

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Letecké spalovací motory
bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Hromádko, Ph.D.
Autor bakalářské práce: Jan Zeman

PRAHA 2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Letecké spalovací motory“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Hromádka Ph.D. a uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne:

Podpis:

Abstrakt:

Cílem této bakalářské práce je seznámení čtenáře s principy práce a konstrukcí leteckých motorů pístových a turbínových. Na začátku práce je popsána historie letectví od svého vzniku až po dnešní dobu. V kapitole „Konstrukce leteckých motorů“ se zaměříme na princip činnosti a hlavní konstrukční části leteckých motorů. Dále si popíšeme speciální proudové motory u kterých stále probíhá vývoj a testování. A na závěr se zaměříme na otázku bezpečnosti, spolehlivosti a autorův odhad jakým směrem se bude letectví dále ubírat.

Klíčová slova:

Spalovací motor, spalovací turbína, letecké palivo, spolehlivost

Summary:

The aim of this work is to introduce the reader with the principles of work and design of reciprocating (piston) engine and combustion turbine. At the beginning of the work is described the history of aviation from its inception to the present day. In the chapter "The design of aircraft engines" will focus on the principles of operation and major components of aircraft engines. Further, we describe a special jet engines which are still under development and testing. Finally, we focus on the issue of safety, reliability, and the author's guess of what direction it will take further aviation.

Key words:

Combustion engine, combustion turbine, aviation fuel, reliability

Obsah:

1	Úvod	8
2	Historický vývoj leteckých motorů	9
3	Konstrukce leteckých motorů	14
3.1	Pístové motory	14
3.1.1	Princip činnosti čtyřdobého zážehového motoru	14
3.1.1.1	Spalování – zážehový motor	16
3.1.2	Princip činnosti čtyřdobého vznětového motoru	16
3.2	Letecké motory lopatkové	20
3.2.1	Princip činnosti leteckého lopatkového motoru	21
3.2.2	Radiální kompresor	21
3.2.3	Axiální kompresor	23
3.2.4	Spalovací komora	24
3.3	Proudové	26
3.3.1	Jednoproudový motor (turbokompresorový)	26
3.3.2	Dvouproudový motor (turbodmychadlové)	27
3.3.2.1	Princip činnosti dvouproudového motoru	28
3.3.3	Speciální	30
3.3.3.1	Motor s měnitelným vektorem tahu - Rolce-Rolce Pegasus	30
3.3.3.2	Propfan	31
3.3.3.3	UDF – Motor s nezaplášťovaným dmychadlem	32
3.3.3.4	UBE – Motor se zvláště vysokým obtokovým poměrem	33
3.3.3.5	Super Fan	33
3.3.4	Turbovrtulový motor	34
4	Paliva používaná v letectví	35
4.1	Letecký benzín	35
4.2	Letecký petrolej	35
5	Spolehlivost a bezpečnost	36
6	Doporučení a závěr	37
7	Seznam použité literatury	38
8	Seznam použitých zdrojů	38

1 Úvod

Tato závěrečná bakalářská práce je dílem završující studium bakalářského oboru na Technické fakultě České zemědělské univerzity v Praze.

Touha ovládnout vzdušný prostor lákala lidstvo již od starověkých civilizací. Snaha o překonání zemské přitažlivosti byla strastiplná, mladí aviatci prožívali chvíle úspěchů i tvrdých pádů. Byla to dlouhá cesta od nákrešů Leonarda da Vinci, přes první vzlet Flyeru Orvilla a Wilbura Wrightových až po lety dopravními letadly, která dokáží přepravit více než 800 pasažérů na vzdálenost větší než 15.000km. Letectví je jedno z nejrychleji se rozvíjejících průmyslových odvětví.

Tato práce je pojata jako přehled toho nejdůležitějšího z oblasti leteckých motorů. Vždy si velmi zjednodušeně vysvětlíme jak daný typ pohonu funguje. Letecké motory jsou velmi složité stroje a každý bychom dokázali vysvětlit na prostoru o rozsahu této práce.

Než se dostaneme k samotným motorům, tak si představíme nejdůležitější milníky letectví od samého počátku až do současnosti.

Pozornost je věnována především proudovým motorům, které v dnešní době pohání veškerá civilní dopravní letadla po celém světě. Proudový motor může být použit k pohonu hřídele, která přes reduktor otáček pohání vrtuli (turbovrtulové motory) což se používá u menších dopravních letadel operujících na kratších regionálních tratích a nebo přímo k vyvinutí tahu, který pohání letadlo vpřed, což využívají letadla operující na středně dlouhých a dlouhých tratích.

Také se zmíníme o speciálních proudových motorech jako jsou Propfan, UDF, UHBE, atd. Tyto motory se zatím pouze vyvíjejí a testují a můžeme předpokládat, že se tímto směrem budou odvíjet budoucí letecké motory.

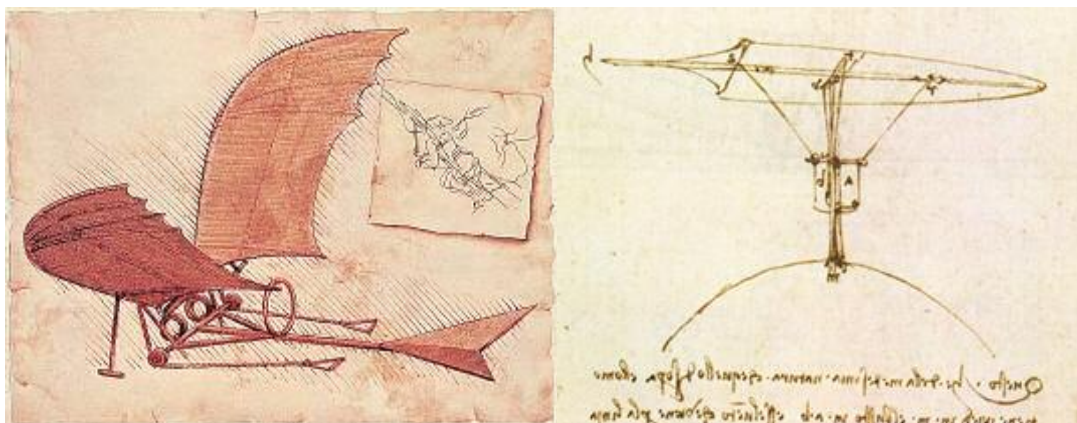
Texty jsou doplněny o názorné ilustrace, které mají dopomoci lepší představě a pochopené vysvětlované problematiky.

Veškeré informace jsou vyčteny z literatury a internetových stránek zabývajících se tímto oborem a problematikou.

2 Historický vývoj leteckých motorů

První stopy letectví nacházíme již ve druhé polovině prvního tisíciletí před naším letopočtem v Číně. Již v této době na území Číny používali dvě základní části dnešních letadel – vrtuli využívali jako větrné kolo mlýna a drak je jednoduché křídlo. V průběhu historie se objevovaly nákrasy a fresky draků, ptačích křídel a létajících strojů ve tvaru ptáka. K těmto poznatkům se vraceli vynálezci v 19.století když intenzivně vymýšleli a hledali tvar profilu křídla.

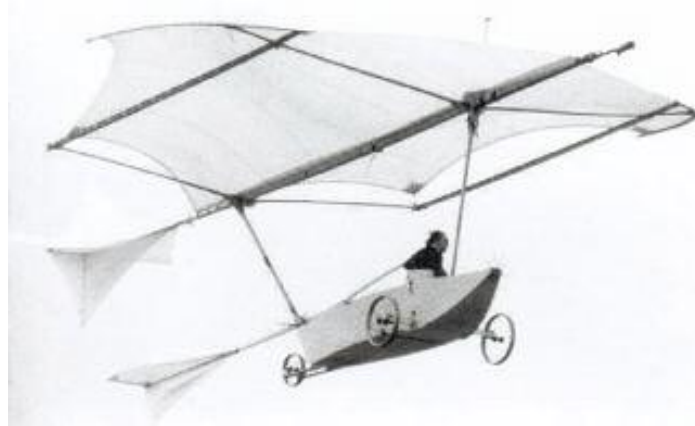
Dne 15.dubna roku 1452 se v malé vesnici poblíž Italské Florencie narodil velmi nadaný umělec, malíř, architekt, sochař a technik – Leonardo da Vinci. V letech 1485 až 1500 se Leonardo zabýval otázkou létání. Uvědomoval si, že síla lidských paží nepostačí na vyvinutí dostatečné síly pro mávání mechanickými křídly. Z jeho četných studiích letadel je zřejmé, že tuto sílu se snažil zvýšit pomocí mechanických převodů (Obr.3). Až na sklonku života se vzdal ideí použití mávajících křídel a navrhl kluzák s pevným křídlem (Obr.4). Leonardo se zabýval nejenom konstrukcí letadel, ale také padákem a dokonce popsal i létající stroj fungující na principu vrtulníku.



Obr.1 [1]

Obr.2 [2]

Prvním úspěšným leteckým konstruktérem byl George Cayley , který roku 1804 zkonstruoval létající model kluzáku. Též popsal principy mechaniky letu a základní prvky letadel těžší než vzduch. Sir George Cayley si byl vědom skutečnosti, že těžiště a jeho poloha mají zásadní význam. Také vyrobil trojplášník, který se vznesl s desetiletým chlapcem při sbíhání kopce, ale doposud neexistoval žádný motor, který by dodal dostatečnou sílu pro vzlet a vodorovný let. Sir George Cayley se svými myšlenkami předběhl dobu o 70 let a proto nikdo nedokázal navázat na jeho poznatky.



Obr.3 Kluzák Sira George Cayleyho [3]

Další z významných konstruktérů, který se zapsal do letecké historie byl Australan Lawrence Hargrave. Při zkoušení komorových draků zjistil, že největší nosnost a stabilitu má drak se dvěma samostatnými komorami a dvěma nosnými plochami nad sebou. Další z velkých objevů byl, že zakřivená nosná plocha má větší vztlak než rovná. Dne 12.listopadu 1894 uskutečnil úspěšný „let“, kdy se zavěšen na několika krabicových dracích vznesl do výšky několika metrů. Lawrence Hargrave experimentoval s použitím motoru k pohonu létajícího stroje. Pokoušel se jako pohon využít: kaučukové svazky, hodinový strojek, parní stroj. V roce 1898 zkonstruoval rotační motor na stlačený vzduch, který ale zůstal veřejností nepovšimnut. Motor na stlačený vzduch spatřil světlo světa znovu v roce 1908 ve Francii (motor Gnome).

Teprve koncem 19.století se lidé přestali zabíjet skoky z různých věží po Ikarově vzoru a začali využívat poznatky výzkumů svých předchůdců z celého světa. Všichni vědci vydávali své poznatky z výzkumů knižně a mohl si je kdokoli přečíst a sám vyzkoušet. Nedá se tedy říci, že by konstruktéři od sebe opisovali, ale pouze využívali poznatků svých kolegů.

Roku 1848 se v německém Anklamě narodil významný letecký konstruktér a průkopník v letectví Otto Lilienthal. Během svého života zkonstruoval 18 typů kluzáků a úspěšnější z nich byly vyrobeny ve více exemplářích a prodány do zahraničí. U kluzáku číslo 12 Otto Lilienthal zkonstruoval na zemi měnitelnou výšku náběžné hrany křídla čímž se mohlo změnit zakřivení profilu křídla. Během své letecké kariéry uskutečnil okolo 2000 letů až dne 9.srpna 1896 havaroval a těžce si poranil páteř. Poranění byla natolik vážná, že později svým zraněním podlehl.



Obr.4 Otto Lilienthal zachycen při letu na svém kluzáku – rok 1891 [4]

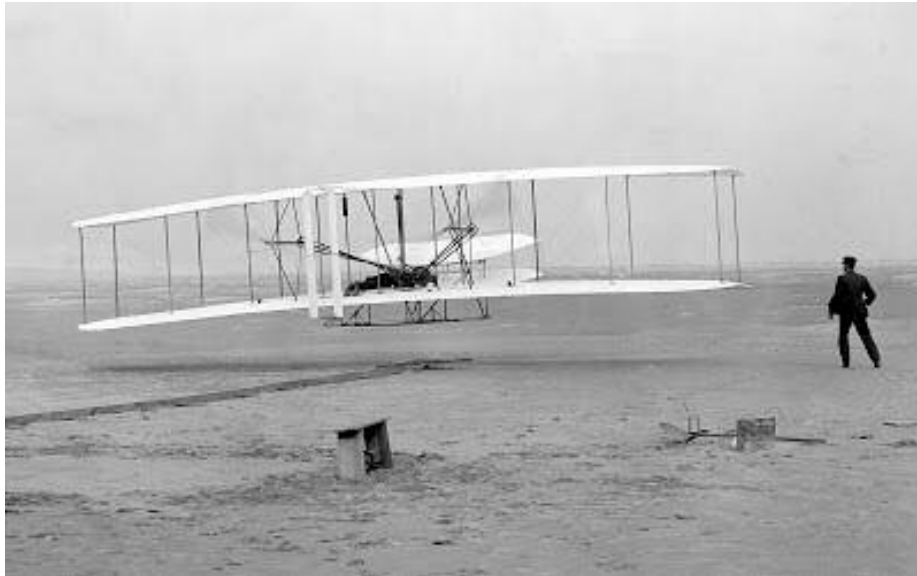
Až do konce 19.století nebyl znám žádný zdroj mechanické energie, který by dokázal vyvinout dostatečný výkon pro vodorovný řízený let. Od počátků konstruktéry provázela myšlenka využití parního stroje, ale zatím nebyly parní stroje dostatečně technicky vyspělé, stále byly moc těžké a dodávaly velmi malý výkon.

První konstruktér, který úspěšně využil parní stroj k pohonu letadla byl francouz Clément Ader, který dne 9.října 1890 vzlétl v Gretz-Armainvilliers poblíž Paříže se strojem Éole vlastní konstrukce bez cizí pomoci. Letoun se vznesl zhruba 20cm nad zem a nekontrolovatelně uletěl vzdálenost 50m. Použitý parní stroj byl čtyřválcový o výkonu 14,7kW a byl relativně lehký, vážil ne více jak 4 kg/kW a celý stroj vážil necelých 300kg.

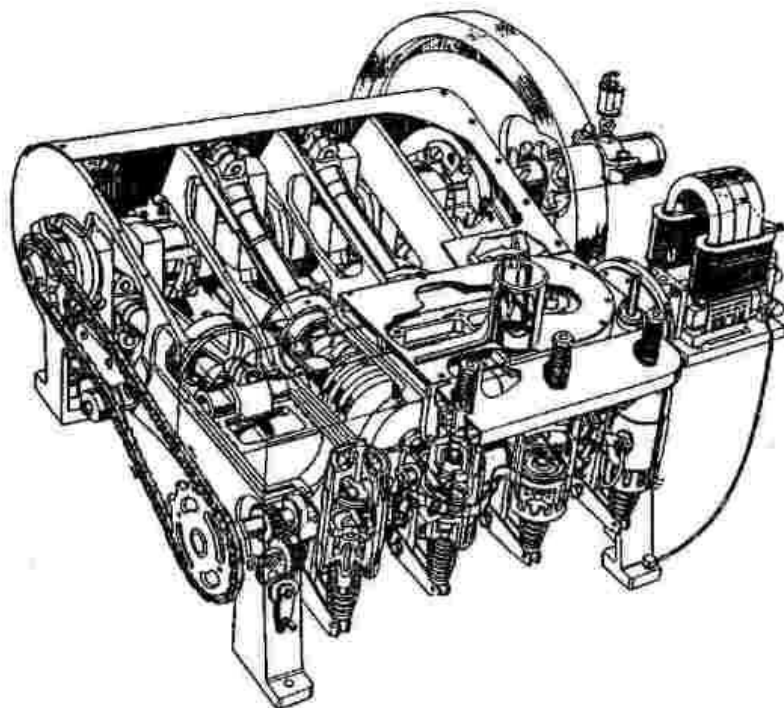


Obr.5 Éole Clémenta Adera poháněna parním motorem [5]

Na přelomu století se společně s rychlým rozvojem automobilového průmyslu dostalo výraznému rozvoji pístového spalovacího motoru, který použili pro svůj letoun nazvaný Flyer bratři Orville a Wilbur Wrightové. První řízený let s letadlem těžší než vzduch provedl Wilbur Wright dne 17.prosince 1903 na Kitty Hawk v Severní Karolíně. Letoun odstartoval z katapultu a nízko nad zemí uletěl 279m a celý let trval 59 sekund. Pístový motor o výkonu 9kW a hmotnosti 77kg poháněl 2 dřevěné vrtule. Vrtule a motor si bratři Wrightové vlastnoručně vyrobili ve své dílně na bicykly v Daytonu.



Obr.6 Wright Flyer – první let 17. Prosince 1903 [6]



Obr.7 Čtyřválcový motor o výkonu 12 koňských sil, který poháněl letoun Flyer [7]

V tomto období byl také zkonstruován rotační motor což byl druh hvězdicového motoru u něhož byla hřídel pevně připevněna ke konstrukci letadla a skříň s válci byla spojena s vrtulí. První pístové motory měly velký problém s vibracemi a tato konstrukce motoru je výrazně snížila. Rotující válce fungovaly jako setrvačnick, který se musel používat u pístových motorů s řadovým uspořádáním což přispívalo k hladšímu chodu motoru. Absence setrvačnicku také snížila hmotnost.



Obr.8 Rotační motor Gnome [8]

Rotační motory se hojně používaly v první světové válce (1914 až 1918), ale ke konci už je začaly nahrazovat hvězdicové motory s pevnými válci u kterých se výkony pohybovaly okolo 220kW – 330kW. V meziválečném období se nadále zvyšovaly výkony. Pro zdolání větších výšek bylo nutno motory opatřit kompresory. Výkony rostly i v průběhu a po skončení druhé světové války a nejsilnější motory dosahovaly téměř 3000kW.

Ve 30.letech 20.století se objevil první proudové motory na kterých pracovali konstruktéři Frank Whittle ve Velké Británii a Hans von Ohain v Německu kde byl vývoj rychlejší a první letoun poháněný pouze proudovým motorem na světě byl Heinkel He 178 který poprvé vzlétl 27.srpna 1939. Až do roku 1944 byl tento letoun s dosahovanou rychlostí až 650km/h rychlejší než jakékoliv vojenské letadlo i když se jednalo jen o testovací letoun.

Vývoj letecké techniky postupoval velmi rychle a s tím se zvyšovaly výkony a dosahované rychlosti. Dne 14.října roku 1947 experimentální letoun Bell X-1 překonal hranici rychlosti zvuku a ve vodorovném letu dosáhl rychlosti 1299km/h což odpovídá Machovu číslu 1,015.

Letoun byl poháněn raketovým motorem XLR-11. Při testovacím letu byl vypuštěn ze speciálně upraveného vojenského bombardéru Boeing B-29 Superfortress a po vyčerpání veškerého paliva doletěl klouzavým letem na základnu Muroc (v dnešní době letecká základna Edwards) v Kalifornii.



Obr.9 První nadzvukový letoun Bell X-1 a v pozadí Boeing B-29 Superfortress [9]

3 Konstrukce leteckých motorů

Letecké motory můžeme rozdělit dle konstrukce na pístové a lopatkové motory.

3.1 Pístové motory

Vůbec první řízený let s použitím spalovacího motoru byl uskutečněn 24.září 1852 francouzem Henri Giffardem, který použil parní stroj o výkonu 2,2kW jako pohon vzducholodi. Parní stroj poháněl třílistou vrtuli, která dokázala vyvinout rychlost něco kolem 8km/h a tudíž byla vzducholod' ovladatelná pouze v bezvětří.

Až po 51 letech byl uskutečněn první říditelný let letounu těžšího než vzduch, který byl poháněn spalovacím motorem. Bylo to 17.prosince 1903 kdy bratři Wilbur a Orville Wrightové v USA vzlétli s letadlem vlastní konstrukce. Letoun byl osazen pístový spalovací motor o výkonu 12 koní, který poháněl přes řetězový převod dvě dřevěné vrtule vlastní výroby.

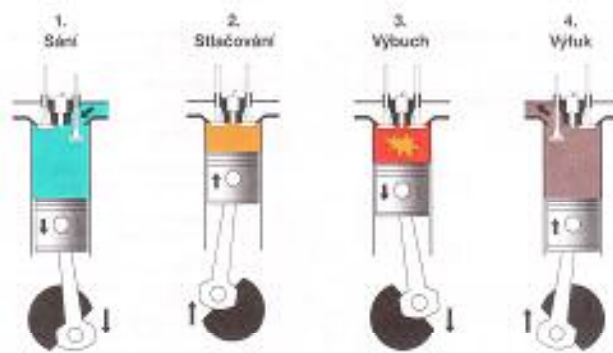
Pístový spalovací motor byl jediným letadlovým motorem, který se používal až do roku 1939 kdy úspěšně vzlétl německý letoun Heinkel He 178 poháněný proudovým motorem HeS3, který zkonstruoval inženýr Hans von Ohain.

Vývoj pístových spalovacích motorů byl velmi urychlen v průběhu druhé světové války pro vojenské účely. V této době se pístové spalovací motory dostaly na technologickou špici, musely být použity nové materiály odolávající vysokým výkonům a teplotám. Po nástupu proudových motorů se vývoj pístových spalovacích motorů prakticky zastavil. Využití se soustřeďuje převážně už jen do oblastí sportovních a malých dopravních letadel.

Pístové letecké motory jsou velmi podobné motorům, které se používají v automobilech. Liší se převážně v uložení válců: řadové, hvězdicové a rotační.

3.1.1 Princip činnosti čtyřdobého zážehového motoru

Pístový spalovací motor pracuje na principu přeměny chemické energie z paliva na energii mechanickou, která pohání výstupní hřídel. Při spalování směsi paliva se vzduchem nám vzniká tepelná energie, která je transformována na pohybovou energii. Chemický proces spalování směsi paliva se vzduchem probíhá v pracovním prostoru motoru, ve válcích a proto se tyto motory nazývají motory s vnitřním spalováním, nebo taktéž spalovací motory.



Obr.10 Schéma práce čtyřdobého zážehového spalovacího motoru [10]

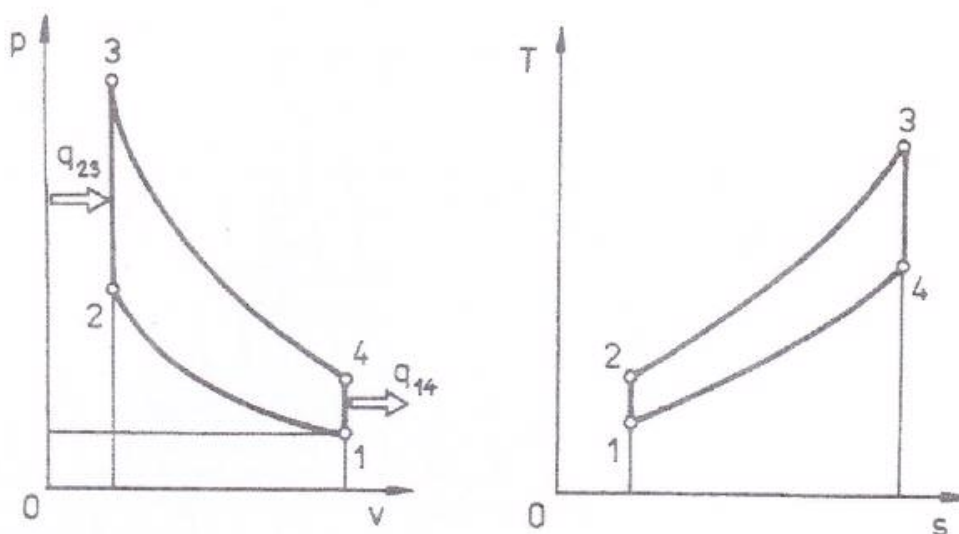
K uskutečnění pracovního pochodu pístového motoru dochází pomocí pohybu pístu mezi horní a dolní úvratí a to způsobí změně objemu náplně. Přenos pohybové energie z pístu na klikovou hřídel je docílen pomocí ojnice. Jeden pracovní oběh u čtyřdobého motoru se uskuteční během čtyř zdvihů.

1. Sání – píst se pohybuje z horní úvratě do dolní úvratě, sací ventil je otevřen a válec se pomocí podtlaku plní směsí paliva a vzduchu

2. Stlačení – píst se pohybuje z dolní úvratí do horní úvratí, dochází ke zvýšení tlaku uvnitř válce

3. Výbuch – těsně před tím než píst dosáhne horní úvratě jiskra zažehne směs, ta při výbuchu expanduje a tlačí píst k dolní úvratí. Při spalování paliva dochází ke zvýšení teploty a tlaku.

4. Výfuk – při posledním cyklu se píst pohybuje z dolní úvratí do horní úvratí, výfukový ventil je otevřen a spaliny jsou pod tlakem vypuštěny z válce do výfukového potrubí a pracovní oběh se opakuje



Obr.11 Porovnávací oběh zážehového pístového spalovacího motoru v $p-v$ a $T-s$ diagramech [11]

3.1.1.1 Spalování – zážehový motor

Abychom dosáhli co největší expanzní práce, musí proces spalování proběhnout ještě před dosažení pístu horní úvratě. Směs je zapálena elektrickou jiskrou v určitém předstihu, což je velmi důležité pro správné spalování a hladký chod motoru.

Předstih je úhel pootočení klikové hřídele v okamžiku zapálení jiskry vůči poloze kdy je píst v horní úvratí. Směs se při hoření šíří od místa vznícení v podobě kulové plochy. Při spalování směsi se ve válci zvyšuje tlak a teplota. Abychom dosáhli hladkého chodu motoru, musíme docílit pozvolného růstu tlaku ve válci.

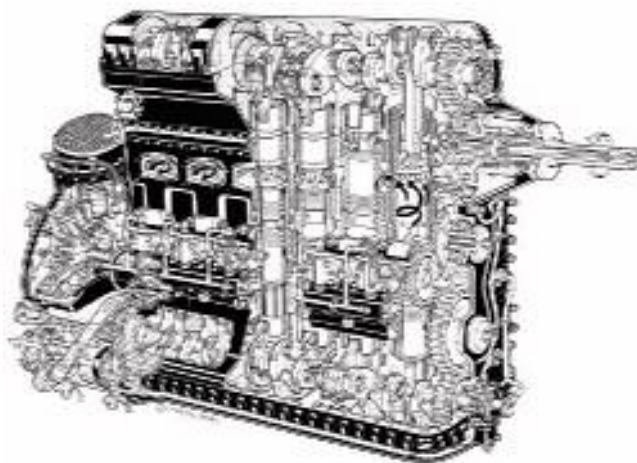
3.1.2 Princip činnosti čtyřdobého vznětového motoru

Mechanický proces u vznětového motoru je podobný procesu zážehového motoru.

Při sání se do válce nenasává směs paliva se vzduchem, ale pouze čistý vzduch, který při stlačování zvýší teplotu a tlak. Těsně před dosažením pístu horní úvratě se do spalovací komory vstříkne palivo. Ve spalovací komoře je vzduch o teplotě vyšší než je bod vzplanutí vstříkovaného paliva a to se samovolně vznítí. U vznětových motorů tudíž není zapotřebí zapalovací svíčky a celého systému zapalování.

Výhody vznětových motorů oproti zážehovým je odpadnutí karburátoru, celého systému zapalování, nižší spotřeba a tudíž i větší dolet. Moderní vznětové motory umí spalovat také palivo pro turbínové motory. Naopak nevýhody jsou malá schopnost krátkodobého přetížení a nižší měrný výkon. Vznětovým motorům v historii nebyla věnována taková pozornost jako motorům zážehovým a tudíž jsou v dnešní době používány jen zřídka a převážně u malých sportovních letadel.

Historicky úspěšný dvoudobý vznětový motor, který se v letectví uchytil byl Junkers Jumo 205. Tento motor měl protiběžné písty a byl montován převážně do letounů Junkers Ju 86.



Obr.12 Řez motorem Junkers Jumo 205 s protiběžnými písty [12]

Hlavní požadavky na letadlové pístové motory podle Kocába a Adamce (2000) [13]

Letadlové pístové motory rozdělujeme podle různých hledisek:

1. druh paliva:
 - a) motory na lehké palivo – motory zážehové
 - b) motory na těžké palivo – motory vznětové

2. pracovní oběh:
 - a) motory čtyřdobé
 - b) motory dvoudobé

3. uspořádání válců (Obr.13):
 - a) motory řadové:
 - jednořadové stojaté
 - jednořadové visuté (invertní)
 - dvouřadové stojaté (motory V)
 - dvouřadové visuté
 - dvouřadové s protilehlými válci (ploché)
 - třířadové (motory W)
 - čtyřřadové (motory H nebo X)
 - b) motory hvězdicové:
 - jednohvězdicové
 - několikahvězdicové

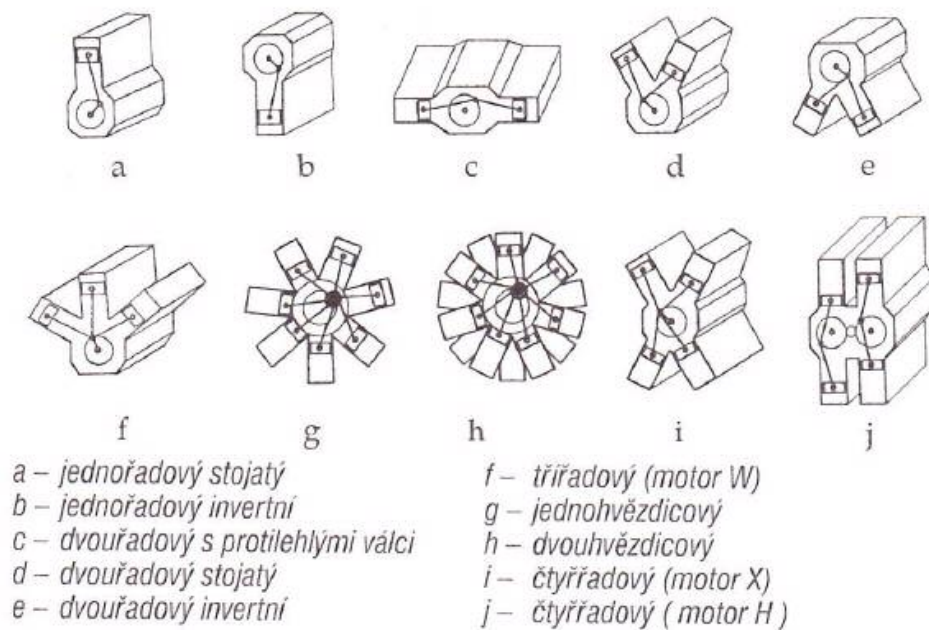
4. počet válců;

5. způsob chlazení:
 - a) motory chlazené vzduchem
 - b) motory chlazené kapalinou

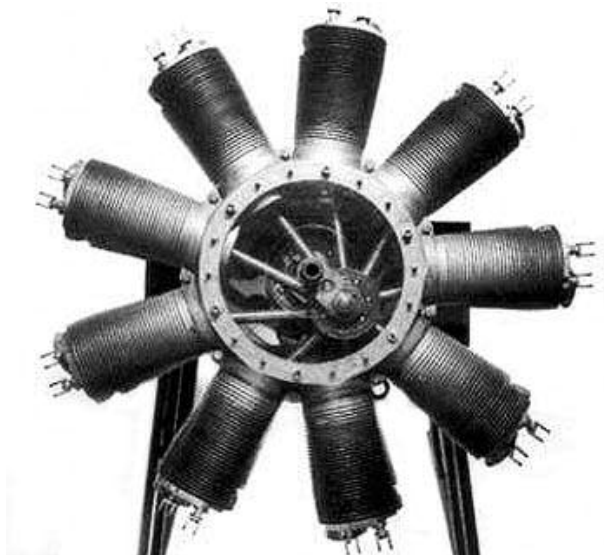
6. změna výkonu s výškou:
 - a) motory výškové
 - b) motory nevýškové

7. účel a výkon:
 - a) motory malého výkonu
 - b) motory středního výkonu
 - c) motory velkého výkonu

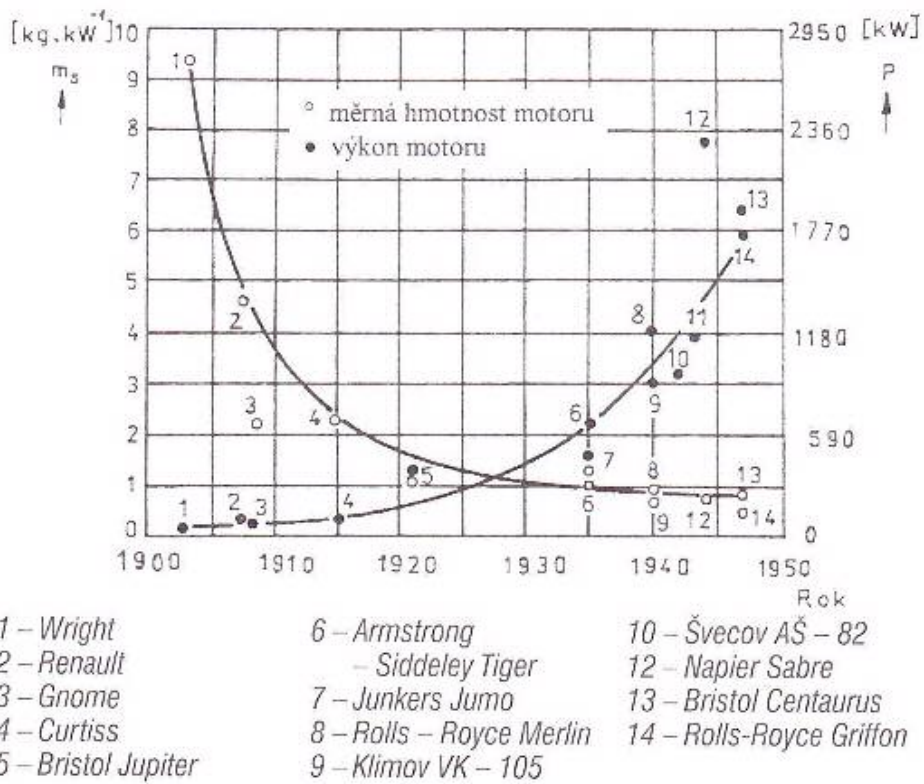
Konstrukční uspořádání válců letadlových pístových motorů jak uvádí Kocáb a Adamec (2000) [14]



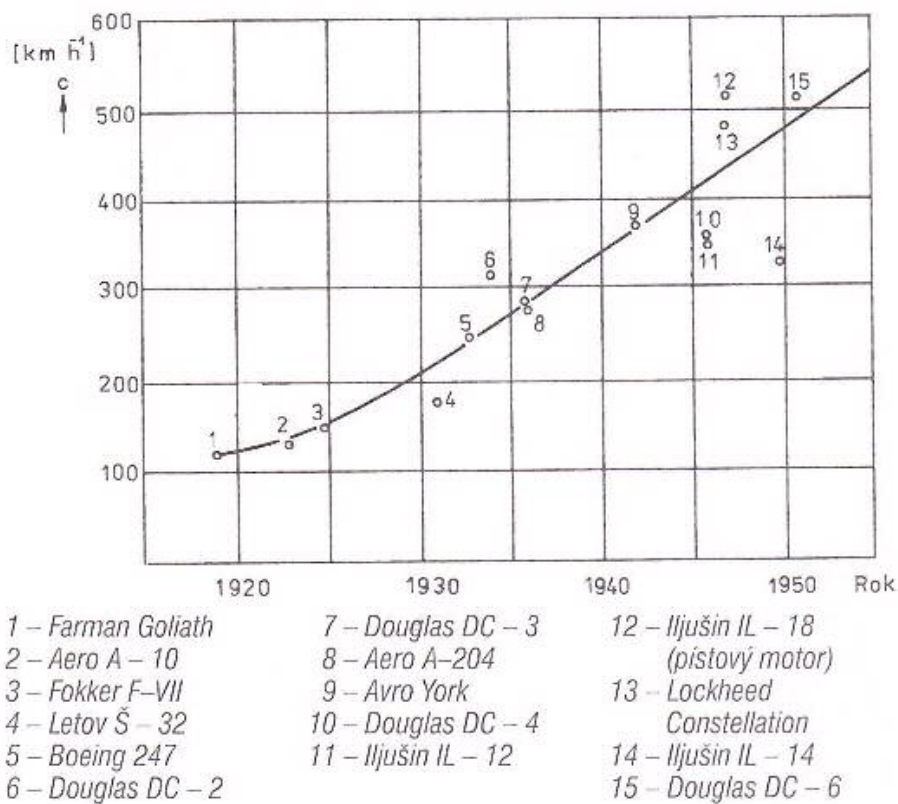
Obr.13 Uspořádání válců letadlových spalovacích motorů [14]



Obr.14 Jednořadový hvězdicový motor [15]



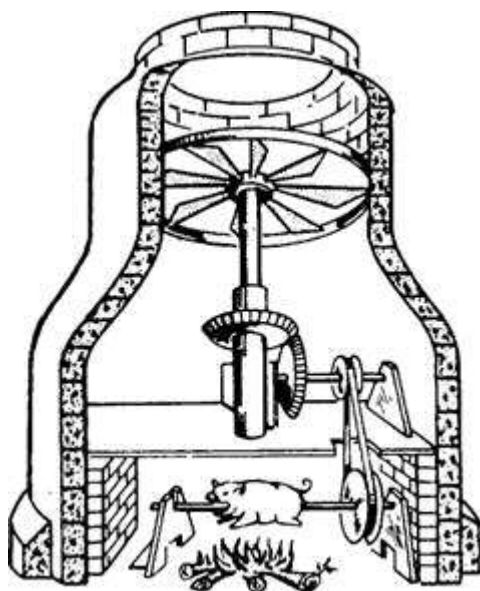
Obr.15 Vývoj letadlových pístových motorů [16]



Obr.16 Cestovní rychlost dopravních letadel s pístovými motory [17]

3.2 Letecké motory lopatkové

Letecké motory lopatkové dále rozdělujeme na proudové a turbohřídelové. Původ těchto motorů můžeme hledat v dávné historii, kdy naši předkové ve středověku používali větrné mlýny. První nákres tepelné turbíny nám přinesl Leonardo da Vinci. Turbína v nákresu byla poháněna horkým vzduchem stoupajícím nad ohništěm a poháněla rožeň, kterým otáčela.



Obr.17 Leonardo da Vinci – využití horkého vzduchu k pohonu turbíny [18]

V roce 1905 sestrojila pařížská firma Sociétés anonymes des Turbomoteurs spalovací turbínu s účinností 3%.

Proudový motor si nechal patentovat roku 1930 Brit Frank Whittle, ale ke zkouškám jeho motoru došlo až v roce 1941, byl namontován do letounu Gloster E.28/39. Během této doby na vývoji proudového motoru usilovně pracoval i Hans von Ohain v Německu, který svůj motor otestoval již v roce 1939 v letounu Heinkel He 178. Motory vyráběné po druhé světové válce používaly radiální kompresory. Se zvyšováním nároků na výkony přestaly radiální kompresory dostačovat a začaly se používat motory s axiálními kompresory.



Obr.18 První britský letoun poháněn proudovým motorem - Gloster E.28/39 [19]

3.2.1 Princip činnosti leteckého lopatkového motoru

Lopatkové motory pracují na principu Newtonova zákona o akci a reakci, spaliny vycházející z motoru působí na něj opačnou silou a tím ho ženou vpřed.

Vstupním ústrojím se do motoru nasaje vzduch do kompresoru kde se stlačí, dále stlačený vzduch pokračuje do spalovací komory kde se do něj vstříkne palivo. V průběhu hoření při konstantním tlaku se zvyšuje teplota spalin a ty dále pokračují přes rozváděcí lopatky do oběžných lopatek turbíny. Část energie se přes oběžné lopatky turbíny využijí na pohon kompresoru a tím se energie částečně vrátí zpět turbíně. Spaliny nadále mají dostatek tlakové a tepelné energie a pokračují ven z výtokové trysky kde se energie přeměňuje v energii kinetickou a tím vytváří tah motoru.

U lopatkových leteckých motorů používáme radiální nebo axiální kompresory.

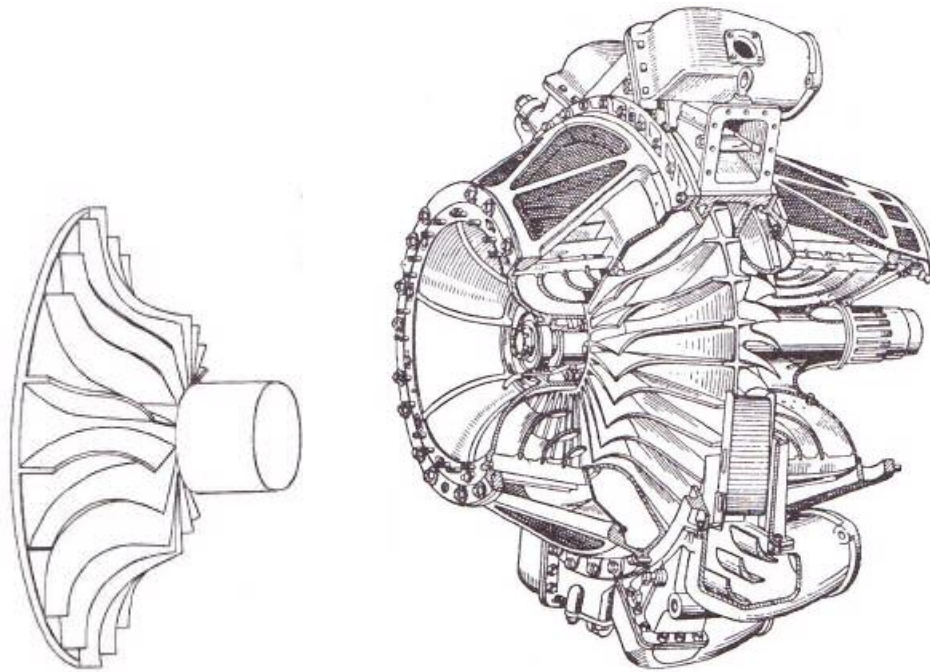
3.2.2 Radiální kompresor

Jedná se o rotační kompresor, vzduch do kompresoru vstupuje v ose otáčení hřídele kompresoru a oběžné kolo opouští v radiálním směru, což znamená kolmo na osu otáčení kompresoru. Vzduch proudící mezi zakřivenými kanály oběžného kola se během průtoku stlačuje a urychluje odstředivou silou.

Z oběžného kola vzduch pokračuje do difusoru, který slouží k snížení rychlosti vzduchu a dalšímu zvýšení tlaku. Tento kompresor má relativně malý kompresní poměr, ale výhodou je vysoká dodávka stlačeného vzduchu.

V případě potřeby je možno vytvořit vícestupňový kompresor řazením jednotlivých kompresorů do série.

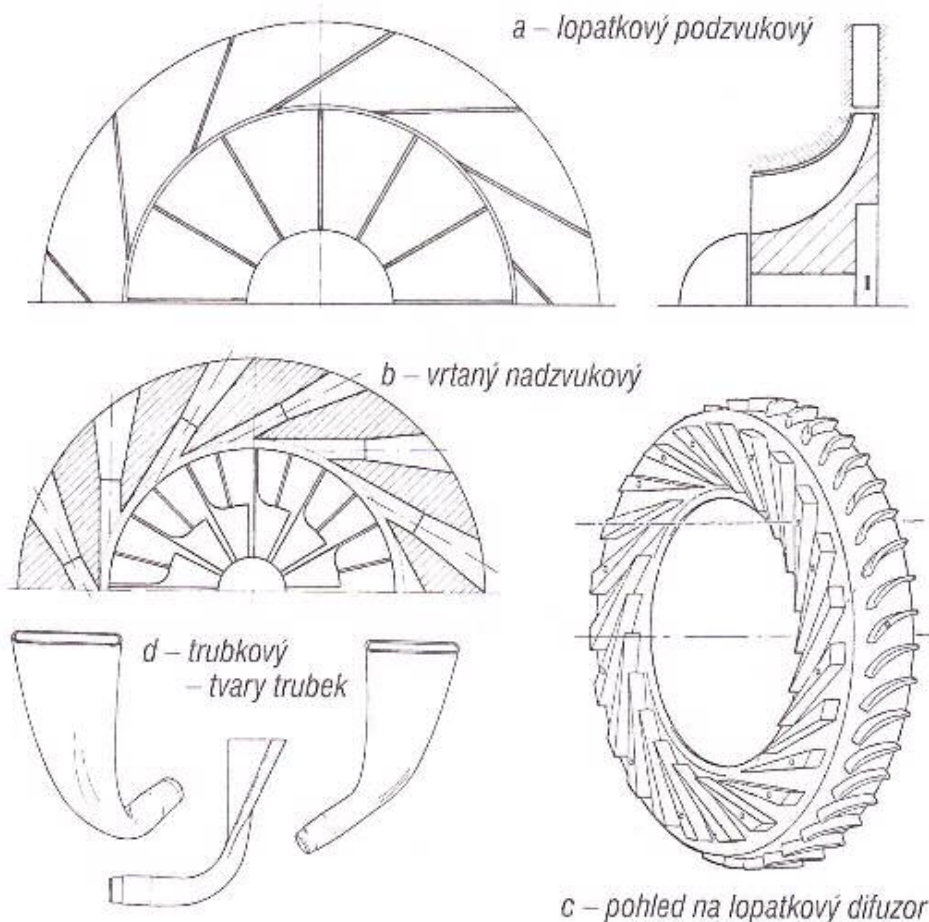
Pro vyšší výkon kompresoru je zapotřebí použít oběžné kolo většího průměru což zapříčiní zvýšení čelního odporu kompresoru a proto se v dnešní době radiální kompresory používají pro motory nižších výkonů jako jsou například pomocné palubní jednotky.



Obr.19 Jednostranné oběžné kolo radiálního kompresoru (vlevo) a radiální kompresor s oboustranným kolem (vpravo) [20]



Obr.20 Tvary lopatek oběžných kol radiálních kompresorů [20]



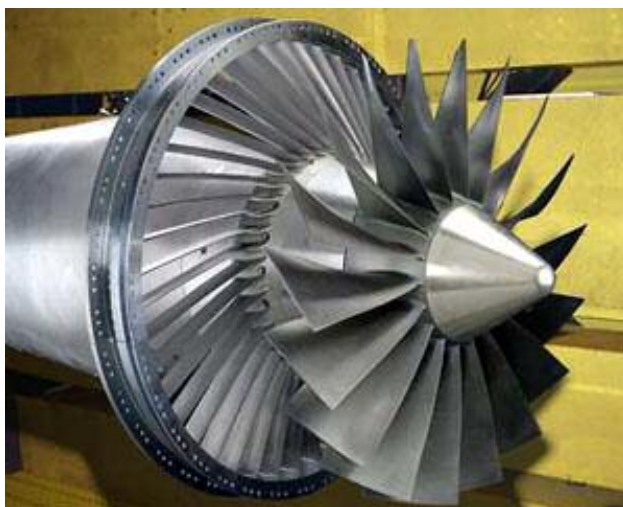
Obr.21 Typy difuzorů radiálních kompresorů [22]

3.2.3 Axiální kompresor

Základem každého axiálního kompresoru je tzv. stupeň, který se skládá z pohyblivého a pevného disku osazeného lopatkami. Stupeň kompresoru, neboli stator a rotor tvoří pracovní část stroje kde se realizuje komprese. Rotor zajišťuje přívod vzduchu a tím i potřebnou energii pro stlačení. Při průchodu vzduchu mezilopatkovým kanálem dochází ke zvýšení rychlosti a tlaku.

Vzduch dále pokračuje na lopatky statorového disku, který je pevně uchycen ke skříni kompresoru, zde se rychlost proudu vzduchu snižuje, ale nadále se zvyšuje jeho tlak a teplota.

Účinnost i kompresní poměr je nižší než u kompresoru radiálního, ale zařazením více stupňů axiálního kompresoru do série dosáhneme mnohem vyšší celkové komprese.



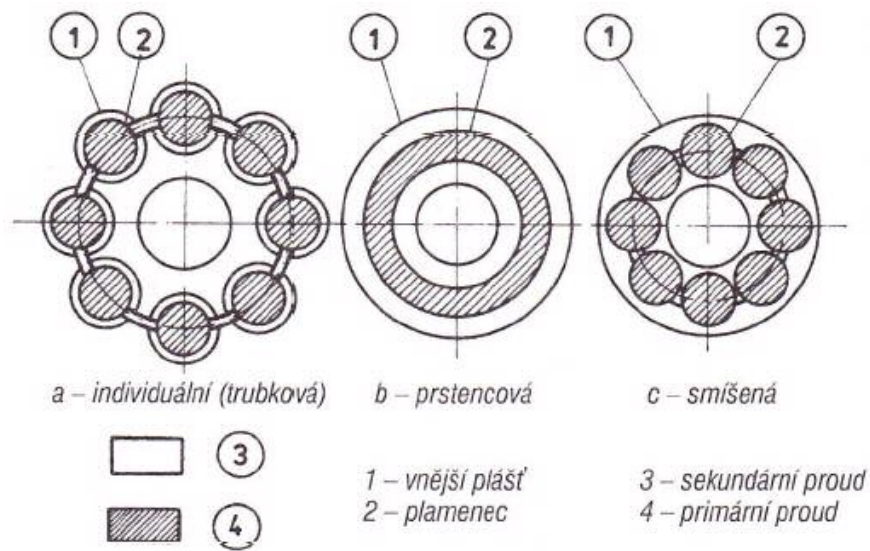
Obr.22 Nízkotlaký axiální kompresor [23]

3.2.4 Spalovací komora

Spalovací komora je konstrukční část motoru kam je přiváděna energie v podobě kapalného paliva a kde probíhá samotný proces spalování. Spalovací komory jsou konstrukčně velmi složité. Základní požadavky na spalovací komory jak uvádí Kocáb a Adamec (2000) [24]:

Základní požadavky:

- stabilita hoření, která zaručuje spolehlivou práci celého motoru;
- vysoká účinnost spalování, ovlivňující nejen ekonomii motoru, ale i jeho vliv na životní prostředí;
- minimální rozměry a hmotnost;
- rovnoměrnost teplotního pole na vstupu do turbíny jak v obvodovém směru, tak i po výšce lopatky (palivo nesmí dohořívát mimo komoru a plamen zasahovat do turbíny);
- spolehlivé spouštění (zapalování) na zemi i ve výšce;
- minimální hydraulické ztráty;
- přiměřená životnost.



Obr.23 Konstrukční dělení spalovacích komor [25]



Obr.24 Detail spalovací komory v řezu [26]

3.3 Proudové

Proudové motory můžeme rozdělit na další kategorie a to jednoproudové, dvouproudové a speciální.

3.3.1 Jednoproudový motor (turbokompresorový)

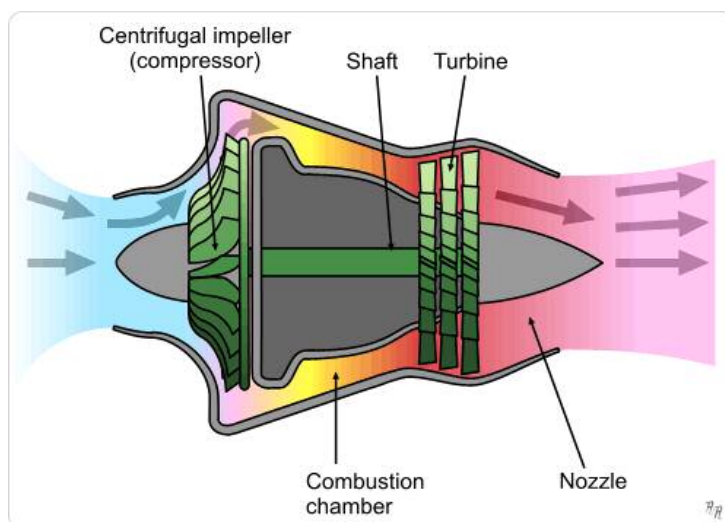
Jednoproudové motory se dnes používají převážně pro vojenská letadla u kterých je požadována nadzvuková rychlost a velký dostup.

Jednoproudové motory jsou ve většině případech vybaveny přídatným spalováním, neboli foršází. Přídatné spalování slouží ke krátkodobému zvýšení tahu, které je zapotřebí při vzletu, bojových manévrech, nebo nadzvukovém letu. Zvýšení tahu je docíleno vstříkáním paliva přímo do výtokové trysky motoru za turbínou, kde se vznítí od horkých plynů. Přídatné spalování docílí zvýšení tahu až o jednu třetinu, ale je také velmi náročné na spotřebu paliva, protože turbína spotřebovala většinu vzduchu při spalování ve spalovací komoře motoru.

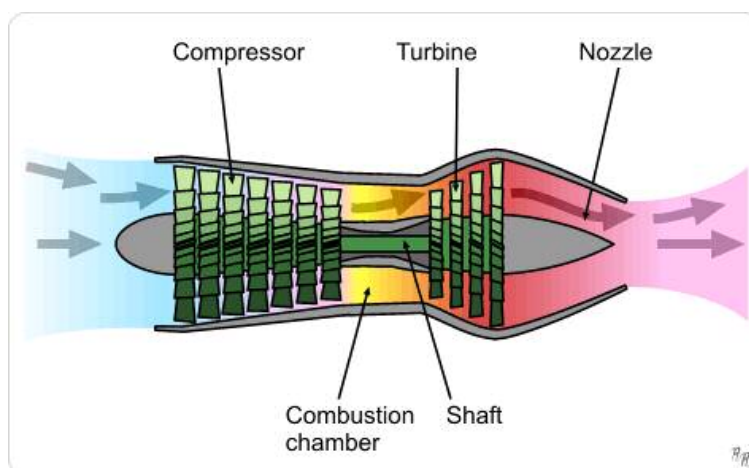
V civilní dopravě bylo přídatné spalování použito pouze u nadzvukových letounů Concorde a Tupolev Tu-144 a přídatné spalování používali pouze při vzletu a překonání zvukové bariéry.



Obr.25 Aérospatiale-BAC Concorde poháněn čtveřicí motorů Rolls-Royce/Snecma Olympus 593 [27]



Obr.26 Proudový motor s radiálním kompresorem [28]



Obr.27 Proudový motor s axiálním kompresorem [29]

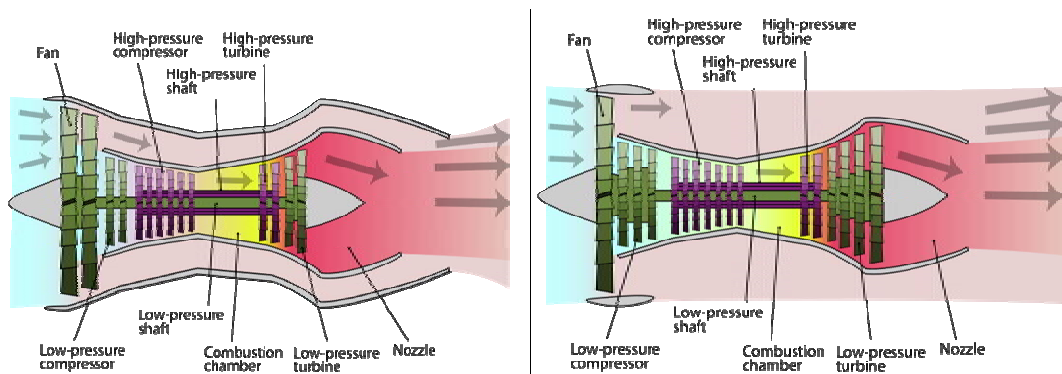
3.3.2 Dvouproudový motor (turbodmychadlové)

Důvod k přechodu od jednoproudových na dvouproudové motory je dosažení vyšší propulzní účinnosti a snížení hluku.

Jak to popisují Kocáb a Adamec [2000]: *“stejného tahu lze dosáhnout urychlením malého množství vzduchu na velkou rychlost nebo velkého množství na podstatně menší rychlost a to při hlučnosti podstatně nižší”*.

U dvouproudových motorů se setkáváme s pojmem obtokový poměr, což je poměr mezi vnitřním a vnějším proudem vzduchu. Obtokový poměr u dopravních letadel se pohybuje někde mezi 3 - 7, u bojových letadel se tento poměr pohybuje v rozmezí 0,3 - 0,8.

Motory které mají vysoký obtokový poměr je většina tahu vyvozena vnějším (chladným) proudem vzduchu, urychlení vnějšího proudu vzduchu je relativně malé a k tomu je zapotřebí menší množství paliva a tím je ekonomičtější než motor s podobným výkonem, ale menším obtokovým poměrem.



Obr.28 Dvouproudový motor s nízkým (vlevo) a vysokým (vpravo) obtokovým poměrem [30]

3.3.2.1 Princip činnosti dvouproudového motoru

Dvouproudový motor pracuje na velmi podobném principu jako motor proudový. Největší odlišností je jednostupňové dmyhadlo na vstupu do motoru. Lopatky dmyhadla jsou dlouhé zhruba 500mm – 1000mm. Dále navíc obsahuje nízkotlaký kompresor, který je na stejné hřídeli a tudíž i poháněna další nízkotlakou turbínou.

Vzduch vstupující do motoru je stlačen dmyhadlem a poté rozdělen na vnitřní a vnější proud. Vnitřní proud vzduchu pokračuje přes nízkotlaký a vysokotlaký kompresor do spalovací komory kde vzduch dosahuje vysokých tlaků a teplot. Ve spalovací komoře dojde ke spálení paliva a dalšímu nárůstu teploty a tlaku. Spaliny dále pokračují přes vysokotlakou a nízkotlakou turbínu, kterým spaliny předají velkou část energie a ta je přes hřídel přenesena zpět na dmyhadlo. Spaliny pokračují dále a opouštějí vysokotlakou část motoru a smísí se s vnějším chladným proudem, který putoval nízkotlakým obtokovým kanálem.

Dvouproudové motory rozdělujeme z konstrukčního hlediska dále na dvouhřídelové a tříhřídelové.

CFM International CFM56

CFM56 je nejrozšířenější dvouproudový motor vyráběn pod hlavičkou firmy CFM Internacional, která patří pod firmy GE Aviation (USA) a SNECMA Moteurs (Francie). Motor CFM56 je v různých modifikacích montován do mnoha typů letadel jako jsou například Boeing 737, Airbus A320 Family, Airbus A340, DC8 a mnoho dalších. Tento motor se poprvé rozeběhl v roce 1974 a dosud se v různých úpravách vyrobilo více než 20000 kusů.



Obr.29 Motor CFM56 [31]

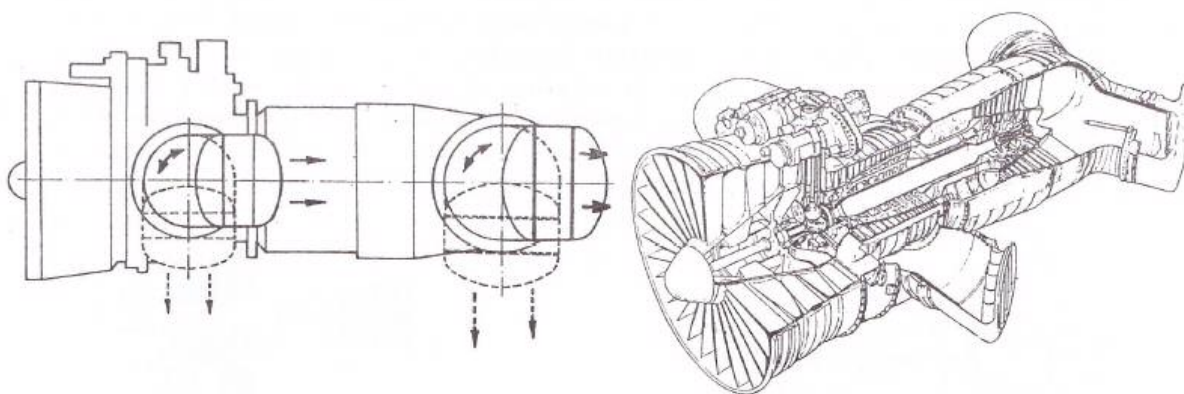


Obr.30 Boeing 737 poháněn dvojicí motorů CFM56 [32]

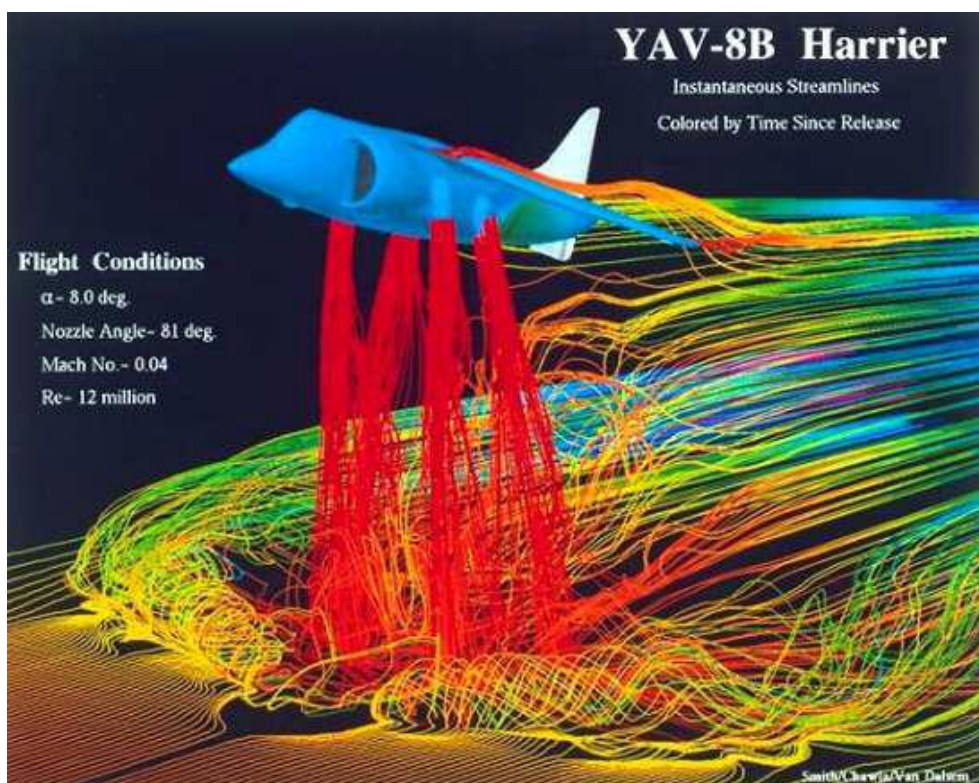
3.3.3 Speciální

3.3.3.1 Motor s měnitelným vektorem tahu - Rolce-Rolce Pegasus

Je speciální dvouproudový motor, který původně navrhla firma Hawker Siddeley a vyrobila ho firma Rolls-Royce. Tento motor umožňuje řízení tahu motoru směrem dolů, který pak může být otočen do horizontálního směru a tím pohánět letoun směrem dopředu. Tento motor umožňuje letounu vertikální vzlet i přistání a může manévrovat jako vrtulník. Při nízkých rychlostech, kdy nefungují aerodynamické řídicí plochy, využívá letoun několika trysek k manévrování.



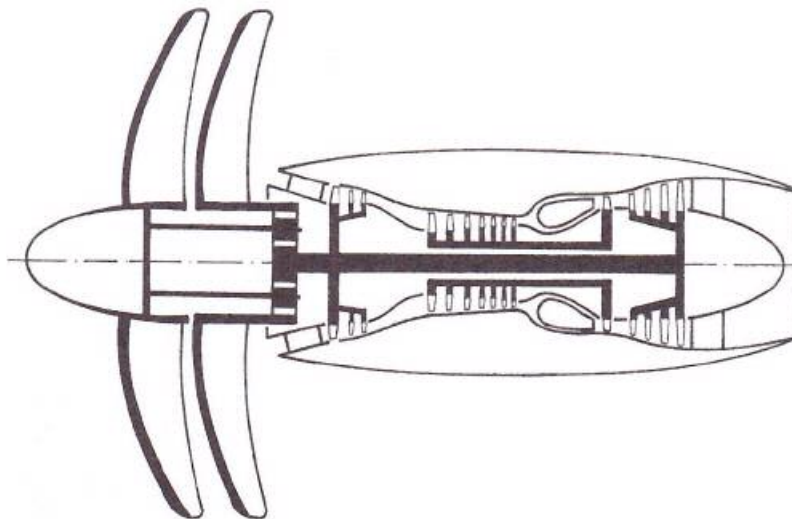
Obr.31 Rolce-Rolce Pegasus – schéma funkce výtokových trysek a řez motorem [33]



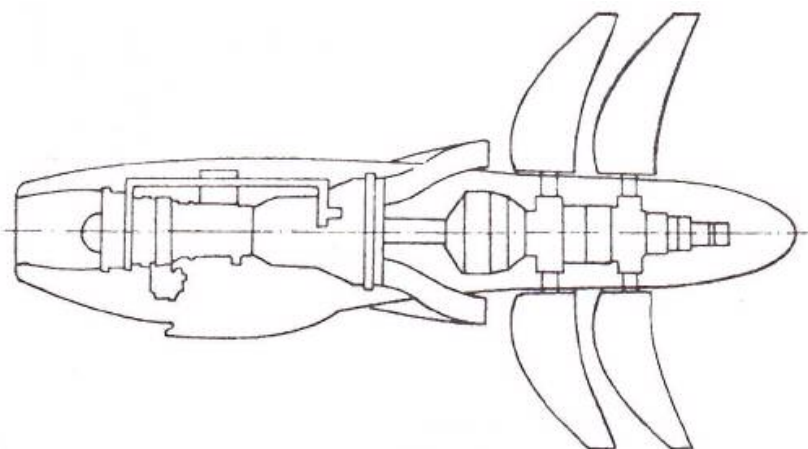
Obr.32 Vizualizace proudění vzduchu při pomalém pohybu vpřed [34]

3.3.3.2 Propfan

Propfan motory se velice podobají turbovrtulovým i proudovým motorům, ale jsou odlišné od obou typů. Motor používá plynovou turbínu kterou pohání vrtuli stejně jako turbovrtulový motor. Motor byl původně zkonstruován pro mnohalisté, různě zahnuté vrtule s vysokou obvodovou rychlostí. Koncepce motoru může být jak v tažném, tak v tlačném provedení.



Obr.33 Propfan v tažném uspořádání [35]



Obr.34 Propfan v tlačném uspořádání [36]

U motorů s tlačnou vrtulí nastává problém s turbulentním prouděním, které vzniká za křídlem. Turbulentní proudění vzniká prouděním vzduchu kolem křídla, za motorovou gondolou a pylonem uchycující motor. Horké spaliny vycházející z výtokové trysky motoru proudí přímo na vrtulové listy a tím pádem odpadá potřeba odmrazovacího systému vrtulí. Vysoká teplota spalin ovlivňuje volbu materiálu listů vrtule. Vrtule se pohání přes reduktor a tím pádem se jedná o turbovrtulový motor.



Obr.35 Antonov An-70 se čtveřicí tažných motorů typu propfan [37]

3.3.3.3 UDF – Motor s nezaplášťovaným dmyhadlem

UDF - (UnDucted Fan)

Tento motor je velmi špatně rozpoznatelný od motoru typu Propfan a principiálně je to kombinace dvou Proudového a turbovrtulového motoru. Dmyhadlo motoru je nezakrytováno a lopatky jsou umístěny mimo kanál. Firma General Electric vyvinula motor GE36 u kterého ke snížení otáček dmyhadla nepoužila reduktor, ale sedmi-stupňovou nízkorychlostní vlnou turbínu. Motor pohání kupředu sada dvou vrtulí (dmyhadel) přičemž zadní vrtule je protiběžná. Stejně jako u Propfanu je obtokový poměr tohoto motoru zhruba 40:1.

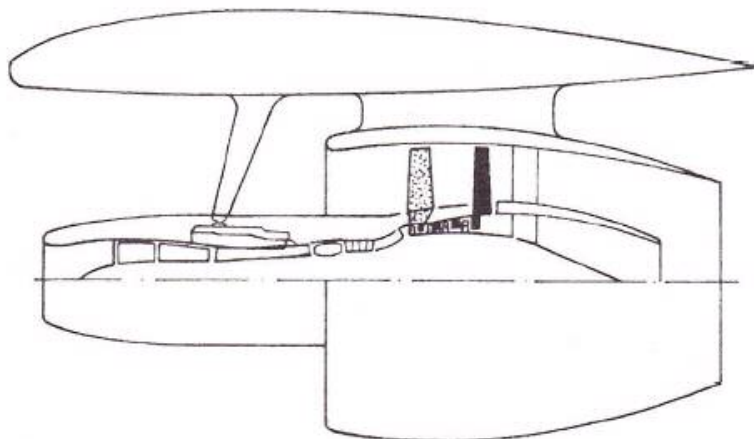


Obr.36 UDF motor GE36 na letounu MD-81 [38]

3.3.3.4 UBE – Motor se zvláště vysokým obtokovým poměrem

UBE (UHBE) – Ultra High Bypass Engine

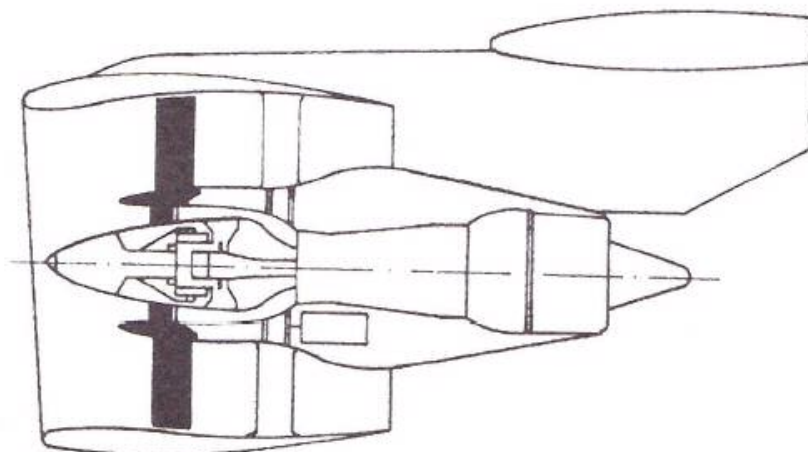
Jedná se o koncept motoru se zvláště vysokým obtokovým poměrem. Dmychadlo motoru je umístěno v kanálu a tím je zvýšena účinnost dmyhadla. Další výhodou je snížení vnějšího hluku, vibrací motoru a spotřeby. Obtokový poměr tohoto motoru je někde okolo 17:1.



Obr.37 Koncepce motoru UHBE [39]

3.3.3.5 Super Fan

Super Fan je motor s klasickým dmychadlem umístěným v kanálu, který zakrývá jenom dmychadlo. Dmychadlo má natáčivé lopatky a je poháněno nízkotlakou turbínou přes reduktor. Stejně jako u předchozích motorů má i tento vysoký obtokový poměr.



Obr.38 Koncepce motoru Super Fan [40]

Z uvedených speciálních motorů se do sériové výroby dostaly pouze motory s měnitelným vektorem tahu a Propfany. Zbylé motory jsou pouze koncepty, které se do sériové výroby nedostaly, protože stále skrývají určité nebezpečné konstrukční prvky, které se zatím nedaří odstranit.

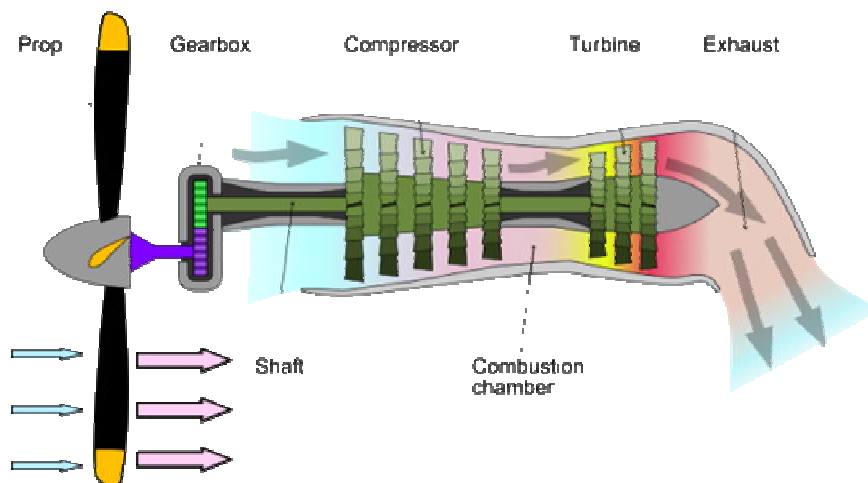
Velký problém s kterým se vývojáři potýkají je poškození lopatek dmyhadla cizími předměty jako je například hejno ptáků. Lopatky dmyhadla mají vysokou obvodovou rychlost a pokud by lopatka nevydržela poškození a oddělila se od rotoru, tak by mohla způsobit poškození trupu a v případě, že by se letoun pohyboval v letové hladině kde je kabina přetlakována, tak by následky byly fatální.

Až se vyřeší tento problém, tak teprve v tento moment se může uvažovat o sériové výrobě a zda jsou ekonomické a ekologické hlediska těchto motorů výhodnější.

3.3.4 Turbovrtulový motor

Turbovrtulový motor se skládá ze stejných konstrukčních částí jako motor proudový a funguje prakticky na stejném principu s jedním velkým rozdílem. Většina energie vytvořená motorem je využita k pohonu vrtule a pouhých 10 - 15% energie se přímo podílí na tahové síle motoru.

Z důvodu vysokých otáček hřídele musí být vrtule poháněna přes reduktor aby se snížily otáčky vrtule. Tím se zamezí aby se konce vrtule nepohybovaly nadzvukovou rychlostí což je nežádoucí.



Obr.39 Schéma turbovrtulového motoru [41]

4 Paliva používaná v letectví

V letectví se používá několik druhů pohonných hmot, ale nejrozšířenější jsou letecký benzín a letecký petrolej.

4.1 Letecký benzín

Letecký benzín AVGAS se používá pro zážehové pístové motory a je vyráběn ve dvou druzích, které se liší obsahem olova.

Od automobilového benzínu se ten letecký liší jen velmi málo. U leteckého benzínu jsou jiné hodnoty teplot destilace kdy teplota počátku destilace se zvýšila a teplota konce se snížila, také těkavost paliva je nižší než u benzínu automobilového. Velký důraz se klade hlavně na čistotu paliva z důvodu bezpečnosti.

4.2 Letecký petrolej

Letecký petrolej se používá pro proudové motory a tím pádem je to nejrozšířenější palivo v letectví. Existuje mnoho druhů leteckého petroleje, ale nepoužívanější je JET A-1.

Letecký petrolej je svými vlastnostmi velmi podobný automobilové naftě pro arktické podmínky. Specifikace paliva musí odpovídat mnohem náročnějším provozním podmínkám než je tomu u automobilové nafty a stejně jako u leteckého benzínu je kladen velký důraz na čistotu paliva, protože se v žádném případě nesmí stát, aby motor selhal z důvodu nekvalitního paliva.

Automobilový benzín Natural 95 není schválen jako letecký benzín a nesmí se používat pro letecké práce, což znamená u letů podléhající obchodní činnosti. Natural 95 se používá pouze u soukromých letadel se zážehovými motory.

5 Spolehlivost a bezpečnost

Podle statistik je bezpečnější létat než jezdit autem. Otázka bezpečnosti a spolehlivosti jsou v letectví prioritou. Lidé se často bojí létat z důvodu, že o letadlech a letectví skoro nic nevědí, je to pro ně velká neznámá. Letadla létají velmi vysoko a když se něco porouchá, tak je osud všech pasažérů v rukou pilotů.

Letectví za dobu své existence prodělalo mnoho vážných nehod, že kterých jsme se ponaučili a udělali vše pro to aby se už neopakovala.

Letadla jsou velmi složité stroje, které řídí počítače a když se za letu něco porouchá, tak to nesmí ovlivnit bezpečnost letu. Všechny systémy na letadle jsou několikrát jištěny, takže výpadek jednoho systému nemůže zapříčinit ohrožení letu, ale pouze přistání na nejbližším letišti.

Každý typ letadla má předepsaný počet letových hodin, nebo cyklů po kterých musí být zkontrolováno a také se vždy liší stupněm kontroly. I každá součástka má svou předepsanou životnost, kterou když překročí, tak musí být vyměněna i když stále funguje bez závad.

V neposlední řadě jsou tu piloti, kteří jsou trénováni na nestandardní a nouzové postupy.

Lidé se tedy nemusí bát létat, protože se jedná o jedno z nejbezpečnějších druhů přepravy.

I piloti jsou jenom lidé, kteří mají doma milující rodiny a přátelé ke kterým se chtějí každý večer vracet.

Bezpečností v letectví se zabývá mnoho organizací jako je například EASA (European Aviation Safety Agency), která má působnost po Evropě. EASA vydává právní předpisy pro bezpečnost v civilním letectví a dohlíží na jejich dodržování. Předpisy, které vydá EASA bývají velmi často doplněny a rozšířeny jednotlivými členskými státy.

V České Republice nad civilním letectvím dohlíží Úřad pro civilní letectví (ÚCL), které je podřízeno Ministerstvu dopravy.

6 Doporučení a závěr

Bakalářskou práci na téma „Letecké spalovací motory“ jsem si vybral z důvodu, že mi je tento obor velmi blízký a osobně se v tomto oboru pohybuji jako pilot malých sportovních letadel.

V této práci byla zpracována historie letectví od prvopočátku se zaměřením na konstruktéry, kteří vynalezli zásadní konstrukční prvky a kteří se zasloužili o veliké pokroky v letectví.

Zásadní část celé práce je zaměřením se na letadlové pohonné jednotky, u všech jsme si zjednodušeně vysvětlili princip činnosti a základní konstrukční prvky motorů. Přehled je konstrukcí a motorů je neúplný, protože rozsah této práce nám neumožnil se zmínit o všech, tak jsem dle svého uvážení představil ty nejdůležitější a nejzajímavější konstrukce motorů.

Směr jakým se letectví bude ubírat do budoucna je velmi jednoduchý. I v letectví se řeší globální problémy jako jsou emisní znečištění ovzduší, nejjisté zásoby ropy, snížení spotřeby atd.

Letectví se do budoucna bude odebírat zelenou cestou ekologie. Výrobci se snaží vymyslet pohony na alternativní paliva jako jsou například vodík, pohon na elektrickou energii, která by byla dobíjena solárními panely.

Poslední dobou se ve světě také hodně mluví o létajících automobilech, které by byly schopny fungovat jako klasický automobil a také jako letadlo. Existují i funkční prototypy létajících automobilů, ale dle mého názoru toto není ten správný krok kupředu a velmi by to snížilo bezpečnost v letectví.

Budoucnost leteckých motorů se bude uchylovat směrem zvyšování výkonů a bezpečnosti, snižování emisí používáním biopaliv, změna používaných materiálů za lehčí, snižování spotřeby, atd. Ale také se mluví o vývoji nové pohonné jednotky, která by nahradila stávající proudové motory, které slouží prakticky beze změn již 50 let.

Kam se vývoj v letectví bude opravdu pohybovat se můžeme jen a pouze domnívat a zbytek nám ukáže čas.

K sepsání této literární rešerše jsem využíval literaturu a online weby zabývající se touto problematikou. Tyto zdroje jsem také využil k zapůjčení obrázků, které čtenáři napomohou si udělat lepší představu k dané problematice.

Pro tuto rešerši máme pouze omezený možný rozsah a z tohoto důvodu jsem si důkladně prostudoval veškeré zdroje a vybral jsem jen to nejdůležitější co je potřeba k pochopení dané problematiky.

7 Seznam použité literatury

KOCÁB, Jindřich – ADAMEC, Josef. *Letadlové motory*.

1. vydání. Praha: KANT, 2000. 176s. ISBN: 80-902914-0-6

BALEJ, Jan – SVITÁK, Pavel – PLOCEK, Petr. *Historie letectví*.

1. vydání, Brno: CPress, 2012. 240s. ISBN: 978-80-264-0041-7

POHL, Rudolf – KOCÁB, Jindřich – ŠESTÁK, Jan. *Vrtulníky a letadlové pohonné jednotky*.

1. vydání, Praha: ČVUT, 2005. 248s. ISBN: 80-01-03160-8

ADAMEC, Josef – et.al.. *Pohonná jednotka*.

1. vydání, Brno: CERM, 266s. ISBN: 80-7204-477-X

POHL, Rudolf, *Úvod do dopravní a manipulační techniky I.*

1. vydání, Praha: ČVUT, 335s. ISBN: 80-01-02292-7

KROTKÝ, Jan, *Letecké pohonné a mazací hmoty*.

1. vydání, Praha: ČVUT, 156s. ISBN: 57-653-79

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] *Encyclopedia Britannica Kids* [Online]. [cit. 2013-2-11]
Dostupný z www.: <http://kids.britannica.com/comptons/art-118322/Although-the-airplane-was-not-invented-until-the-early-20th>
- [2] *Online Gallery Leonardo da Vinci* [Online]. [cit. 2013-2-11]
Dostupný z www.:
<http://www.bl.uk/onlinegallery/features/leonardo/glider.html>
- [3] *Yorkshire philosophical society* [Online]. [cit. 2013-2-11]
Dostupný z www.: <http://www.ypsyork.org/resources/yorkshire-scientists-and-innovators/george-cayley/>
- [4] *Wikipedia: The free Encyclopedia* [Online]. 2006 [cit. 2013-2-11]
Dostupný z www.: http://cs.wikipedia.org/wiki/Otto_Lilienthal
- [5] *Les Archives Bleues* [Online]. 2012 [cit. 2013-2-11]
Dostupný z www.:
<http://lesarchivesbleues.wordpress.com/2012/05/13/le-premier-avion-eole-de-clement-ader/>
- [6] *Free Widescreen Wallpapers* [Online]. [cit. 2013-2-11]
Dostupný z www.:
<http://freewidescreenwallpapers.blogspot.cz/2008/01/wright-flyer-1680-x-1050-widescreen.html>

- [7] *1903 Wright engine* [Online]. [cit. 2013-2-11]
Dostupný z www.: http://www.wright-brothers.org/Information_Desk/Just_the_Facts/Engines_&_Props/1903_Engine.htm
- [8] *Turbosquid* [Online]. [cit. 2013-2-11]
Dostupný z www.: <http://www.turbosquid.com/3d-models/3d-gnome-rotary-engine/414593>
- [9] *Aviation Photo Geek* [Online]. [cit. 2013-2-11]
Dostupný z www.: <http://aviationphotogeek.com/5566/viewliner-ltd-bell-x-1-with-boeing-b-29-superfortress-mothership>
- [10] ADAMEC, Josef – et.al.. *Pohonná jednotka*.
1. vydání, Brno: CERM, 266s. ISBN: 80-7204-477-X
- [11] ADAMEC, Josef – et.al.. *Pohonná jednotka*.
1. vydání, Brno: CERM, 266s. ISBN: 80-7204-477-X
- [12] *The full Wiki* [Online]. [cit. 2013-2-11]
Dostupný z www.: http://www.thefullwiki.org/Junkers_Jumo_205
- [13] KOCÁB, Jindřich – ADAMEC, Josef. *Letadlové motory*.
1. vydání. Praha: KANT, 2000. 176s. ISBN: 80-902914-0-6
- [14] KOCÁB, Jindřich – ADAMEC, Josef. *Letadlové motory*.
1. vydání. Praha: KANT, 2000. 176s. ISBN: 80-902914-0-6
- [15] *Hargrave the pioneers* [Online]. [cit. 2013-2-11]
Dostupný z www.:
<http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/sopwith2.html>
- [16] KOCÁB, Jindřich – ADAMEC, Josef. *Letadlové motory*.
1. vydání. Praha: KANT, 2000. 176s. ISBN: 80-902914-0-6
- [17] KOCÁB, Jindřich – ADAMEC, Josef. *Letadlové motory*.
1. vydání. Praha: KANT, 2000. 176s. ISBN: 80-902914-0-6
- [18] *Integrated publishing* [Online]. [cit. 2013-2-11]
Dostupný z www.: <http://www.tpub.com/fireman/44.htm>
- [19] *Wikipedia: The free Encyclopedia* [Online]. 2006 [cit. 2013-3-2]
Dostupný z www.: http://cs.wikipedia.org/wiki/Gloster_E.28/39
- [20] KOCÁB, Jindřich – ADAMEC, Josef. *Letadlové motory*.
1. vydání. Praha: KANT, 2000. 176s. ISBN: 80-902914-0-6
- [21] KOCÁB, Jindřich – ADAMEC, Josef. *Letadlové motory*.
1. vydání. Praha: KANT, 2000. 176s. ISBN: 80-902914-0-6

- [22] KOCÁB, Jindřich – ADAMEC, Josef. *Letadlové motory*. 1. vydání. Praha: KANT, 2000. 176s. ISBN: 80-902914-0-6
- [23] *Avetec* [Online]. 2006 [cit. 2013-3-2]
Dostupný z www.: <http://www.avetec.org/applied-research/modeling-simulations/fullengine.shtml>
- [24] KOCÁB, Jindřich – ADAMEC, Josef. *Letadlové motory*. 1. vydání. Praha: KANT, 2000. 176s. ISBN: 80-902914-0-6
- [25] KOCÁB, Jindřich – ADAMEC, Josef. *Letadlové motory*. 1. vydání. Praha: KANT, 2000. 176s. ISBN: 80-902914-0-6
- [26] *Wikipedia commons* [Online]. 2006 [cit. 2013-3-2]
Dostupný z www.:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Combustion_chamber_RD-45F.JPG
- [27] *Wikipedia: The free Encyclopedia* [Online]. 2006 [cit. 2013-3-2]
Dostupný z www.: <http://en.wikipedia.org/wiki/Concorde#Engines>
- [28] *Wikipedia: The free Encyclopedia* [Online]. 2006 [cit. 2013-3-2]
Dostupný z www.:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Proudov%C3%BD_motor
- [29] *Wikipedia: The free Encyclopedia* [Online]. 2006 [cit. 2013-3-2]
Dostupný z www.:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Proudov%C3%BD_motor
- [30] *Wikipedia: The free Encyclopedia* [Online]. 2006 [cit. 2013-3-2]
Dostupný z www.:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Turbodmychadlov%C3%BD_motor
- [31] *CFM* [Online]. 2006 [cit. 2013-3-2]
Dostupný z www.: <http://www.cfmaeroengines.com/engines/cfm56-5b>
- [32] *Wikipedia: The free Encyclopedia* [Online]. 2006 [cit. 2013-3-4]
Dostupný z www.:
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Air_Berlin_B737-700_Dreamliner_D-ABBN.jpg
- [33] POHL, Rudolf – KOCÁB, Jindřich – ŠESTÁK, Jan. *Vrtulníky a letadlové pohonné jednotky*. 1. vydání, Praha: ČVUT, 2005. 248s. ISBN: 80-01-03160-8
- [34] *Aerospaceweb* [Online]. 2006 [cit. 2013-3-4]
Dostupný z www.:
<http://www.aerospaceweb.org/question/planes/q0042.shtml>

- [35] KOCÁB, Jindřich – ADAMEC, Josef. *Letadlové motory*. 1. vydání. Praha: KANT, 2000. 176s. ISBN: 80-902914-0-6
- [36] KOCÁB, Jindřich – ADAMEC, Josef. *Letadlové motory*. 1. vydání. Praha: KANT, 2000. 176s. ISBN: 80-902914-0-6
- [37] *Key Aero* [Online]. 2006 [cit. 2013-3-4]
Dostupný z www.:
http://www.key.aero/view_news.asp?ID=2768&thisSection=military
- [38] *The Localiser* [Online]. 2006 [cit. 2013-3-4]
Dostupný z www.:
<http://wehavethelocaliser.blogspot.cz/2011/04/next-generation-engines.html>
- [39] KOCÁB, Jindřich – ADAMEC, Josef. *Letadlové motory*. 1. vydání. Praha: KANT, 2000. 176s. ISBN: 80-902914-0-6
- [40] KOCÁB, Jindřich – ADAMEC, Josef. *Letadlové motory*. 1. vydání. Praha: KANT, 2000. 176s. ISBN: 80-902914-0-6
- [41] *Wikipedia: The free Encyclopedia* [Online]. 2006 [cit. 2013-3-4]
Dostupný z www.:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Turbovrtulov%C3%BD_motor