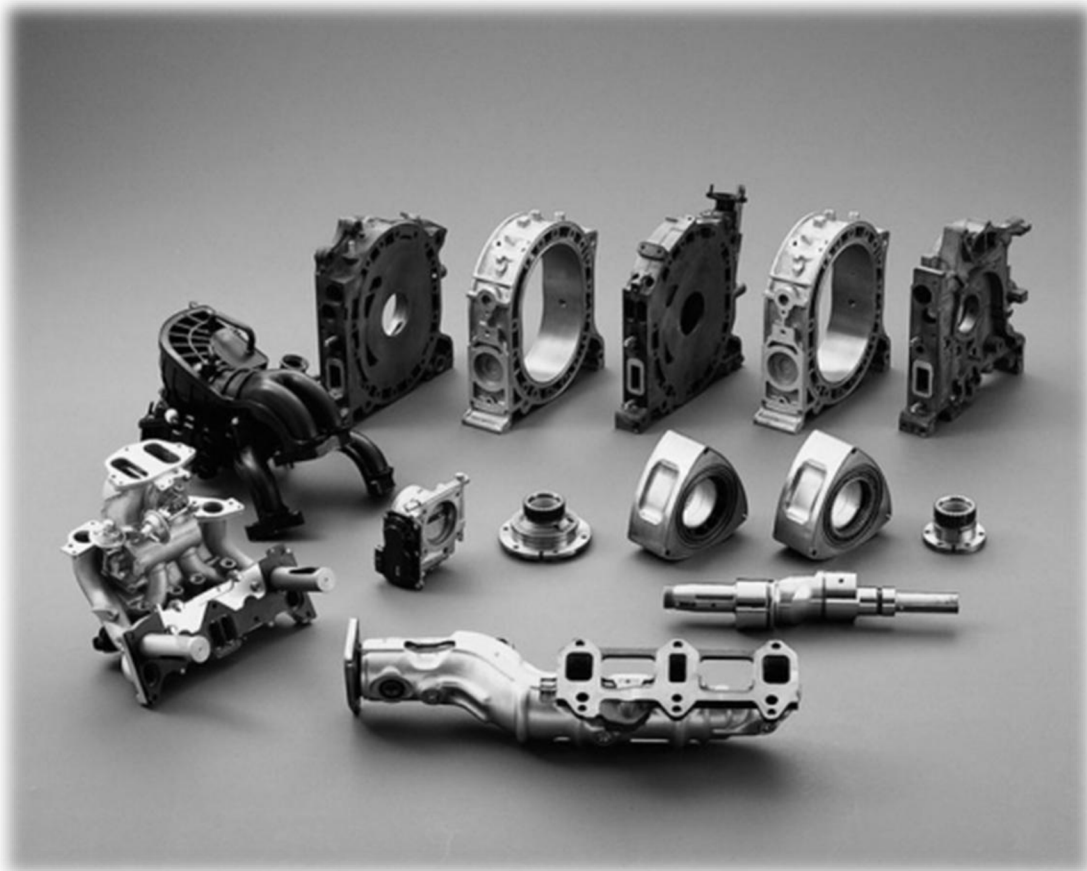
Konštrukcia rotačného motora je konštrukčne jednoduchšia a spoľahlivejšia kvôli tomu, že neobsahuje žiadne vačky a ventily. Hlavný pohyb rotačného motora je

rotácia, tento pohyb je veľké plus oproti pohybu u klasických piestových motoroch, kde je tento pohyb priamočiary vratný. Pri rotačnom motore sa rotujúce časti dôkladne staticky a dynamicky vyvážia a tým eliminujeme vibrácie, ktoré sú spôsobené priamočiarým vráteným pohybom u piestových motoroch.

U piestových spaľovacích motoroch sa piest spojený pomocou ojnice s klukovou hriadeľou pohybuje hore a dole. Tento motor mení priečnu silu na rotačnú silu. Keď piest dôjde do hornej úvrati, hriadeľ pôsobí na piest silou avšak úlohou motora je pracovať na hriadeľi. Cieľom rotačného motora je poháňať (točiť) hriadeľov. U rotačných motoroch je všetka sila generovaná rotorom, ktorá ide do hriadeľa. Preto väčšina rotačných motorov majú viac konských síl ako piestový motor rovnakej veľkosti. Niekedy je ten počet konských síl aj dvojnásobný.

Hlavné časti rotačného motora:

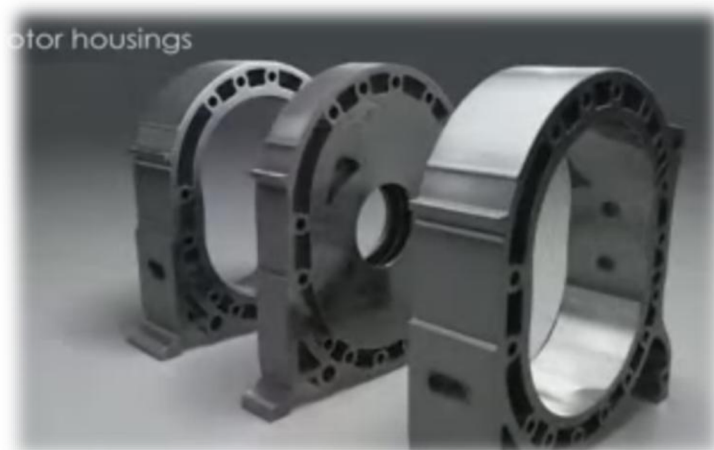
- blok motora
- stredná časť
- rotor
- excentrický hriadeľ
- spaľovacia priehlbina a vrchol spojov
- sacie a výfukové potrubie
- zapal'ovacia sústava
- vstrekovacia jednotka



Obr.3.2 Jednotlivé časti dvojrotorového rotačného motora

3.2.1 Blok motora

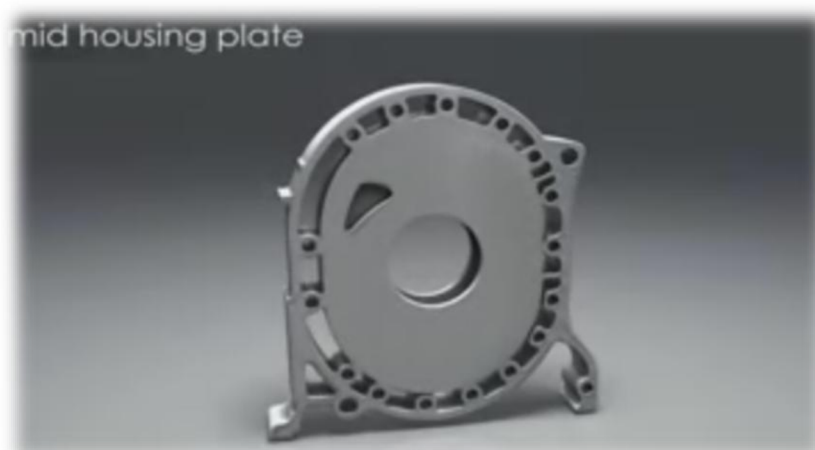
Vytvára spaľovaciu komoru a priestor, kde rotuje rotor v časti krytu sa nachádzajú zapalovacie sviečky, nasávací a výfukový ventil. Tvorí oválne-epitrochoidne tvarovaný základ. Skladá sa z dvojitých stien ako pri spaľovacom motore, ktoré vyplní chladiaca kvapalina.



Obr.3.3 Blok dvojrotorového rotačného motora

3.2.2 Stredná časť

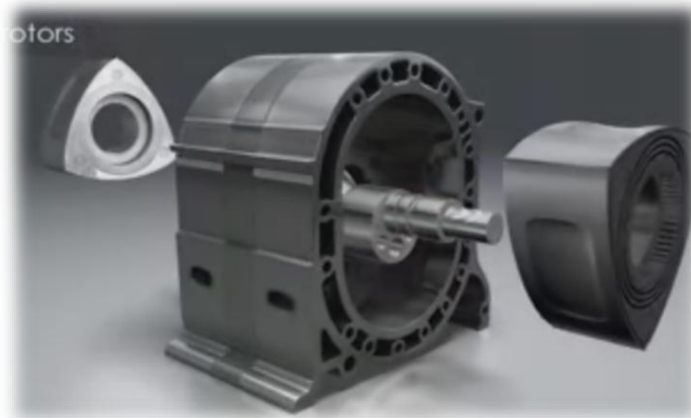
Rozdeľuje rotačný motor na dve časti cez ktoré prechádza excentrický hriadeľ, zároveň sa podieľa na chladení a mazaní piestov. Spolu s predným krytom uzatvára spaľovaciu komoru. V strednom kryte sú otvory na prívod chladiacej kvapaliny, ktorá zabezpečuje chladenia piestov (rotora).



Obr.3.4 Stredná časť rotačného motora

3.2.3 Rotor

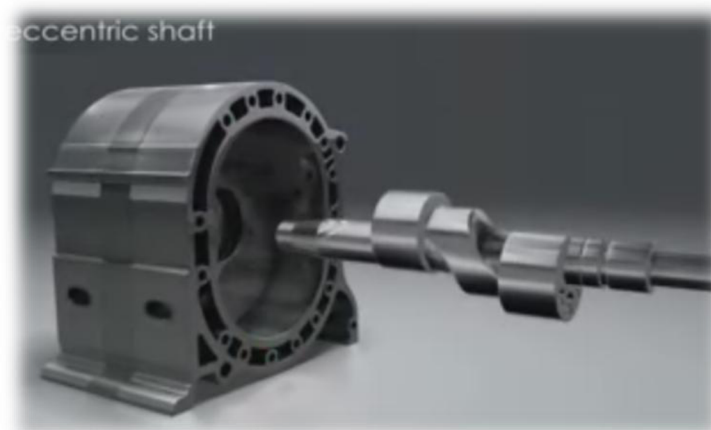
Rotor ma troj-stranný symetrický tvar je to rotujúci článok v statore a prenáša krútiaci moment na excentrické koleso. Tento trojhranný rotor rotuje v strede elipsovitého statora, čím obsahuje menej pohyblivých častí a tým sa zvyšuje jeho životnosť. Rotor pri svojej štvordobej činnosti opisuje eliptickú dráhu. Z vnútornej strany je rotor vybavený ozubením, ktoré určuje daný eliptický pohyb.



Obr.3.5 Rotor

3.2.4 Excentrický hriadel'

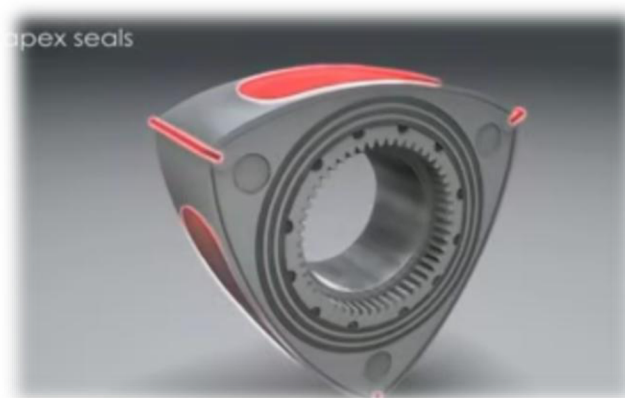
Ústredný hnací hriadel', tzv excentrický hriadel' prechádza stredom rotora a je podporovaný pevnými ložiskami. Excentrický hriadel' ma obdobnú funkciu ako klukový hriadel' v klasickom piestovom motore, teda prenáša krútiaci moment z rotora do reduktora a cez reduktor je poháňaná vrtul'ová jednotka.



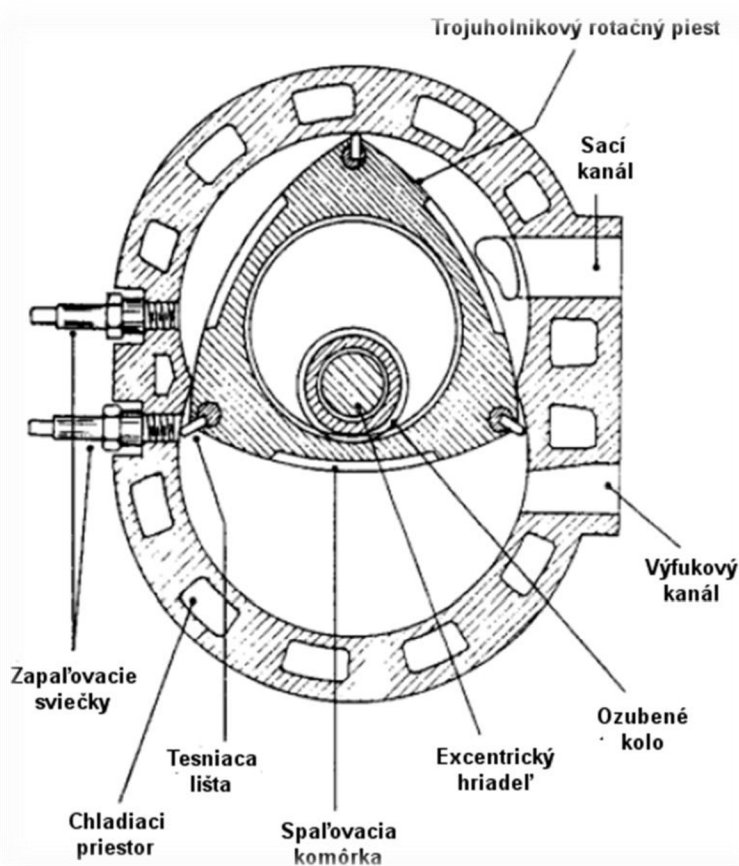
Obr.3.6 Excentrický hriadel'

3.2.5 Spaľovacia priehlbina a vrchol spojov (tesnenia)

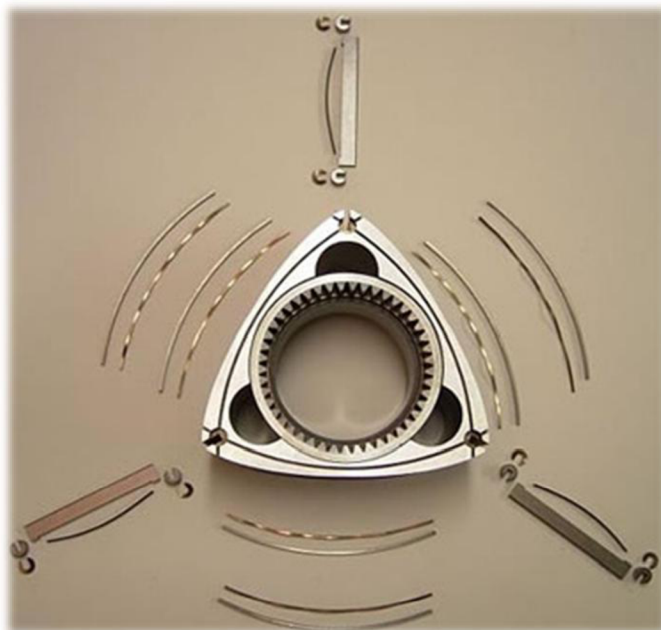
Je časťou rotora. V podstate pracuje na rovnakom princípe ako u benzínových motoroch. Pri vstreknutí paliva so vzduchom do spaľovacej priehlbiny sa zmes rozvíri čo je hlavnou funkciou priehlbiny. Dochádza tak k lepšiemu horeniu zmesi. Nie veľmi dobre tesní piest, pretože jeden tesniaci prúžok má úlohu viacerých piestových krúžkov v porovnaní s klasickým motorom. V podstate jeden krúžok zároveň tesní, a stiera.



Obr.3.7 Rotor s zvýraznenou spaľ. priehlbinou a vrcholmi rotora (tesnenia)



Obr.3.8 Rez rotačným motorom



Obr. 3.9 Rotor a jeho tesnenia (8)

3.3 Princíp

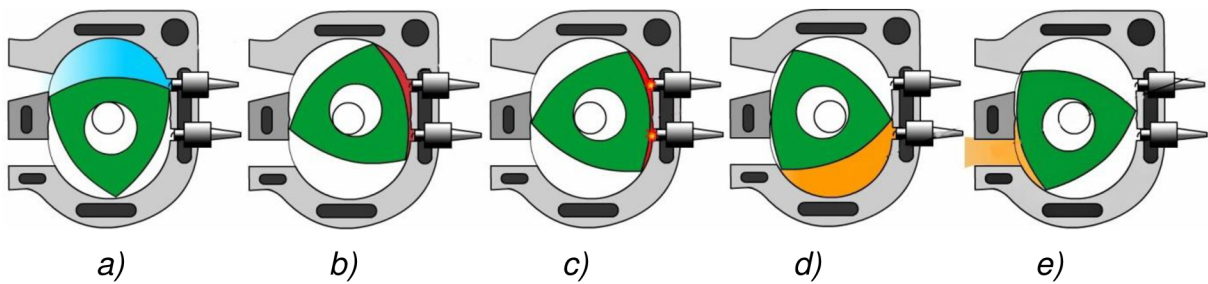
V tomto motore prebiehajú štyri pohyby typického Ottovho cyklu. U klasického piestového motora tieto cykly prebiehajú v spaľovacom priestore medzi piestom a stenou valca u rotačného motora je to obdobné, prebieha to medzi rotačným piestom (rotorom) a stenou bloku motora. Z konštrukčného hľadiska je tvar rotoru a statoru navrhnutý, tak, aby bola dosiahnutá minimalizácia objemu geometrickej spaľovacej komory a maximalizácia kompresného pomeru. Rotor sa pohybuje vo výstredníku (podobne ako kľučky), integrálne s excentrickým hriadelom (podobne ako kľukový hriadel'). Rotor sa točí excentricky okolo výstredníka a obieha okolo excentrickej hriadele. Na rohoch rotoru sú tesnenia, ktoré zaručujú tesnosť spaľovacieho priestoru a delia motor na tri pohybujúce sa spaľovacie komory. Ako sa rotor otáča a orbitálne obieha, každá strana rotoru sa dostáva bližšie a ďalej od steny základne, stláča sa a expanduje spaľovacia komora podobne ako pohyby piesta piestového motora.

U klasického štvortaktného piestového motora je jeden spaľovací takt na valec pre každé dve otáčky kľukového hriadeľa. Výhodou rotačného motora je, že každá spaľovacia komora vytvára jeden takt na každú rotáciu hnacieho hriadeľa t.j. tri takty na jedno otočenie hriadeľa.

Wankel motor má vyšší výkon ako klasický spaľovací motor. Wankel motory majú tiež všeobecne oveľa vyššie maximálne otáčky ako piestové motory podobného výkonu. Je to čiastočne spôsobené hladkosťou spojení kruhových pohybov, ale hlavne preto, že nemajú vysoko namáhané diely, ako sú kľukové hriadele alebo ojnice.

Fázy rotačného motora:

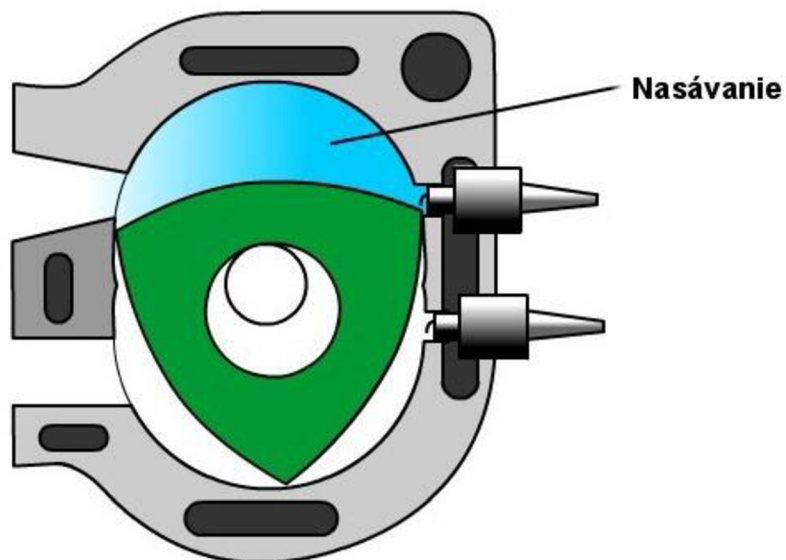
- nasávanie
- kompresia
- zapálenie
- expanzia
- výfuk



Obr. 3.10 Fázy rotačného motora
a) Nasávanie b) Kompresia c) Zapálenie d) Expanzia e) Výfuk

3.3.1 Nasávanie

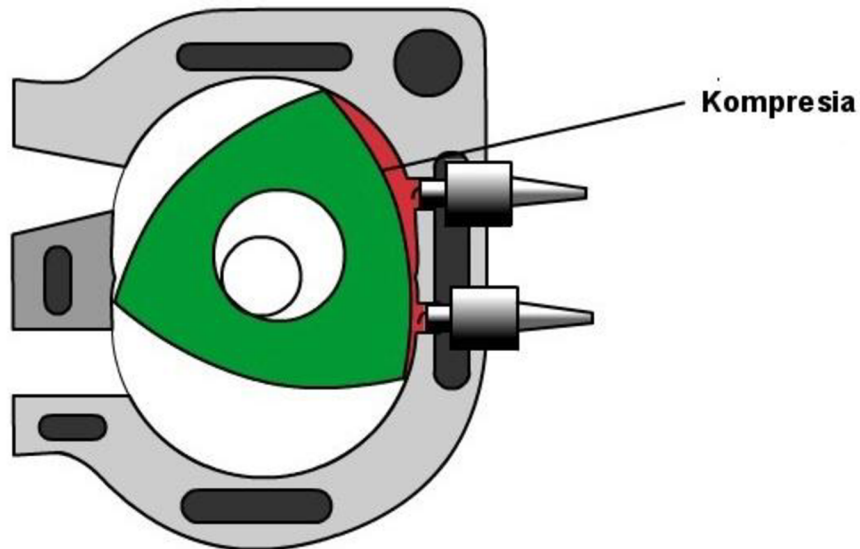
Fáza cyklu nasávanie začína, keď špička rotora prechádza cez sací kanál. V okamihu keď špička prejde sací kanál je hodnota objemu komory minimálna. Rotor sa pohybuje a objem začne rásť a nastáva v komore podtlak, teda nasáva zmes (vzduch + palivo). Keď ďalšia špička rotora prejde cez sací kanál, spaľovací priestor sa uzavrie a nastáva ďalšia fáza cyklu kompresia.



Obr.3.11 Nasávanie

3.3.2 Kompresia

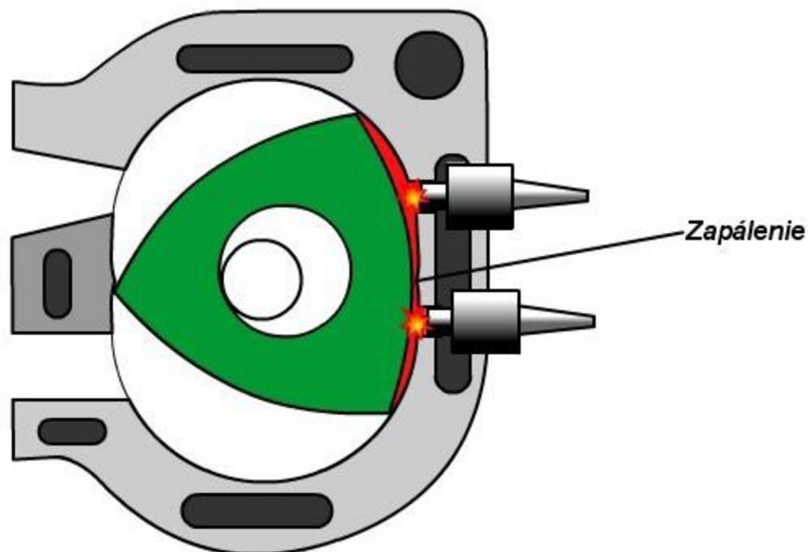
Keď po nasávaní sa spaľovací priestor uzavrie tak sa rotor pohybuje tak, že sa objem komory znižuje, teda zvyšuje sa tlak medzi rotorom a blokom motora, keď čelo rotora bude oproti zapalovacím sviečkam, vtedy je zas minimálny objem. Pri tomto deji sa teda znižuje objem, ale zvyšuje tlak a teplota. Po kompresii nastáva zapálenie.



Obr.3.12 Kompresia

3.3.3 Zapálenie

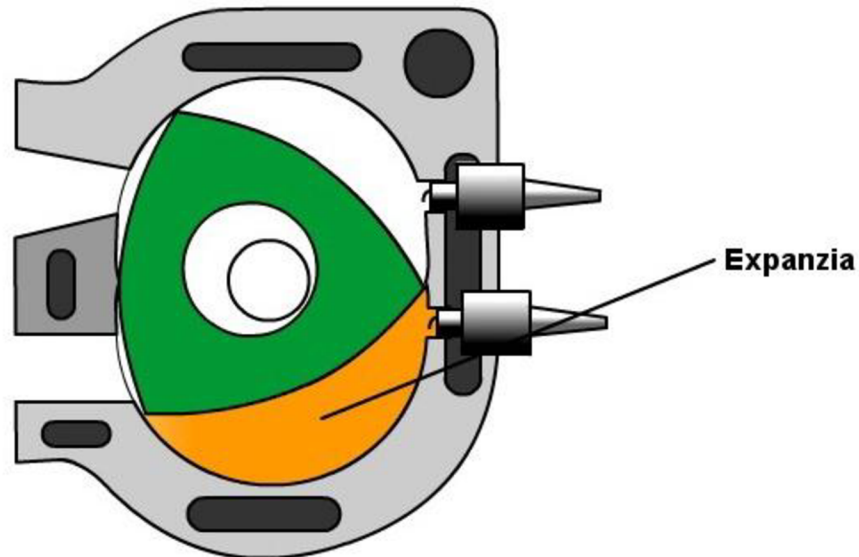
Výbuch je vlastne zapálenie zmesi pomocou zapalovacej sviečky. Väčšina rotačných motorov má dve zapalovacie sviečky. Spaľovacia komora je dlhá, takže plameň by sa rozšíril príliš pomaly, ak by tam bola len jedna sviečka.



Obr.3.13 Zapálenie

3.3.4 Expanzia

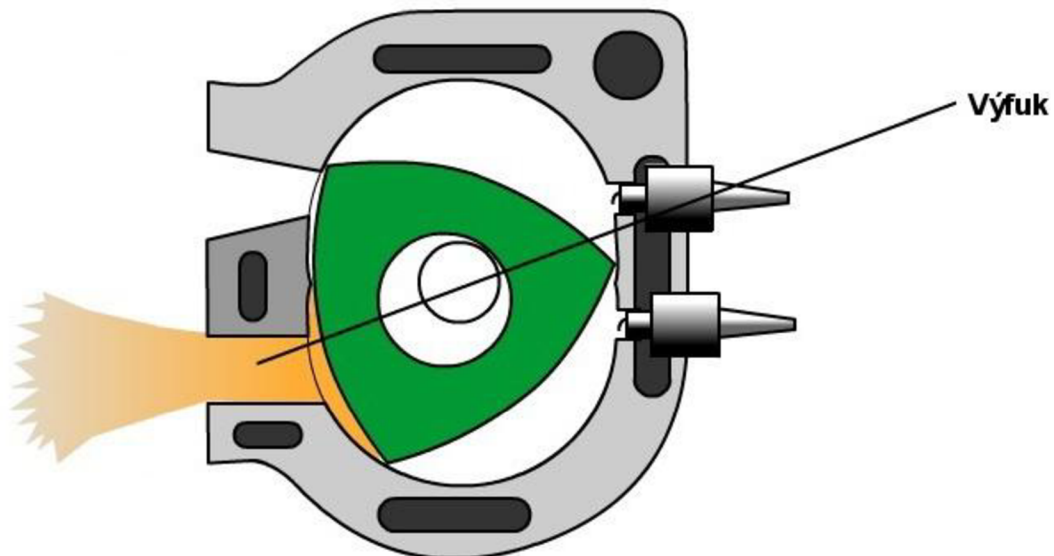
Po zapálení zmesi pomocou zapalovacích sviečok nastáva expanzia. Zmes po zapálení zvýši tlak a teplotu. Tlak zhorenej zmesi (spalín) núti rotor sa pohybovať v smere, ktorý umožňuje rast objemu komory. Po expanzii nastáva výfuk - posledná fáza cyklu.



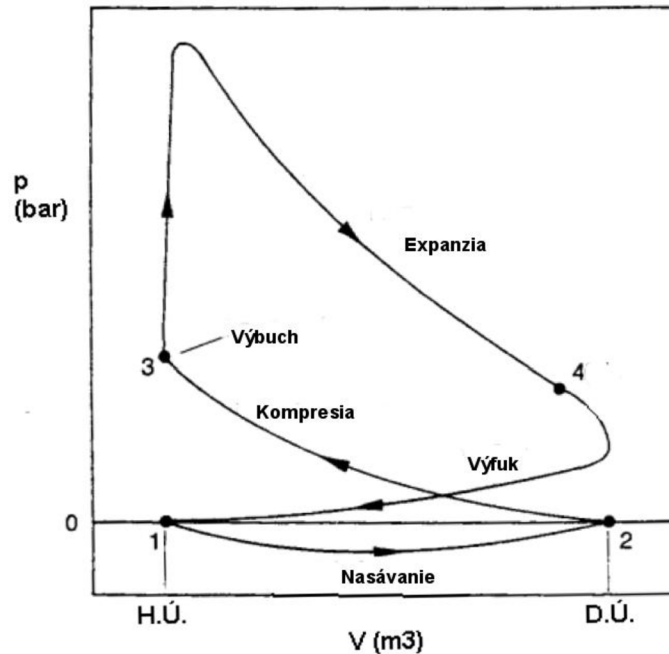
Obr.3.14 Expanzia

3.3.5 Výfuk

Zhorená zmes, teda spaliny po expanzii odchádzajú do atmosféry cez výfukový kanál. Táto fáza začína, keď špička rotora prechádza cez výfukový kanál. Na začiatku spaliny voľne prúdia do atmosféry, rotor sa pohybuje a znižuje objem komory a tým potom vytláča spaliny. V čase, keď objem komory sa blíži k minimálnemu objemu, vrchol rotora prejde do sacieho kanála a celý cyklus začína znova.



Obr.3.15 Výfuk



Obr.3.16 p-V diagram spaľovacieho motora (3)

3.4 Výhody a nevýhody

Výhody

Rotačné motory majú niekoľko zásadných výhod oproti piestovým. Tieto výhody sú z konštrukčného, veľkostného, hmotnostného a taktiež z výkonového hľadiska. Konštrukcia rotačných motorov je jednoduchšia a obsahuje menej pohyblivých častí. Tieto motory nemajú žiadne ventily, ani veľmi namáhané časti ako sú ojnice a klukové hriadele, pretože krútiaci moment je z rotora prenášaný priamo na hriadeľ. Tým, že neobsahuje časti, ktoré sú v piestovom motore vyniká aj menšou hmotnosťou a menšími rozmermi. Tento motor pracuje vo veľkých otáčkach vďaka tomu, že nevznikajú také vibrácie ako u klasických motoroch. Rotačné motory sú odolnejšie voči prehriatiu. Táto vlastnosť zvyšuje bezpečnosť u leteckých rotačných motoroch.

Ďalšou výhodou motoru Wankel pre použitie v letectve je menšia čelná plocha oproti piestovým motorom s rovnakým výkonom. Jednoduchosť konštrukcie a menšej veľkosti motoru Wankel tiež umožní úsporu nákladov na výstavbu, v porovnaní s piestovými motormi porovnateľným výkonom. Ďalšou výhodou je tvar spaľovacej komory, ktorá umožňuje použitie paliva s veľmi nízkym oktánovým číslom, alebo vodíka. Táto výhoda môže viesť k možnosti továrni, aby vyrábala na vodíkový pohon Wankel motor.

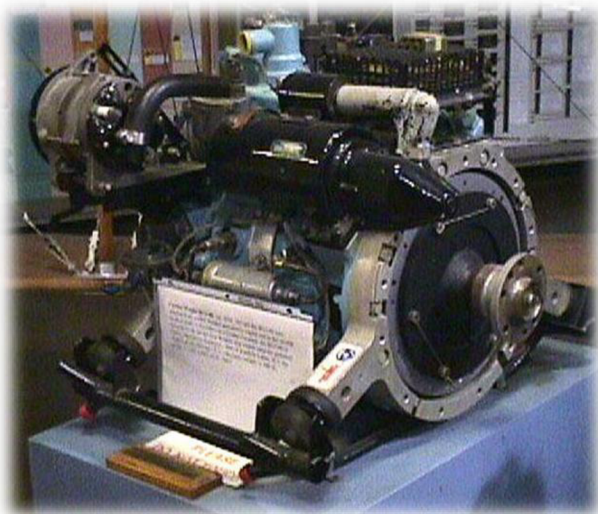
Motor Wankel je takmer imúnny voči katastrofálnemu zlyhaniu. Wankel, ktorý stráca kompresiu, chladenie alebo tlak oleja stratí veľké množstvo energie, ale určitý čas bude vyrábať nejakú silu. Piestové motory sú za rovnakých podmienok náchylné na zadrenie a okamžitú stratu sily. Vďaka tejto vlastnosti sú tieto motory vhodné pre letectvo.

Nevýhody

Konštrukcia motora Wankel vyžaduje veľmi dobre utesnenie spaľovacieho priestoru. Najväčší problém je s utesnením medzi rotorom a blokom motora. Ďalší nedostatok je vyššia spotreba a horšie hodnoty emisii ako u piestových motoroch. Tvar spaľovacej komory vedie k nedokonalému spaľovaniu zmesi, pričom zostávajúce nespálené uhľovodíky sú prepustené do výfuku. Na rozdiel od piestového motora, kde je valec chladený prichádzajúcou novou zmesou po zahriatí pri spaľovaní u rotačného motora zahrievanie nastáva stále na jednej strane a chladenie na druhej strane. Toto vedie k veľmi vysokým rozdielom teplôt a tým nerovnomernej tepelnej rozťažnosti. To kladie vysoké nároky na použité materiály.

3.5 Aplikácia v letectve

Prvé rotačné motory v leteckom priemysle začali v rokoch 1968 až 1970. Prvé lietadlo s rotačným motorom bol experimentálny Lockheed Q-Star civilná verzia americkej armády prieskumu QT-2. V podstate poháňal Schweizer vetrone, v roku 1968 až 1969. To bolo poháňané 185 hp (138 kW) Curtiss-Wright RC2-60 Wankel rotačný stroj. Hlavnou výhodou týchto motorov v lietadlách je bezpečnosť, plynulosť chodu, malá hmotnosť, malé rozmery, väčšia životnosť a veľký výkon.



Obr.3.17 Curtiss-Wright RC2-60 (9)

V dnešnej dobe je veľa ľudí, ktorí majú letectvo ako koníček a stavajú si rôzne ultralight lietadlá, do ktorých prispôsobujú Mazda rotačné motory. Tieto rotačné motory sa využívajú pre malé a stredné lietadlá. V minulosti nevýhodou leteckých rotačných motorov bola práve vysoká spotreba, teda bol malý dolet lietadla vzhľadom k určitému množstvu paliva, ktoré lietadlo uvezie. Ale dnes vďaka digitálnemu systému riadenia motora sa spotreba podarila znížiť na úroveň, ktorá je porovnateľná s piestovými motormi.

V roku 2001 sa vyrobil rotačný motor Mistral pre lietadlá a vrtulníky s výkonom 148kW a hmotnosťou len 132 kg a 220kW s hmotnosťou 177 kg. Palivá pre tieto

motory sú automobilový (mogas) a letecký benzín (Avgas). Do budúcnosti pre ďalšiu radu motorov Mistral chcú využiť leteckého petroleja (JET-A1)

Tieto motory pracujú v pomerne vysokých otáčkach (6000-8000ot/min), preto je použitá redukčná prevodovka aby znížila otáčky vrtule tak, aby obvodová rýchlosť vrtule bola podzvuková (2100-2500ot/min). Rotačné motory majú výhodu v letectve aj vzhľadom na životnosť. Pri poruche rotačného motora nastáva pomalá strata výkonu, takže vzhľadom k bezpečnosti je to veľké plus pre bezpečnosť letu.



Obr.3.18 Rotačný motor MISTRAL (19)

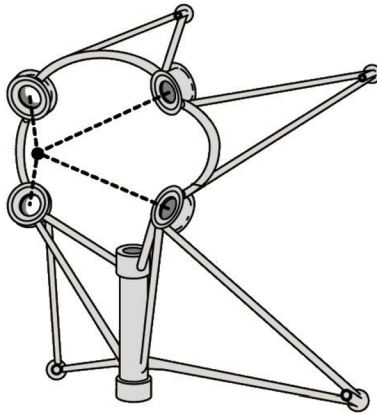
3.6 Zástavba do lietadla

Zástavba rotačného motora spočíva v správnom uchytení na drak lietadla a vytvorení kapoty motora. Táto zástavba je obdobná ako u piestového motora, odlišuje sa len maličkosťami.

3.6.1 Motorové lôžko:

Motorové lôžko spája pohonnú jednotku s drakom lietadla. Musí vyhovovať týmto požiadavkám:

- vhodné umiestnenie pohonnej jednotky a pomocných sústav a voľný prístup k nim pri montáži, prevádzke i opravách
- malá hmotnosť pri dostatočnej pevnosti, tuhosti a odolnosti voči vyšším teplotám
- umožnenie vhodnej kapotáže motora
- jednoduché spoje zaisťujúce ľahkú a rýchlu výmenu motora a jednotlivých častí
- pružné pripevnenie motora k lôžku alebo lôžka k draku, pohlcujúce vibrácie spôsobené od motora a vrtulovej jednotky



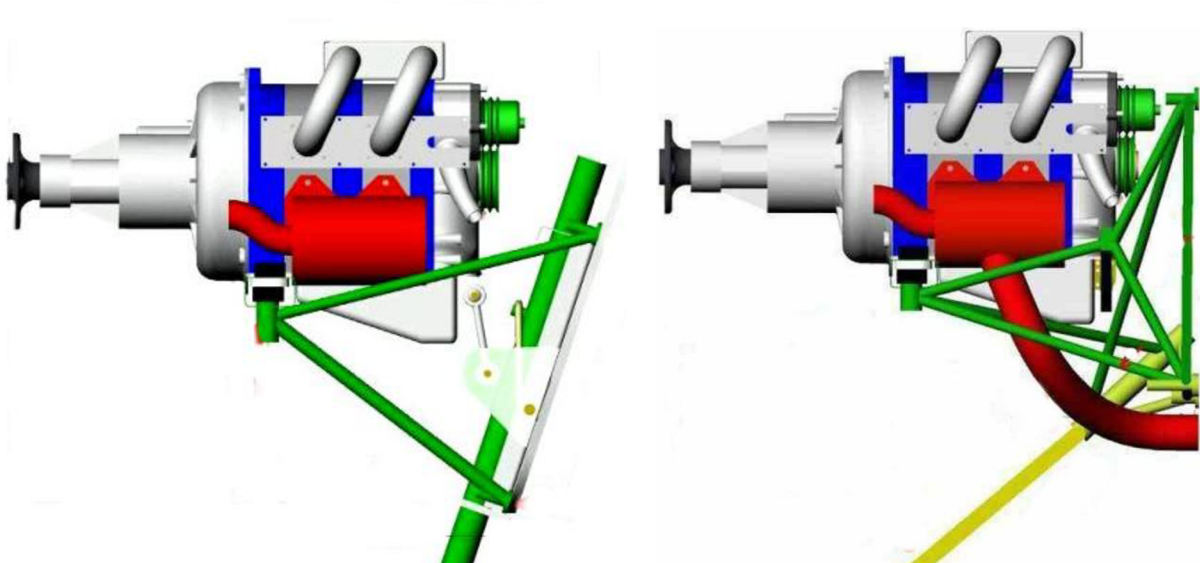
Obr.3.19 Motorové lôžko s úchytom na podvozok

Na motorové lôžko pôsobia tieto zaťaženia:

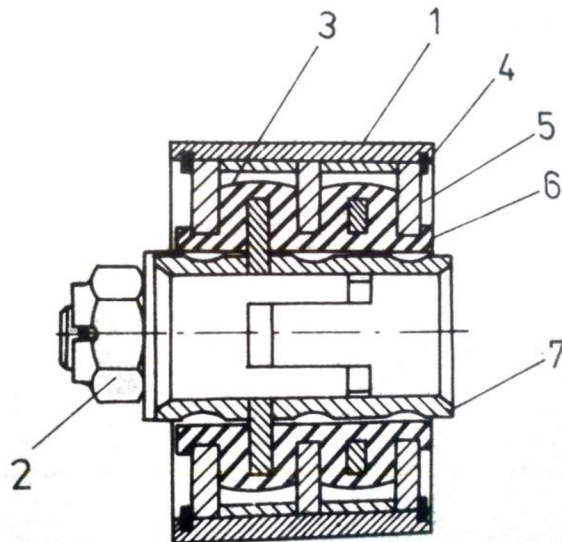
- tiaž pohonnej jednotky so všetkými ústrojenstvami, krytmi a súčiastkami spájajúcich motor s drakom
- ťah vyvolaný vrtuľou
- zotrvačné sily pri neustálom lete
- reakčný moment vrtule a gyroskopické momenty pri obratoch lietadla počas letu

Konštrukcia motorového lôžka:

Vyrábajú sa z ocelových rúrok, ocelových profilov alebo nosníkov z hliníkových alebo horčíkových zliatin. Konštrukcia je väčšinou zváraná, neodporúča sa ohýbať, pretože v mieste ohybu môže dôjsť v prevádzke k lomu. Motorové lôžko je namáhané vibráciami motora a hlavne od vrtule, ktoré môžu vyvolať zložité kmitanie. Žiadna z vlastných frekvencií lôžka nesmie byť blízka frekvencii impulzov pohonnej jednotky pri prevádzkových otáčkach. Vlastnú frekvenciu lôžko možno znížiť zmenšením tuhosti lôžka pomocou tlmičov. Tlmiče môžu byť umiestnené v miestach spojenia lôžka a motora, alebo tam kde je upevnené motorové lôžko na lietadlo.



Obr.3.20 Rotačné motory spolu s uchytením (motorové lôžka) (8)



Obr.3.21 Tlmič medzi motorom a lôžkom (2)
 1-púzdro tmiča v nosníku motorového lôžka,
 2-matica. 3-distančné krúžky, 4-poistka,
 5-čelo tmiča, 6-guma tmiča, 7-vložka tmiča

3.6.2 Motorové kryty:

Motorové kryty tvoria časť povrchu lietadla. Umožňujú plynulý prechod trupu alebo krídla k pohonnej jednotky. Na kryty sú kladené tieto požiadavky:

- aerodynamický odpor spôsobený vstavaním pohonnej jednotky musí byť minimálny a musí zaisťovať dobré chladenie motora a jeho ústrojenstva pri všetkých režimoch letu a musí byť tesný
- kryty motora a rôzne otvory mechanizmov sa musia ľahko snímať
- kryty musia byť dostatočne pevné a tuhé pri minimálnej veľkosti
- nesmú zachytávať palivo a olej unikajúce z motora



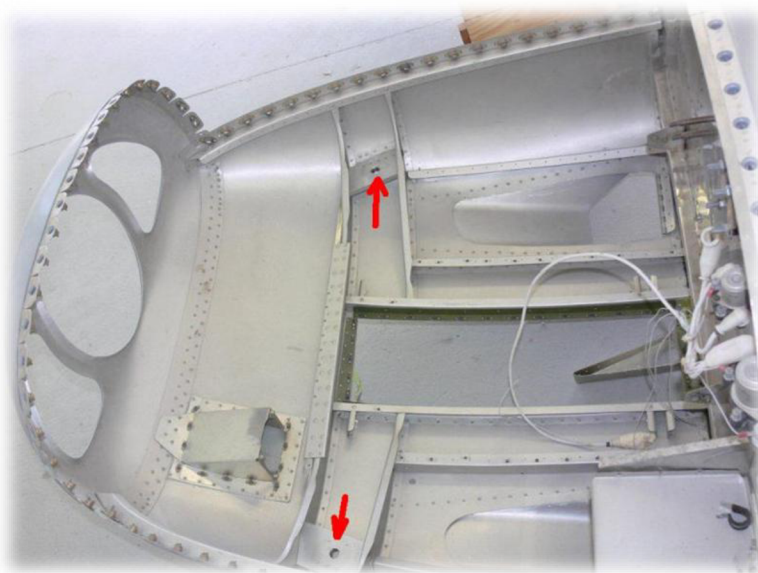
Obr.3.22 Rotačný motor po demontáži horného motorového krytu (8)

Rozdelujeme motorové kryty na:

- motorové kryty samonosné
- motorové kryty s nosnou kostrou

Motorové kryty samonosné

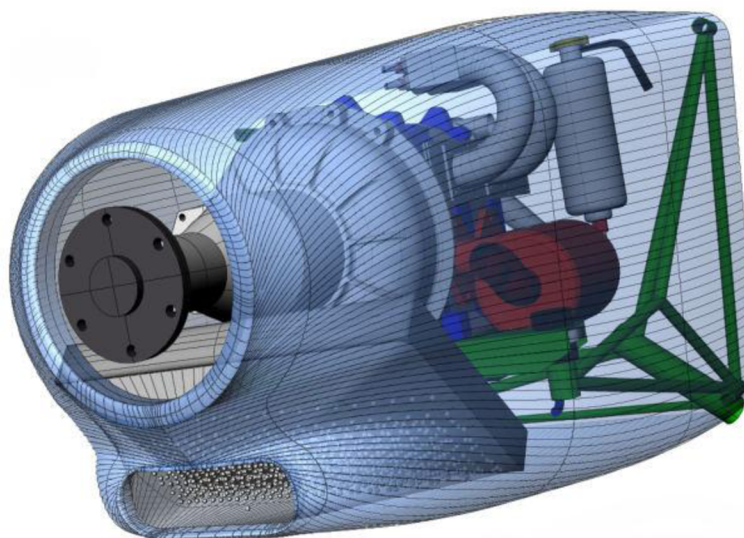
Tieto kryty majú dostatočne tuhé odmontovateľné časti, u ktorých kostra tvorí len pomocnú nosnú časť. Duralové plechy motorových krytov sú vystužené tvarovými profilmi a výstuhami tak, že schopné prenášať aj veľké zaťaženia, pôsobiace na ich plochu. Vďaka tomu nevyžadujú také kryty veľa prepážok v motore priestore a zaisťujú aj pri veľkých rozmeroch motora ľahký prístup k jeho častiam a agregátom. Zároveň sa vďaka svojej tuhosti nedeformujú ani pri väčších rýchlostiach, pri ktorých vznikajú pomerne veľké aerodynamické sily.



Obr.3.23 Samonosný spodný motorový kryt (8)

Motorové kryty s nosnou kostrou

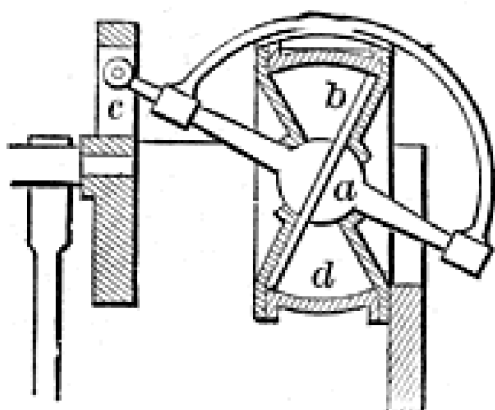
Nosná kostra (rám) je upevnený z časti na motorovom lôžku a z časti draku lietadla. Odmontovateľné kryty sú len z tenkých plechov z ľahkých zliatin, nie sú nijako obzvlášť vystužované a k rámu sa upevňujú skrutkovými spojmi. Samostatný plechový kryt je pravidla pevne s rámom spojená predná, horná a spodná časť. Otočne uložené kryty sú bočné. Tieto kryty sa dajú otvárať a v zavretej polohe sú zaistené pomocou rýchlo zámkov. Styčné plochy otvárateľných krytov sú opatrené koženkou, aby nedochádzalo k oteru styčných plôch.



Obr.3.24 Počítačovo navrhnutý motorový kryt pre rotačný motor (8)

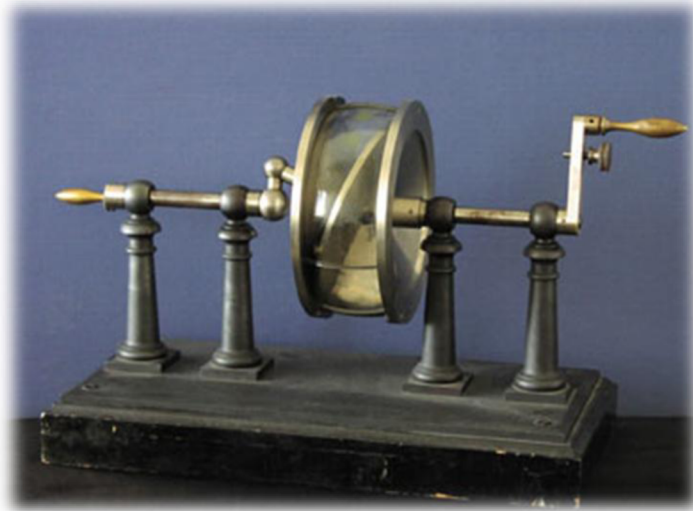
4. Nekonvenčná koncepcia spaľovacieho motora (Nutating)

4.1 História



V roku 1820 James Dakeyne spolu z Darley Dale navrhli a postavili hydraulický motor (kotúčový). George Davies a Henry Taylor v roku 1836 patentovali parou poháňaný motor, ktorý mal disk založený na dizajne Dakeynsa. Tento motor bol vybavený ventilmi na ovládanie vstupu pary a tiež sa líšil od verzie Dakeynsa v tom, že os bola horizontálna a kryt motora sa otáčal okolo disku takže opak originálu. V priebehu ďalších ôsmich rokoch nasledovali ďalšie patenty. V roku 1836 Davies a Taylor

poskytli výrobné práva pre motor. Už v roku 1841 bolo vyrobených 26 motorov o výkone 10 Hp. Tieto motory boli väčšinou pre železničnú dopravu. Ďalej bol záujem o tieto motory v parných elektrárnach. Ďalší patent vznikol v roku 1996 poskytnutom Leonardom Meyerom. Tento patent sa zaujímal pravé o nutating motor. Pri tomto patente nebol žiadny odkaz na Dakeynsov motor, alebo mnoho iných, ktoré boli postavené skôr. Napriek tomu je tam podobnosť s jeho predchodcami. Líši sa moderným dizajnom a tým že je prispôbený k behu spaľovacieho motora. Najväčšou zmenou je, že disk nie je plocha, ale skladá sa z dvoch častí. Americká armáda v roku 2001 podpísala zmluvu na financovanie rozvoja tohto typu motora. Chceli ho využiť na UAV (bezpilotné lietadla) z dôvodu ich malej hmotnosti a výkonu. V roku 2006 NASA vydala súhrnu správu o nutating motore.

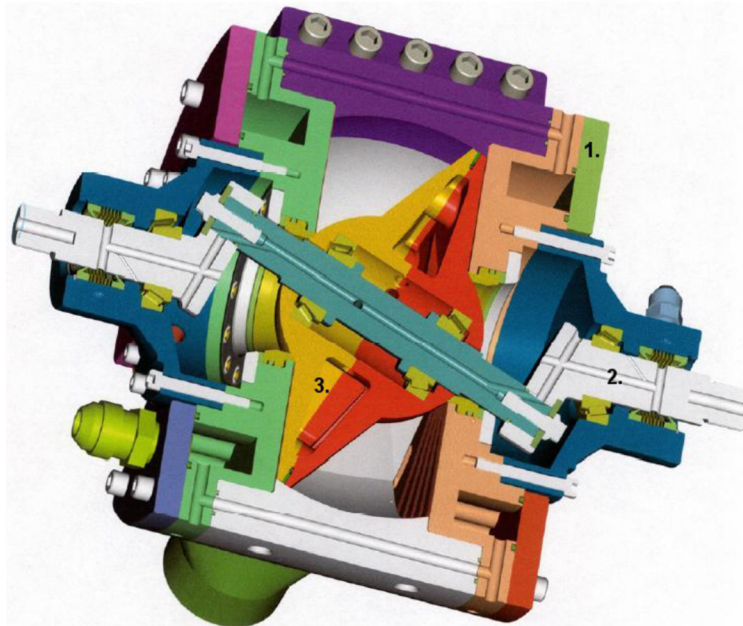


Obr.4.1 Diskové čerpadlo Georga Daviesa

4.2 Konštrukcia

Konštrukcia nutating motoru nie je analogická s rotačným motorom (Wankel). Disk motora sa neotáča. Tento motor sa dá prirovnať k podrobnostiam motora s plynovou turbínou, kde je kompresor, spaľovacia komora a expander (turbína). Hlavné časti nutating motora:

- blok motora
- hriadel' v tvare Z
- disk
- ventily
- tesnenia

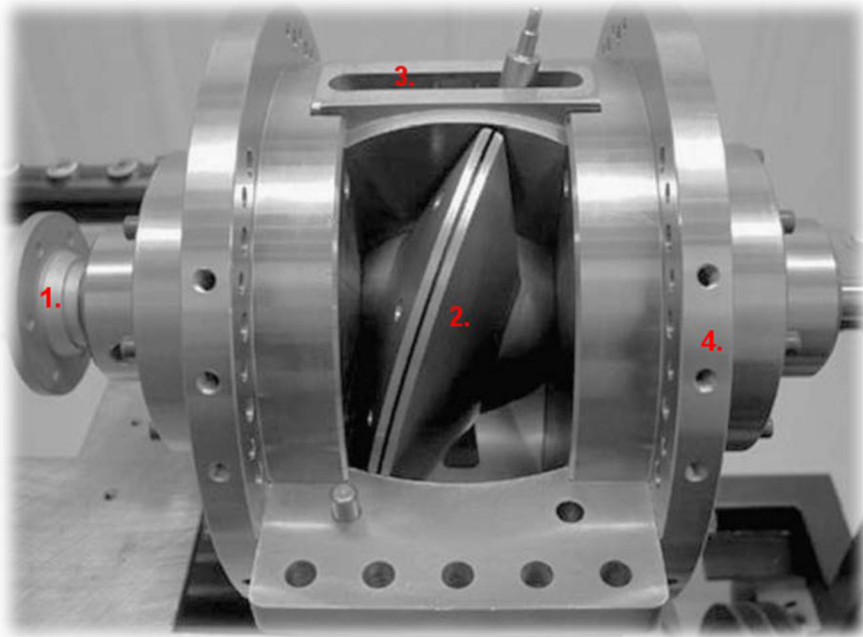


*Obr.4.2 Nutating motor v reze (15)
1- Blok motora, 2- Z-hriadel', 3- Disk*

Tento motor ma tri pohyblivé časti (hriadel', disk a ventile, ktoré sú ovládané elektricky), ktoré nahradia veľké množstvo dielov u piestového motora.

Disk sa skladá z dvoch častí, ktoré sú spojené. Rozdeľuje sa na dve časti (laloky). Blok motora a disk vytvárajú dve komory. Jedna slúži na nasávanie novej zmesi a na kompresiu a druhá je na expanziu a výfuk. Je uložený šikmo na ložiskách ktoré sú na Z-hriadeli. Disk je obmedzený voči rotačnému pohybu pomocou dvoch čapov, ktoré sa pohybujú v drážkach bloku motora.

Z-hriadel' je uložený v ložiskách a je v tvare Z. Pri činnosti sa tento hriadel' otáča, a vďaka tvaru hriadel'u disk vykonáva kolísavý pohyb.



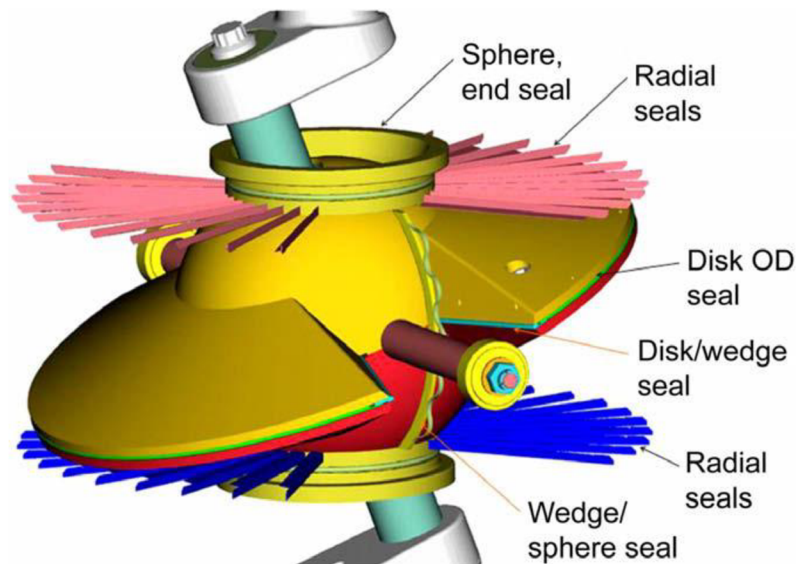
*Obr.4.3 Nutating motor (15)
1- Z-hriadel' s prírubou, 2- Disk,
3- Drážka pre vedenie čapu, 4- Blok motora*

Komory, ktoré sú vytvorené diskom a blokom motora musia byť utesnené. V tomto motore sa nachádzajú tri sady tesnení.

Prvé tesnenia sú medzi plochou časťou disku a stredom bloku motora v blízkosti a kolmo na hriadel' (Sphere, end seal). Toto tesnenie je tam kvôli tepelnej rozťažnosti a utesneniu tlaku.

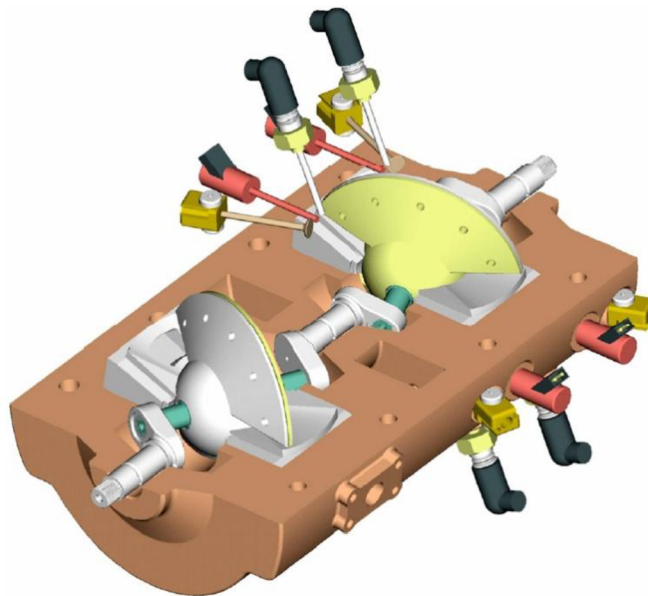
Druhé tesnenia sú medzi špičkou disku a blokom motora. Ide o dvojdielne tesnenie s kovovými pružinami (Disk OD seal). Od stredu disku je dopravovaný olej na tieto tesnenia. Ďalšie tesnenia rovnakého druhu sú medzi stredom disku a blokom motora. Taktiež sú dvojdielne a vystužené kovovou pružinou (Wedge/sphere seal).

Tretím typom sú radiálne tesnenia (radial seal).



Obr.4.4 Disk a jednotlivé tesnenia (15)

Pre pochopenie jednotlivých operácií tohto motora bol z konštruovaný zjednodušený model. Tento motor má dva disky, prvý disk je na nasávanie a kompresiu, druhý na expanziu a výfuk.

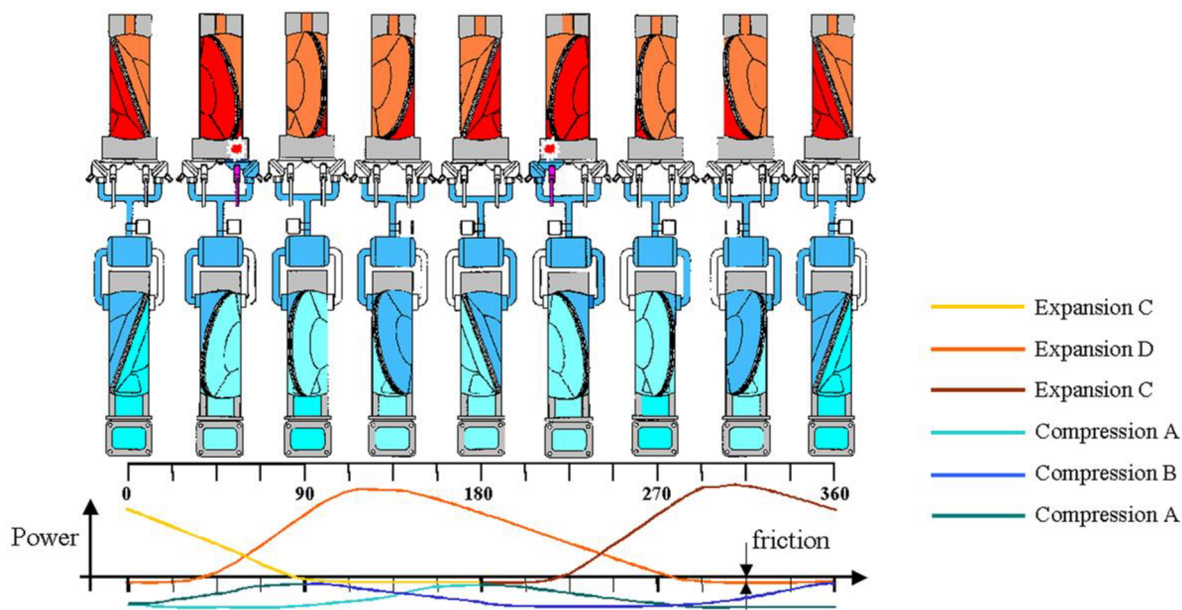


Obr.4.5 Zjednodušený nutating motor (model) (15)

4.3 Princíp

Princíp činnosti nutating motora je obdobný ako u piestového či rotačného motora. Líši sa prenosom síl. V tomto motore sa sila prenáša z disku ktorý spolu z blokom motora vytvára jednotlivé komory (priestory) priamo na Z-hriadel'. Pracuje v štyroch dobách:

- nasávanie
- kompresia
- expanzia
- výfuk



Obr.4.6 Doby nutating motora

Disk sa delí na dve časti tzv. laloky. Jedna polovica disku slúži na nasávanie nového vzduchu a zároveň na kompresiu, t.j. stláčanie vzduchu. Druhá polovica je na expanziu plynov a tiež ako výfuk. Disk spolu s blokom tým pádom vytvoria 4 komory. Keď sa disk pohybuje, tak v jednej komore nasáva vzduch, v druhej stláča už predtým nasatý vzduch, v tretej komore zmes expanduje (zapálenie pomocou sviečky) a v poslednej komore nastáva výfuk.

Celý cyklus začína nasávaním vzduchu do priestoru motora. Po nasatí sa disk pohybuje tak, že stláča vzduch teda nastáva kompresia. Stlačený vzduch pokračuje do akumulátora. Ďalej pokračuje cez ventil, ktorý sa otvorí vo vhodnú dobu do priestoru, kde v tej dobe je minimálny objem. Do vzduchu sa pridáva palivo a pomocou zapalovacej sviečky sa zapáli zmes vzduchu a paliva a začne expanzia plynov. Tlak pri expanzii pôsobí na disk vytvára silu, ktorá posúva disk do poslednej polohy, to je výfuk a zároveň vytvára krútiaci moment na Z- hriadeli.

Pomocou konfigurácie polovic (lalokov) disku môžeme dosiahnuť rovnaký kompresný a expanzný objem, alebo kompresný väčší ako expanzný. Takýto motor sa nazýva preplňovaný. Motor, ktorý má rovnaké objemy má Millerov cyklus. Preplňovaný motor dáva väčšiu účinnosť pre vysoké nadmorské výšky a Miller dáva väčšiu účinnosť pri nízkej nadmorskej výške.

4.4 Výhody a nevýhody

Výhody

Nutating motor má rôzne výhody v porovnaní s konvenčnými spalovacími motormi (veľkosť, hustota výkonu a schopnosť ľahko spaľiť alternatívne palivá). Tento motor má dosť nízky kompresný pomer (10:1). Skúšky boli vykonávané s použitím klasického benzínu, ale vzhľadom k nízkemu kompresnému pomeru sa uvažuje o spaľovanie leteckého petroleja (JET-A1). Táto konštrukcia je jednoduchšia, nemá zložité väzby ako u konvenčnej koncepcii motorov. U tejto konštrukcie je menšie tepelné namáhanie celého motora, čo umožňuje oveľa menšie chladenie systému.

Ďalšou výhodou je malý počet pohybových častí a menšie namáhanie ložísk. Výhodou je zmena objemu kompresnej a expanznej strany (preplňované motory). Nároky na tesnenia sú nižšie vzhľadom k tomu, že disk sa neotáča. Výkony motorov sú 2 až 4 krát väčšie ako konvenčné koncepcie.

Nevýhody

Jediná nevýhoda môže byť pri utesnení komôr kvôli veľkému počtu tesnení použitých v tejto konštrukcii motora. Vzhľadom k tomu, že tento motor je vo vývoji nie je presne dané akú bude mať spotrebu paliva, emisie a životnosť.

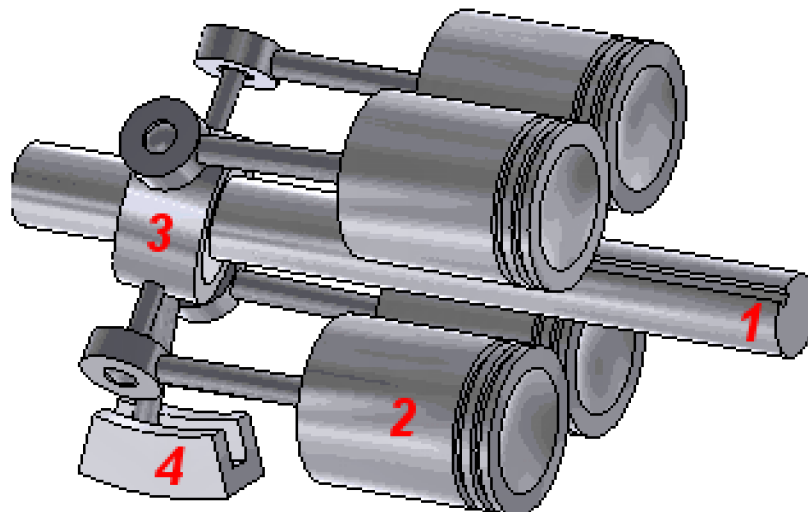
5.Ďalšie nekonvenčné koncepcie spaľovacích motorov

5.1 Všeobecne

Typov nekonvenčných koncepcii spaľovacích motorov je mnoho. Veľa konštrukcií bolo navrhnutých, ale nedošlo k realizovaniu návrhu a ani ku skúškam. Mnoho vedcov a konštruktérov sa zaujímalo o spaľovacie motory, ktoré mali neobvyklý tvar spaľovacieho priestoru alebo neobvyklý tvar „piestov“, ale hlavne iné výkonové a hospodárne vlastnosti. U väčšiny konštrukčných návrhov tejto koncepcie nebola možná realizácia z ekonomických technologických materiálových a u niektorých aj z funkčných dôvodov.

5.2 Axiálny motor

Axiálny motor má podobnú konštrukciu ako piestový motor. Tieto motory dosahujú aj približné parametre aké sú dosiahnuté u piestového motora. Vzhľadom k veľkému množstvu súčiastok a zložitosti mechanizmu sa tento motor neuchytil v leteckom priemysle. Pri pracovnom procese nastávajú vibrácie kvôli zmene pohybu piestu z hornej úvrate do dolnej a naopak.



Obr.5.1 Axiálny motor s kolísavým diskom (17)
1- Hriadeľ Z, 2- Piest, 3- Disk, 4- Vodiaca drážka

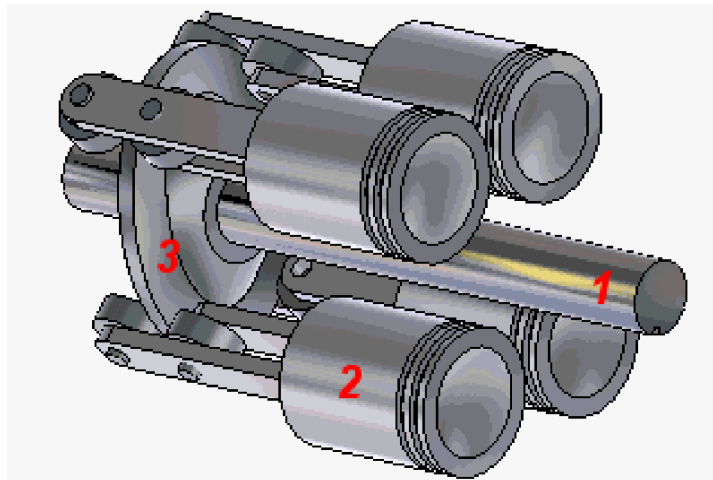
Tento typ nekonvenčnej koncepcie motora ma dve základné prevedenia:

a) Axiálny motor s kolísavým diskom (Obr.5.1)

Na hriadeli v tvare Z je na ložisku upevnený kolísavý disk. Tento disk je opatrený proti pootočeniu čapom, ktorý jazdí v drážke bloku. Na disku sú cez kĺby uchytené ojnice a na nich piesty, ktoré jazdia v bloku motora. U tejto konfigurácii axiálneho motora vznikal problém s trením medzi čapom a drážkou.

b) Axiálny motor s výkyvným pevným diskom (Obr.5.2)

Táto konštrukcia je o trochu odlišná od predchádzajúcej verzii miesto kolísavého disku je kývavý disk, ktorý je pevne uložený na hriadeli. Na disku sú ojnice, ktoré sú uložené cez kladky. U tohto motora je dôležitý minimálny počet valcov (2 kusy) kvôli vyváženiu chodu.



*Obr.5.2 Axiálny motor s kývavým diskom (17)
1- Hriadeľ Z, 2- Piest, 3- Disk.*

V roku 1913 bol postavený prvý prototyp Statax-Motor. Tento motor mal výkon približne 40 hp a bol zastavaný do lietadla Caudron v roku 1914. Ďalší axiálny motor Aero Almene s výkonom 425 hp a hmotnosťou 340 kg pre letecky priemysel bol projektovaný v roku 1921. Aero Almene mal protitlačné piesty (2 x 9= 18 piestov) a dvojité zapalovanie (36 zapalovacích sviečok).



Obr.5.3 Letecký axiálny motor Aero Almene (17)

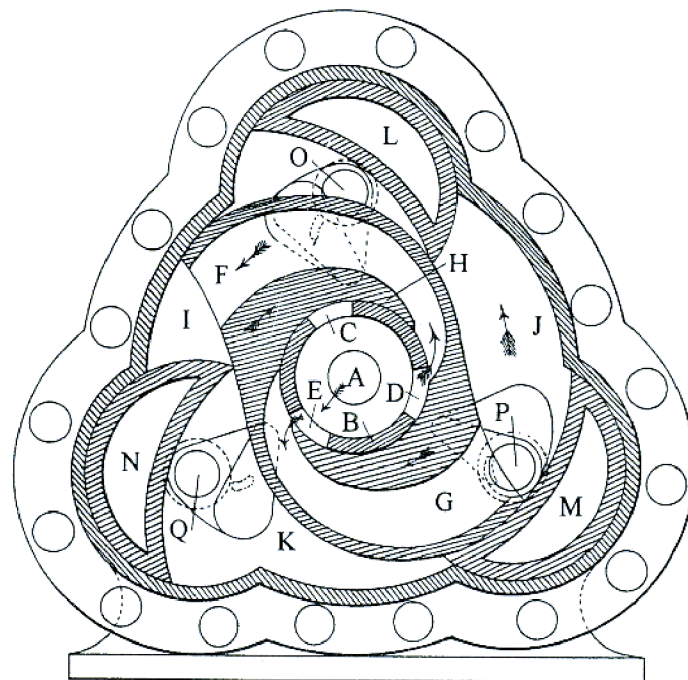
5.3 Rotačný motor (Webb motor)

Táto konštrukcia bola vyvinutá v roku 1853. Tento typ nekonvenčného spaľovacieho motora sa zaraďuje medzi rotačné motory ako je Wankel. Tieto motory sa v leteckom a ani v automobilovom priemysle veľmi neuplatnili kvôli zložitosti.



Obr.5.4 Webb motor (17)

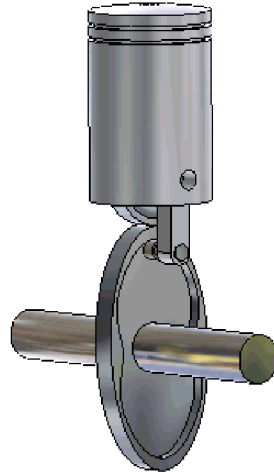
Konštrukcia motora sa skladá z hlavného rotora a troch otočných (L,M,N) segmentov. Zmes paliva a vzduchu vstupuje do spaľovacieho priestoru (I,J,K) prostredníctvom centrálneho portu (B) cez ventile (C,D,E) a cez kanále (F,G) umiestnené v hlavnom rotore (H). Po expanzii plyny odchádzajú cez výfukové porty (O,P,Q), ktoré sú pokryté pohyblivými klapkami. Nie je jasné, ako boli tieto klapky ovládané ,ale pravdepodobne najskôr cez nejaký vačkový mechanizmus. Rotor sa otáča v smere hodinových ručičiek.



Obr.5.5 Schéma motora Webb (17)

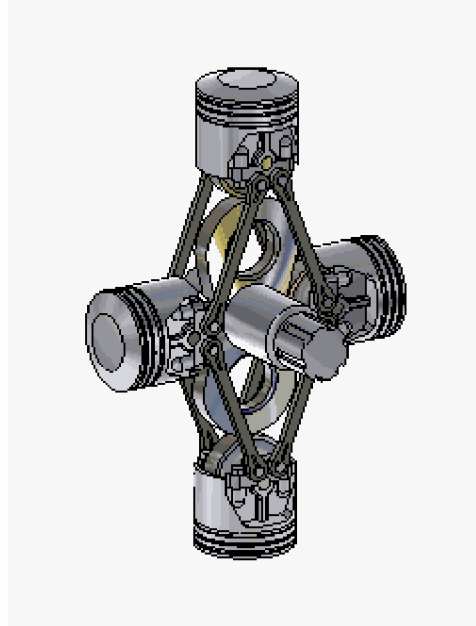
5.4 Vačkový piestový motor (Cam engines)

Tento typ motora sa podobá konvenčnej koncepcii, teda piestovému motoru. Líši sa tým, že namiesto kľukovej hriadele má hriadel', na ktorom je špeciálne vytvarovaná vačka, ktorá slúži na premenu priamočiareho pohybu na rotačný. Tvary tejto vačky sú do tvaru čísla osem. Vačkové motory boli vyrábané aj pre letecký priemysel.



Obr.5.6 Vačkový jedno valcový motor (17)

V roku 1926 Harold Caminez navrhol Fairchild-Caminez 447 vačkový motor vzduchom chladený určený pre lietadlá. Tento motor pozostáva zo štyroch valcov. Princíp činnosti je rovnaký ako u piestového motora. Z konštrukčného hľadiska má miesto kľukového hriadeľa vačku s hriadel'om. Vačka sa skladá z dvoch lalokov. Zdvih piestov je ovládaný práve touto vačkou. Piesty sú pospájané medzi sebou tiahkami. Prvé lietadlo, v ktorom bol zastavaný motor Fairchild-Caminez 447 bolo Avro 504. Po čase sa zistilo, že vačkový motor nie je vhodný pre letecký priemysel kvôli vibráciám, ktoré pri činnosti vznikali. V roku 1929 bol tento motor vyradený.



Obr.5.7 Konštrukcia vačkového motora Fairchild-Caminez 447 (17)

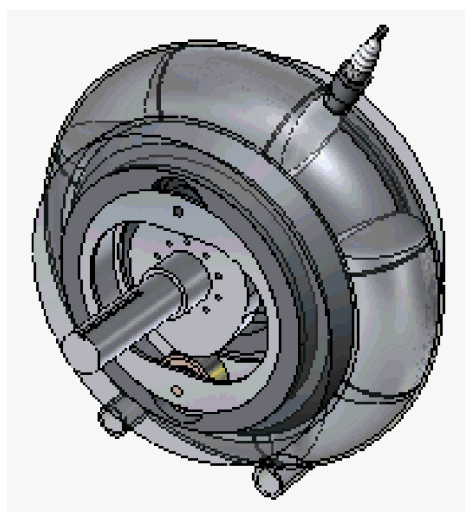
Ďalším motorom tejto neobvyklej konštrukcie je 8-valcový hviezdicový motor Marchetti. Usporiadanie do hviezd u klasických motorov je nepárny počet valcov, u tohto typu je to iné vzhľadom na chod piestov, ktoré sú poháňané dvomi vačkami, a sú medzi sebou pootočené o určitý uhol.



Obr.5.8 Vačkový motor Marchetti (17)

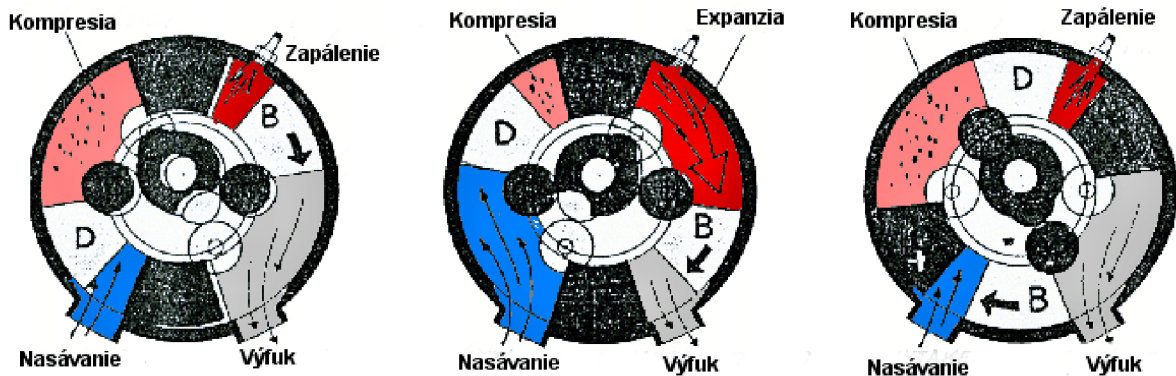
5.5 Toroidný motor

Prvá konštrukcia toroidného motora Bradshaw Omega vznikla už v roku 1955. Ďalší motor tejto konštrukcie Tschudi vznikol v roku 1967. Z konštrukčného hľadiska je tento typ nezvyčajný. Hlavná časť motora je toroid, v ktorom sú umiestnené zakrivené valcové piesty. Problém u týchto motorov bol vyvinúť jednoduchý mechanizmus na prenos energie z piestov na hriadeľ. Toto sa vyriešilo špeciálnym mechanizmom, ktorý je zložený so špeciálnej vačky a valčekov. Ďalším problémom, s ktorým sa stretávame stále, je utesnenie spaľovacieho priestoru.



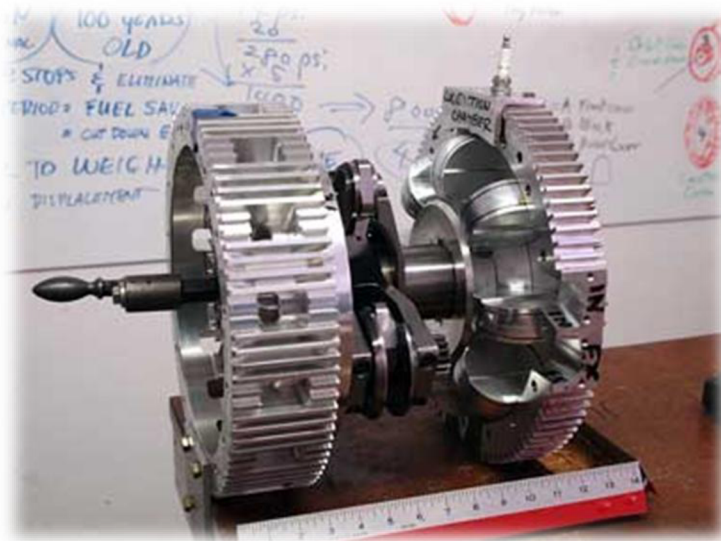
Obr.5.9 Toroidný motor (17)

Toroidný motor pracuje na princípe štvordobého motora. Princíp činnosti toroidného motora je znázornený na obr.5.9. Je poznať, že motor na obrázku je štvorvalcový. V prvej fáze sa začne cez vačku a valčeky pohybovať piest D, ktorý nasáva zmes paliva a vzduchu. Nastáva stláčanie zmesi či kompresia. Po kompresii zapalovacia sviečka zapáli zmes a nastáva expanzia plynov, teda pracovný takt. A posledná fáza je výfuk.



Obr.5.10 Princíp činnosti toroidného motora (17)

Myšlienka tejto konštrukcie pokračuje, v roku 2006 bol vyvinutý ďalší toroidný motor menom Morgado. Tieto motory mali byť niekoľko krát (40 krát) výkonovo vyššie ako sú konvenčné koncepcie. Z dôvodu toho, že nastáva časté pálenie zmesi. Na jednu otáčku nastáva 16 zapálení, čo predstavuje pri klasickej konštrukcii 32-valcový motor so štvordobým cyklom.

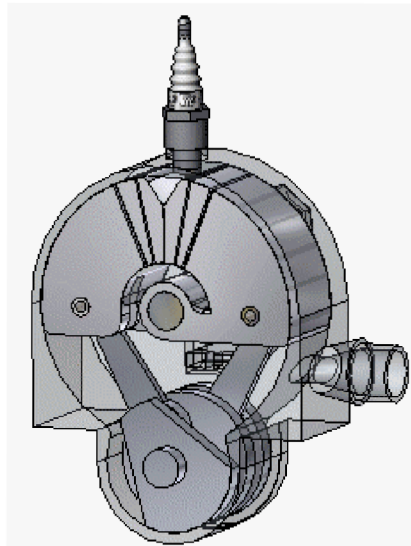


Obr.5.11 Toroidný motor Morgado (17)

5.6 Jamesov motor (James engine)

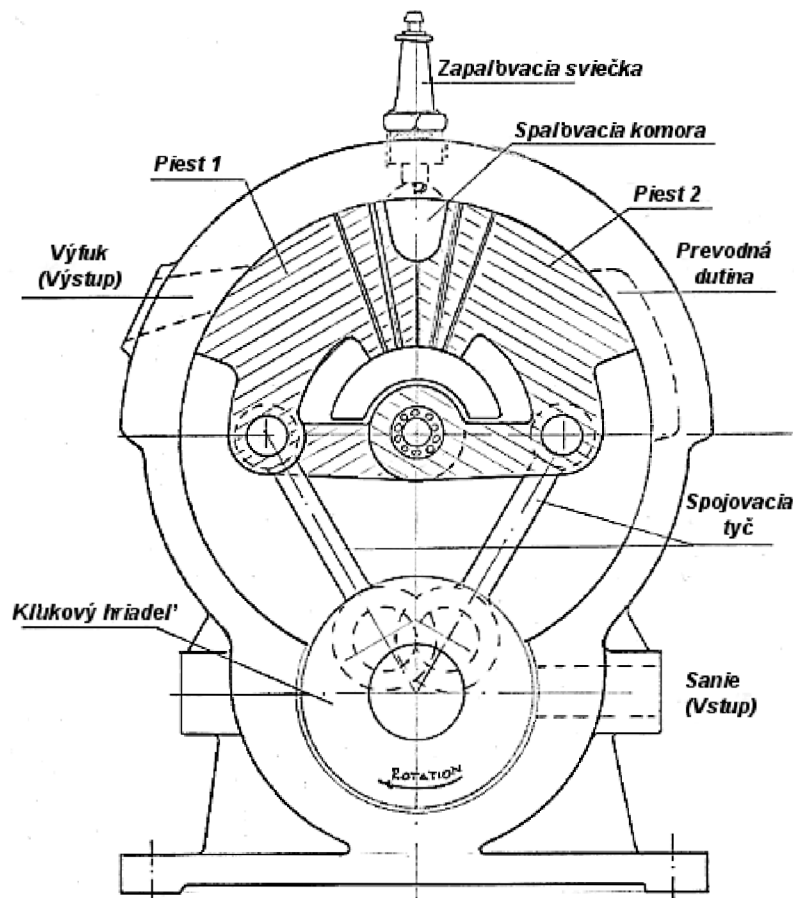
Richard James začal navrhovať motor v roku 1929. Prvý Jamesov motor vznikol až v roku 1963. Jednalo sa o dvojtaktný motor s dvoma piestami a jednou

klukovou hriadeľov. Tento typ motora sa vyznačoval veľkými vibráciami pri chode, preto sa ani neuchytil v leteckom a aj v automobilovom priemysle.



Obr.5.12 Jamesov motor (17)

Jamesov dvojtaktný motor mal objem cca 480 cm³, kompresný pomer 11:1. Piesty boli obdĺžnikového tvaru. Blok motora bol vyrobený zo zliatiny hliníka a bol dutý kvôli chladiacej kvapaline.



Obr.5.13 Schéma Jamesovho motora (17)

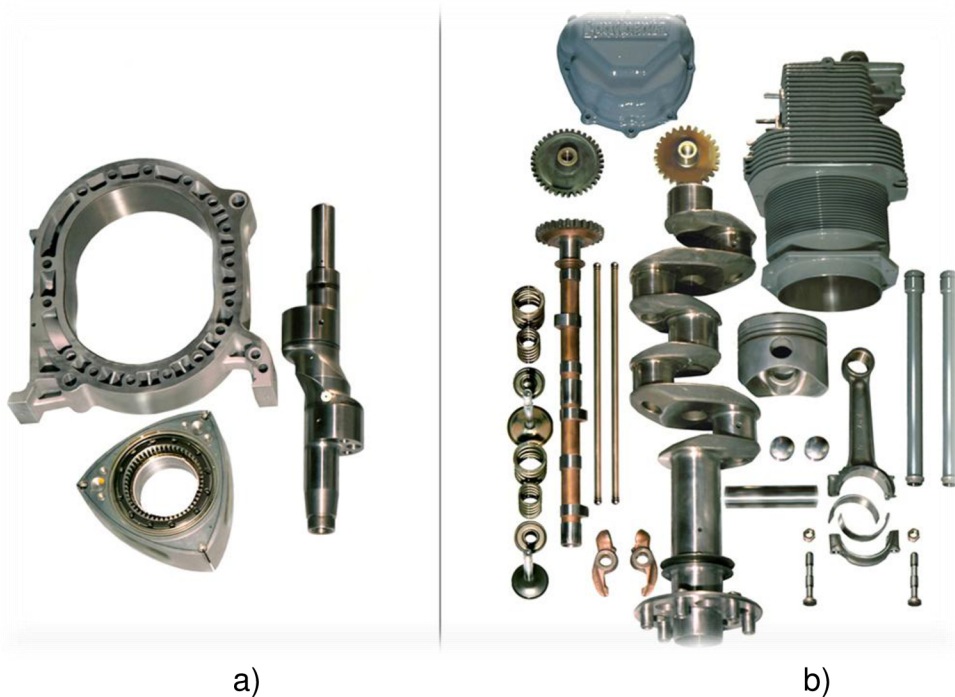
6. Porovnanie konvenčných a nekonvenčných koncepcií spaľovacích motorov

6.1 Všeobecne

Piestový spaľovací motor slúži ľudstvu už viac ako storočie a bude tak robiť aj naďalej v dohľadnej budúcnosti. Wankel rotačný stroj bol koncipovaný v súčasnej podobe v roku 1954. Spočiatku tieto motory boli zastavané do áut typu Mazda, po nejakej dobe začali aplikovať aj do letectva čo znamenalo rozvoj v leteckom priemysle. Motor nutating bol spočiatku vývoja používaný ako čerpadlo a postupom času vznikla myšlienka spaľovacieho motora nekonvenčnej koncepcie. Začali sa vyvíjať bezpilotné prostriedky, s ktorými sa vyvíjali aj motory. Hlavným návrhom sa stal práve nutating motor. Hlavné požiadavky na motory pre bezpilotné prostriedky sú nízka hmotnosť, efektívnosť a hladký chod a práve tieto vlastnosti motor nutating spĺňa.

Rotačný motor ma celú radu výhod. Piestové letecké motory majú štvortaktný cyklus. To znamená, že piest sa pohybuje hore dole čo zapríčiňuje hlavné vibrácie.(má stále zmenu pohybu čo je nežiaduce).Pohyblivé časti v rotačnom motore sú v nepretržitom jednosmernom pohybe, tým sú vysoké prevádzkové rýchlosti, jednoduché vyváženie a absencia vibrácií, toto je len časť výhod rotačného motora. Taktiež u diskového motora (nutating) je pohyb zabezpečený tak, aby nedochádzalo veľkým vibráciám. Pohyb vykonáva disk, ktorý sa vlastne kolíše.

Vysoké prevádzkové rýchlosti umožňujú rotačnému motoru produkovať dvakrát toľko energie ako piestový motor o rovnakej hmotnosti. Rotačný motor má podstatne menej dielov a menší rozmer než piestový motor porovnateľného výkonu. Vysoká spoľahlivosť, robustnosť a jednoduchosť 90% menej pohyblivých častí ako piestové motory, teplotný šok je eliminovaný s kvapalným chladením.



a) Obr.6.1 Porovnanie dielov (19)
a) Rotačný motor (jeden rotor) 100 Hp
b) Piestový motor (jeden piest) 50Hp

Dôvod prečo nie je rotačný motor a nutating motor takí rozšírený, je jednoduché, pretože piestové motory sú vyvinuté na vynikajúcej úrovni a stále vývoj pokračuje. Piestové motory majú pozoruhodný úspech v mnohých aplikáciách. Výrobné technológie pre piestové motory sú dobre známe a zavedené, keďže výroba rotačných motorov vyžaduje výrazne odlišné nástroje. Treba pripustiť že rotačný motor má aj niektoré nevýhody. Wankel neponúka taký veľký potenciál na zlepšovanie hospodárnosti s palivom a znižovanie emisií ako piestové motory. Možno nikdy nebude wankel a nutating motor dominovať v normálnom automobilovom priemysle, ale je pravdepodobné, že k nájdeniu aplikácie, kde nízka hmotnosť a objem sú dôležitý faktor ako napríklad u športových autách, motorkách a hlavne v letectve.

U nutating motoru sú známe rôzne výhody ako je hmotnosť, hladký chod a hlavne možnosť spaľovania leteckého petroleja (JET-A1).

6.2 Výkon a hmotnosť

Z predchádzajúcich kapitol je jednoznačné, že vo výkone a hmotnosti sú lepšie nekonvenčné koncepcie (Wankel, Nutating) ako klasické koncepcie. Rotačný a nutating motor majú vyšší pomer výkonu a hmotnosti vzhľadom na vysoký výkon a malú hmotnosť. Na porovnanie rotačného motora a koncepcnej konštrukcii som vybral dva motory skoro rovnakého výkonu. Rotačný motor Mistral G-300 a piestový motor Lycoming IO-540



Obr.6.2 Lietadlo typu Lancair s trojrotorovým rotačným motorom (8)

6.2.1 Rotačný motor Mistral G-300

Mistral je trojrotorový rotačný motor s výkonom 300hp (pri 2250 ot/min vrtule) a hmotnosťou 177 kg. Chladenie je zabezpečené chladiacou kvapalinou (voda/glykol). Tento motor je moderný a preto ma aj digitálne ovládanie dual-ECU. Palivový systém je duálne elektronické vstrekovanie. Používa sa palivo olovnaté, alebo bezolovnaté (Avgas100LL, alebo MOGAS87). Rotácia vrtule je v smere hodinových ručičiek. Pomer výkon a hmotnosť je 1,69 Hp/kg

6.2.2 Piestový motor Lycoming IO-540

Lycoming IO-540 je šesťvalec s vzduchom chladený motor s výkonom 260hp pri 2700 ot / min a hmotnosťou 199 kg. Z konštrukčného hľadiska to je vodorovný motor s protíahlými valcami. Na jeden valec pripadajú dva ventile (výfukový a sací). Palivový systém je priame vstrekovanie a používané palivo je Avgas100LL. Tento typ ma veľa modifikácii ako napríklad preplňovanie. Pomer výkon a hmotnosť je 1,3 Hp/kg. Tento motor sa používa v lietadlách typu Cessna a Piper.



a)

b)

Obr.6.3 Porovnanie rotačného a piestového motora (19)

a) Mistral G-300 (300 Hp), b) Lycoming IO-540 (260 Hp)

6.2.3 Nutating motor

Tento typ nekonvenčnej koncepcie spaľovacích motorov nie je taký rozšírený ako predchádzajúci typ (wankel). Ako už bolo spomínané, tento motor bol vyvinutý do bezpilotných prostriedkov. Technická správa novej verzie motora vyrobeného z hliníkových zliatin hovorí, že by mohol dosiahnuť výkon 50 hp (pri 5000 ot/min) pri hmotnosti okolo 14,77 kg. Takže pomer výkonu a hmotnosti je dosť vysoký, teda až 3,39 hp/kg. Pri týchto motoroch sa používa benzín alebo aj letecký petrolej (JET A1).

Tab.6.1 Porovnanie parametrov

| Druh motora | Výkon | Hmotnosť | Merný výkon | Spotreba | Merná spotreba |
|----------------|----------|----------|-------------|----------|----------------|
| | [Hp, kW] | [kg] | [Hp/kg] | [l/h] | [l/kW.h] |
| Piestový motor | 260, 194 | 199 | 1,31 | 40 | 0,15 |
| Rotačný motor | 300, 224 | 177 | 1,69 | 60 | 0,20 |
| Nutating motor | 50, 37 | 14,77 | 3,39 | - | - |

6.3 Spotreba a emisie

Zástancovia motora wankel tvrdia, že tvrdenie o emisiách a spotrebe paliva sú nespravodlivé. Rotačný motor nemôže byť porovnávaný s piestovým motorom

s rovnakým zdvihovým objemom. Piestový motor o objeme 1,3 litra ma výkon okolo 60 až 70 konských síl, ale rotačný o tom istom objeme môže vyvinúť viac ako 230 konských síl. To je viac ako trojnásobok veľkosti. Preto porovnávanie by malo byť medzi motormi s podobným výkonom.

Rotačné motory majú povest' pre svoju vysokú spotrebu paliva. Odborníci zistovali, či je to pravda. Tieto motory sa intenzívne testovali na testovacích stolicach a cieľom bolo dosiahnuť veľkosť spotreby paliva ako u piestových motoroch. U rotačných motoroch sa používa digitálne riadenie motora (DEM). Tento systém presne dávkuje množstvo paliva v správnom čase. Spotreba a emisie u rotačných motoroch sa týmto systémom znížili a výkon sa zvýšil.

Spotreba paliva rotačného motora Mistral G-300 je okolo 60 l/hod a piestového motora Lycoming IO-540 je okolo 40 l/hod. Takže je očividne, že spotreba u rotačného motora je väčšia, ako u piestového motora. S emisiami je to obdobné ako so spotrebou. Spotreba nutating bohužiaľ nie je známa a taktiež emisie, vďaka tomu že tento typ je stále vo vývoji a pracuje len v laboratórnych podmienkach.

Záver

Po získaní informácií a poznatkov, ktoré sme sa dozvedeli po prečítaní tejto práce, môžeme zhodnotiť jednotlivé konštrukcie spaľovacích motorov. Konvenčné koncepcie spaľovacích motorov sú v dnešnej dobe na vysokej úrovni ako v automobilovom, tak aj v leteckom priemysle. Vyrábajú sa rôzne verzie piestových motorov.

Nekonvenčné koncepcie ako je Wankel a Nutating tiež nezaostávajú za motormi s klasickou konštrukciou. Letecké pohonné jednotky by mali byť ľahké, výkonné a hlavne bezpečné. A práve tieto vlastnosti majú motory Wankel a Nutating.

Ďalšia nekonvenčná koncepcia, ktorá by to mala splniť je toroidný motor. Podľa môjho názoru budúcnosť motorov používaných pri športovom lietaní bude práve Wankel, Nutating alebo Toroidný motor. Tieto motory majú veľmi dobrý výhľad do budúcnosti vzhľadom k tomu, že technológia výroby a materiály sa nám stále zdokonaľujú. Pri leteckom motore je taktiež dôležitá vlastnosť, hladký chod (bez vibrácií). To nám konvenčné koncepcie nevedia zaručiť na rozdiel od motorov Wankel, Nutating a Toroidného.

Jediná nevýhoda nekonvenčných koncepcií je vyššia spotreba paliva a emisie, ale postupom času sa nájde spôsob, ktorým sa to bude dať upraviť tak, aby aj po tejto stránke tieto koncepcie vyhovovali.

Vzhľadom k menším počtom súčiastok pri nekonvenčnej koncepcii je menšia chybovosť motora taktiež ľahšia údržba a väčšia životnosť.

Pri stále narastajúcej cene leteckého benzínu je treba uvažovať o zmene druhu paliva (napr. JET A1, alebo vodík), aby sa znížili náklady. Práve o túto zmenu sa snažia nekonvenčné koncepcie spaľovacích motorov (Wankel, Nutating).

Nie všetky nekonvenčné koncepcie spaľovacích motorov sa zapísali ako motory s dobrými vlastnosťami.

V práci sme sa mohli dočítať o motoroch, ktoré sa neujali v priemysle, kvôli zložitosti konštrukcií, veľkému chveniu za chodu, alebo iným nepriaznivým vlastnostiam.

Použitá literatura

- [1] OTT, A.: *Pohon letadel*. první. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1993. 168 s. ISBN 80-214-0522-8.
- [2] KOCÁB, J.; ADAMEC, J.: *Lietadlové pohonné jednotky*. Praha : Nakladatelství dopravy a spojů, 1987. 438 s.
- [3] BEŇO, L.: *Letouny a jejich systémy, II.část Vrtulové pohonné jednotky s pístovými motory*. Bratislava : Videopress MON, 1985. 229 s.
- [4] HEVANIÁK, F.; BARNET, M.; BRADOVKA, E.: *Technológia opráv lietadiel I*. Praha : Nakladatelství dopravy a spojů, 1986. 400 s.
- [5] BENEŠ, L.: *Učebnice pilota*. Most : Nakladatelství letecké literatury Svět křídel, 1995. 292 s. ISBN 80-85280-30-2
- [6] NEDELKA, M.: *Slovenský letecký slovník terminologický a výkladový*. Bratislava: Magnet-Press Slovakia, s.r.o., 1998. 494 s. ISBN 80-968073-0-7
- [7] Jane's: Aero - Engines. Virginia USA: Hobb the Printers, 2007. 778 s. Dostupný z [www:<jae.janes.com>](http://www.jae.janes.com). ISSN 1748-2534.
- [8] LAMAR, P. *Welcome to the mazda wankel rotary engines for aircraft website*. [online]. 2011. Dostupný z [www: <http://www.rotaryeng.net/>](http://www.rotaryeng.net/).
- [9] *Wright Aeronautical (Wankel) RC2-60 Rotary Engine* [online]. Smithsonian National Air and Space Museum, 2011. Dostupný z [www: <http://www.nasm.si.edu/collections/artifact.cfm?id=A19870228000>](http://www.nasm.si.edu/collections/artifact.cfm?id=A19870228000).
- [10] *Wankel engine*. [online]. Wikipedia, 2011. Dostupný z [www: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wankel_engine>](http://en.wikipedia.org/wiki/Wankel_engine).
- [11] *Mazda Rotary Webring*. [online]. Real World Solutions, 1997-2011. Dostupný z [www: <http://www.rotaryaviation.com/>](http://www.rotaryaviation.com/).
- [12] *Wankelův motor*. [online]. Navajo otevřená encyklopedie, 2007. Dostupný z [www: <http://wankeluv-motor.navajo.cz/>](http://wankeluv-motor.navajo.cz/).
- [13] VOKÁČ, L. *Wankelův rotační motor. Jak to vlastně funguje?*. [online]. Auto i-dnes, 2008. Dostupný z [www: <http://auto.idnes.cz/wankeluv-rotacni-motor-jak-to-vlastne-funguje-f47-/ak_aktual.aspx?c=A080401_015114_ak_aktual_vok>](http://auto.idnes.cz/wankeluv-rotacni-motor-jak-to-vlastne-funguje-f47-/ak_aktual.aspx?c=A080401_015114_ak_aktual_vok).
- [14] MATTHEW, G. *Neat Tech: Nutating Engine*. [online]. Saroff. 2007-2010. Dostupný z [www: <http://40yrs.blogspot.com/2009/09/neat-tech-nutating-engine.html>](http://40yrs.blogspot.com/2009/09/neat-tech-nutating-engine.html).
- [15] MEITNER, L. *The Nutating Engine—Prototype Engine Progress Report and Test Results*. [online]. South Elgin, Illinois. U.S. Army Research Laboratory, 2006. Dostupný z [www: <http://gltrs.grc.nasa.gov/reports/2006/TM-2006-214342.pdf >](http://gltrs.grc.nasa.gov/reports/2006/TM-2006-214342.pdf).
- [16] *Nutating disc engine*. [online]. Wikipedia, 2011. Dostupný z [www: <http://en.wikipedia.org/wiki/Nutating_disc_engine >](http://en.wikipedia.org/wiki/Nutating_disc_engine).
- [17] *Unusual Internal-Combustion Engines*. [online]. Douglas Self, 1998-2010. Dostupný z [www: <http://www.aqpl43.dsl.pipex.com/MUSEUM/POWER/unusualICeng/unusualICeng.htm >](http://www.aqpl43.dsl.pipex.com/MUSEUM/POWER/unusualICeng/unusualICeng.htm).

[18] *Lycoming engines*. [online]. Williamsport. Avco Corporation, 2011. Dostupný z www: <<http://www.lycoming.textron.com/index.html>>.

[19] *Mistral engines*. [online]. Geneva. MISTRAL Engines USA, Inc, 2011. Dostupný z www: <<http://www.mistral-engines.com/>>.

Zoznam použitých veličín a jednotiek

| Veličina | Jednotka |
|-----------------|-----------------|
| Hmotnosť | kg |
| Merná spotreba | l/h.kW |
| Merný výkon | hp/kg |
| Otáčky | ot/min |
| Spotreba | l/h |
| Výkon | kW |
| Výkon | hp |

Zoznam obrázkov

| | |
|---|----|
| Obr.1.1 Motor s vnútorným spaľovaním..... | 12 |
| Obr.1.2 Motor s vonkajším spaľovaním..... | 12 |
| Obr.1.3 Piestový spaľovací motor s priamočiarym pohybom piesta..... | 13 |
| Obr.1.4 Spaľovací motor s rotačným pohybom piesta..... | 13 |
| Obr.1.5 Lopatkový motor..... | 13 |
| Obr.2.1 Lycoming (motor používaný v lietadlách Cessna)..... | 15 |
| Obr.2.2 Piestový radový motor M-337AK..... | 16 |
| Obr.2.3 Piestový hviezdicový motor M-462RF..... | 16 |
| Obr.2.4 Motorová skriňa M-337AK..... | 17 |
| Obr.2.5 Valec a hlava valca..... | 18 |
| Obr.2.6 Kľukový mechanizmus..... | 18 |
| Obr.2.7 Kľukový hriadel'..... | 19 |
| Obr.2.8 Rozvod OHV..... | 20 |
| Obr.2.9 Rozvod OHC..... | 20 |
| Obr.2.10 Doby piestového motora..... | 21 |
| Obr.2.11 p-V diagram piestového spaľovacieho motora..... | 21 |
| Obr.3.1 Felix Wankel..... | 22 |
| Obr.3.2 Jednotlivé časti dvojrotorového rotačného motora..... | 23 |
| Obr.3.3 Blok dvojrotorového rotačného motora..... | 24 |
| Obr.3.4 Stredná časť rotačného motora..... | 24 |
| Obr.3.5 Rotor..... | 25 |
| Obr.3.6 Excentrický hriadel'..... | 25 |
| Obr.3.7 Rotor s zvýraznenou spal. priehľbinou a vrcholmi rotora (tesnenia)..... | 26 |
| Obr.3.8 Rez rotačným motorom..... | 26 |
| Obr. 3.9 Rotor a jeho tesnenia..... | 27 |
| Obr. 3.10 Fázy rotačného motora..... | 28 |
| Obr.3.11 Nasávanie..... | 28 |
| Obr.3.12 Kompresia..... | 29 |
| Obr.3.13 Zapálenie..... | 29 |
| Obr.3.14 Expanzia..... | 30 |
| Obr.3.15 Výfuk..... | 30 |
| Obr.3.16 p-V diagram spaľovacieho motora..... | 31 |
| Obr.3.17 Curtiss-Wright RC2-60..... | 32 |
| Obr.3.18 Rotačný motor MISTRAL..... | 33 |
| Obr.3.19 Motorové lôžko s úchytom na podvozok..... | 34 |
| Obr.3.20 Rotačné motory spolu s uchytením (motorové lôžka)..... | 34 |
| Obr.3.21 Tlmič medzi motorom a lôžkom..... | 35 |
| Obr.3.22 Rotačný motor po demontáži horného motorového krytu..... | 35 |
| Obr.3.23 Samonosný spodný motorový kryt..... | 36 |
| Obr.3.24 Počítačovo navrhnutý motorový kryt pre rotačný motor..... | 37 |
| Obr.4.1 Diskové čerpadlo Georga Daviesa..... | 38 |
| Obr.4.2 Nutating motor v reze..... | 38 |
| Obr.4.3 Nutating motor..... | 39 |
| Obr.4.4 Disk a jednotlivé tesnenia..... | 40 |
| Obr.4.5 Zjednodušený nutating motor (model)..... | 40 |
| Obr.4.6 Doby nutating motora..... | 41 |
| Obr.5.1 Axiálny motor s kolísavým diskom..... | 42 |

| | |
|---|----|
| Obr.5.2 Axiálny motor s kývavým diskom..... | 43 |
| Obr.5.3 Letecký axiálny motor Aero Almene..... | 43 |
| Obr.5.4 Webb motor..... | 44 |
| Obr.5.5 Schéma motora Webb..... | 44 |
| Obr.5.6 Vačkový jedno valcový motor..... | 45 |
| Obr.5.7 Konštrukcia vačkového motora Fairchild-Caminez 447..... | 45 |
| Obr.5.8 Vačkový motor Marchetti..... | 46 |
| Obr.5.9 Toroidný motor..... | 46 |
| Obr.5.10 Princíp činnosti toroidného motora..... | 47 |
| Obr.5.11 Toroidný motor Morgado..... | 47 |
| Obr.5.12 Jamesov motor..... | 48 |
| Obr.5.13 Schéma Jamesovho motora..... | 48 |
| Obr.6.1 Porovnanie dielov..... | 49 |
| Obr.6.2 Lietadlo typu Lancair s trojrotorovým rotačným motorom..... | 50 |
| Obr.6.3 Porovnanie rotačného a piestového motora..... | 51 |