



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

SPECIÁLNÍ PÍSTOVÉ POHONNÉ JEDNOTKY LETOUNŮ VŠEOBECNÉHO LETECTVÍ

THE SPECIAL PISTON ENGINES ON THE GENERAL AVIATION AIRCRAFT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

IVO MOTYČKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL IMRIŠ, Ph. D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ivo Motyčka

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

obor: **Profesionální pilot (3708R030)**

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

Speciální pístové pohonné jednotky letounů všeobecného letectví

v anglickém jazyce:

The special piston engines on the general aviation aircraft

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provozní podmínky letounů všeobecného letectví. Požadavky předpisů JAR – FCL 1 na letouny pro letecký výcvik do úrovně ATPL. Přehled běžných a speciálních letadlových pohonných jednotek. Rozbor technických, provozních a ekonomických parametrů jednotlivých druhů, včetně vybraných typů pohonných jednotek, vhodných pro letouny používané v leteckých školách.

Cíle bakalářské práce:

Analýza dosažitelnosti a využitelnosti jednotlivých druhů a typů pístových pohonných jednotek pro výcvikové letouny s důrazem na technicko-ekonomické parametry.

Seznam odborné literatury:

- [1] KOCÁB,J.- ADAMEC,J. Letadlové motory, Praha: KANT CZ s.r.o., 2000
- [2] Theoretical Knowledge Manual ATPL, Frankfurt: Jeppesen GmbH, 2001
- [3] BACHMANN,P. Ein- und zweimotorige Flugzeuge, Stuttgart: Motorbuch Verlag 1993
- [4] Předpis JAR-FCL 1

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Imriš, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 26.11.2010



prof. Ing. Antonín Pištěk, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Tématem této bakalářské práce jsou speciální pístové pohonné jednotky v letectví. V první části je nastíněna historie vývoje pístových pohonných jednotek a princip činnosti pístových pohonných jednotek. Dále je prostor věnován už konkrétním speciálním pístovým pohonným jednotkám, jejich přínosům pro letectví, nevýhodám, principu a rozšíření v oblasti všeobecného letectví. Jsou zde zohledněny požadavky předpisů JAR-FCL 1 při certifikaci pohonných jednotek. Dále je práce věnována provozním podmínkám letounů. V závěru je provedeno srovnání speciálních pístových pohonných jednotek s jednotkami, které jsou běžně používány.

KLÍČOVÁ SLOVA

Speciální pístové pohonné jednotky, wankelův motor, vznětová pohonná jednotka, provozní podmínky

ABSTRACT

Topic of this bachelors thesis are Special piston engines on the general aviation aircraft. In the first part, the historical development is adumbrate and their operating principle. Next part deals with particular special piston engines, expansion, advantages and disadvantages, principles and their impact for general aviation. There are impeaching demands of JAR-FCL 1 rules in certification of engines. Next part is being paid to operating conditions of aeroplanes. At last the confrontation between special piston engines and most used engines of general aviation is made.

KEYWORDS

Special piston engines, wankel engine, diesel engine, operating conditions

Bibliografická citace

MOTYČKA, I. *Speciální pístové pohonné jednotky letounů všeobecného letectví*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Imriš, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem byl seznámen s předpisy pro vypracování bakalářské práce že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Pavla Imriše, Ph.D.

V Brně dne:

Ivo Motyčka

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Pavlu Imřišovi, Ph. D. za jeho rady a vedení, cenné informace a připomínky. Dále panu Janu Novákovi z GE Aviation za informace o certifikaci leteckých pohonných jednotek, Petře Illkové za provedení korekce a všem přátelům a známým, kteří mě během mého studia podporovali.

„Vynalézt aeroplán je nic, postavit ho je něco, létat je všechno.“

Otto Lilienthal

Obsah

1. Úvod	10
2. Obecně o pístových pohonných jednotkách	11
2.1 Princip činnosti pístových pohonných jednotek	11
2.2 Rozdělení letadlových pístových pohonných jednotek	16
2.3 Vývoj pístových pohonných jednotek	17
3. Speciální pístové pohonné jednotky	23
3.1 Wankelův motor	23
3.2 Vznětové pohonné jednotky	27
3.3 Pohonné jednotky s reduktorem	28
4. Provozní podmínky letounů	31
4.1 Vliv prostředí na provoz pohonných jednotek	32
5. Srovnání pohonných jednotek speciálních a běžných	33
6. Licencování pístových pohonných jednotek z hlediska JAR-FCL 1	34
7. Závěr	36
8. Seznam použitých zkratk	37
9. Seznam použité literatury	38
10. Přílohy	39
10.1 Obrazová příloha	39
10.2 Elektropohon	43

1. Úvod

Pístová pohonná jednotka má pro letadlo značný význam. Slouží k udržení ustáleného, horizontálního letu a ke zrychlení letadla dodáním dostatečné tahové síly. Tato síla vzniká při transformaci energie tepelné, která je chemicky vázaná v palivu, na energii mechanickou, která je využita pro pohon vrtule. Od počátku 20. století prodělal vývoj pohonných jednotek obrovský posun. Během vývoje se objevily pohonné jednotky, které se svou konstrukcí vymykaly zaběhnutým trendům. Vznikaly speciální konstrukce pohonných jednotek, u kterých byla snaha překonat dosavadní vývoj pohonných jednotek v určitých parametrech, jako byl výkon pohonné jednotky, váha, spotřeba, spolehlivost, účinnost. Většinou tyto snahy narazily na úskalí, která se někdy podařilo, někdy bohužel nepodařilo překonat. Cílem této práce je vytvořit přehled těchto speciálních pístových pohonných jednotek, srovnat jejich klady a zápory při použití u letadel všeobecného letectví.

2. Obecně o pístových pohonných jednotkách

Pohonná jednotka má svůj význam při použití u letadel zejména ten, že roztáčí vrtuli, která urychluje proud vzduchu a vytváří tah nutný pro zrychlení letadla a překonání odporu vzduchu. Toto se děje díky převodu tepelné energie, chemicky vázané v palivu, na energii kinetickou, která roztáčí klikovou hřídel. Kliková hřídel je spojená s vrtulí.

2.1 Princip činnosti pístových pohonných jednotek

Aby bylo snadnější pochopit princip práce pístových pohonných jednotek, je třeba znát základní teorii termodynamických jevů, jelikož děje probíhající v pístových pohonných jednotkách využívají těchto zákonů. Věda zkoumající tyto jevy se nazývá technická termodynamika. Tato věda zkoumá zákonitosti přeměny tepelné energie v energii mechanickou. Tyto energetické přeměny jsou zprostředkovány pracovní látkou. U letadlových pístových pohonných jednotek je pracovní látkou poměrně složitá směs vzduchu a paliva. Pro jednodušší popis termodynamických jevů budeme uvažovat látku jednodušší, tzv. ideální plyn, což je látka, která zůstává v plynném stavu za jakékoli teploty a tlaku. Je to látka, jejíž rozměry jsou zanedbatelně malé vzhledem ke vzdálenostem molekul mezi sebou. Srážky částic jsou dokonale pružné.

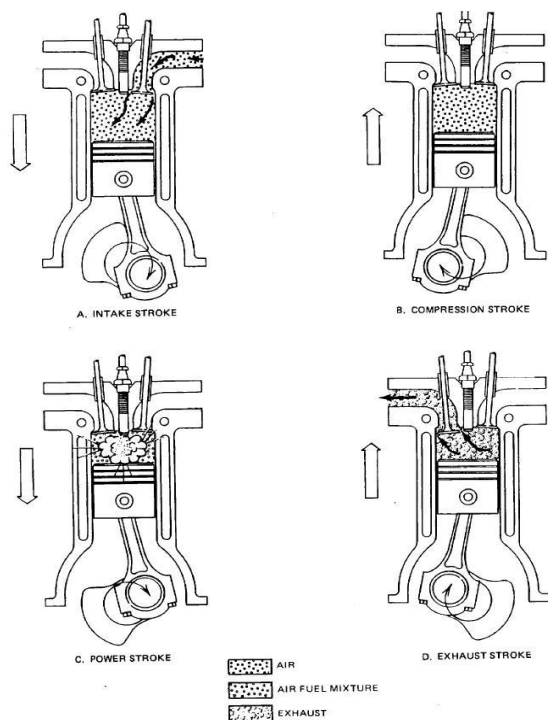
Budeme hovořit o dvou termodynamických zákonech. *První zákon termodynamiky* nám říká, že energie nemůže samovolně vznikat, ani se ztrácet. energii lze pouze přeměňovat z jedné formy na druhou. Tedy tepelnou energii lze přeměňovat v mechanickou práci. *Druhý zákon termodynamiky* nám pak stanovuje, za jakých podmínek je přeměna energie možná. Z tohoto zákona vyplývá, že teplo přivedené pracovní látce (v našem případě ideální plyn) není možné celé přeměnit v práci. Popsat druhý termodynamický zákon lze pomocí tzv. *entropie*, což je matematické vyjádření druhého termodynamického zákona.

Pro popis práce pístových pohonných jednotek se používá tzv. *teoretický oběh*, se kterým jsou pak následně srovnány skutečné oběhy různých pohonných jednotek. Pro teoretický tepelný oběh je předpoklad, že celý cyklus oběhu je uzavřen a periodicky se opakuje s touž látkou. Pracovní látkou je ideální plyn, jehož vlastnosti se během cyklu nemění. Teoretický oběh se skládá ze čtyř fází. Píst se v těchto fázích pohybuje mezi dvěma polohami. Horní krajní mezi se říká *horní úvrát'*, dolní krajní mez je nazvána *dolní úvrát'*. První fáze se nazývá *komprese*, kdy se píst pohybuje z dolní úvrati do horní úvrati. Pracovní látka je adiabaticky stlačována. V horní úvrati je pracovní látce přivedeno teplo, čímž se látka ohřívá a dochází ke stoupání tlaku. Další takt se nazývá *expanze*. Zahřátá pracovní látka se rozpíná a tlačí na píst, který se pohybuje z horní úvrati zpět do dolní úvrati. Tlak spalin působících na píst koná práci. Tato práce je převáděna na klikovou hřídel pohonné jednotky. V dolní úvrati pístu se

z pracovní látky odvede teplo, dochází k ochlazení látky a její tlak klesá. Celý cyklus se opakuje.

Skutečný oběh je složen ze čtyř zdvihů pístu, uskutečněných během dvou otáček hřídele, během kterých se uskuteční popsany cyklus.

1. Zdvih – sání – při této fázi se píst pohybuje z horní úvratí a nasává směs paliva se vzduchem.



Obr. 1 – Pracovní cyklus čtyřdobé pohonné jednotky

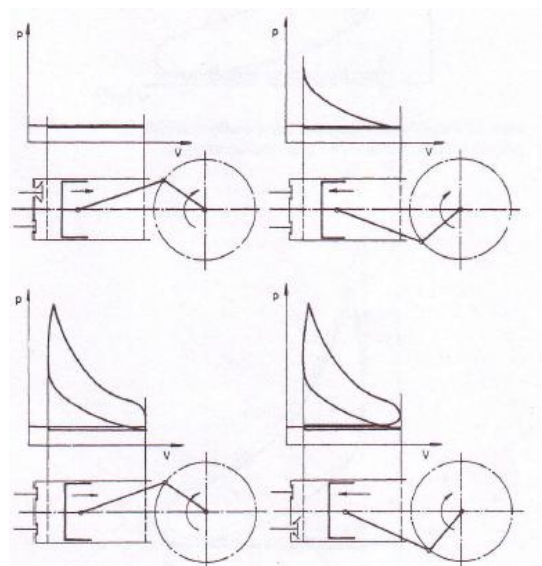
2. Zdvih – komprese – píst se pohybuje z dolní úvratí do horní úvratí a stlačuje nasátou směs. Jakmile tlak dosáhne hodnoty tlaku atmosférického, je sací ventil uzavřen. S určitým předstihem je těsně před horní úvratí směs zapálena elektrodami, které se nazývají zapalovací svíčky. Dochází k nárůstu tlaku spalin.

3. Zdvih – expanze – píst se pohybuje opět z horní do dolní úvratí. Jakmile píst dosáhne dolní úvratí, respektive těsně před ní se otevírá výfukový ventil a spaliny unikají do výfuku, tlak prudce klesá.

4. Zdvih – výfuk – píst se pohybuje z dolní úvratí do horní úvratí a vytlačí spaliny ven z válce do výfukového potrubí. Před dosažením horní úvratí je opět otevřen sací ventil a cyklus se opakuje. Průběh tlaků, probíhajících ve válci je zobrazen na *indikátorovém diagramu*.

Paliva, která jsou používána u pístových spalovacích pohonných jednotek, jsou buď kapalná, nebo plynná. Plynná paliva jsou například zemní plyn, bahenní plyn, propan-butan, aj. Mezi kapalná paliva řadíme benzin, petrolej, nebo motorovou naftu.

V palivu se přivádí tepelná energie potřebná k práci pohonné jednotky. Tato energie se spalováním, tedy oksylichováním převádí na energii mechanickou. Aby se dosáhlo maximální expanzní práce, probíhá zapálení před dosažením horní úvrati pístu. Směs je zapálena elektrickou jiskrou. Okamžitá poloha klikové hřídele v okamžiku zapálení, vyjádřená ve stupních pootočení vzhledem k horní úvrati, se nazývá *předstih zážehu*. Po přeskočení elektrické jiskry proběhne časový interval, během kterého dochází ke vznícení směsi. Tento interval se nazývá *prodleva zážehu*. Po vznícení



Obr. 2 - Průběh tlaků během pracovního oběhu

směsi dochází k uvolňování tepla a díky tomu ke zvyšování tlaku a teploty směsi. Maximální práce oběhu je získána při dosažení maximálního tlaku při pootočení klikové hřídele o 10 až 15 stupňů za horní úvrati. Snaha je o dosažení pozvolného růstu tlaku. Při nenormálním spalování směsi dochází buď k detonačnímu spalování, nebo k samozápalům. Kompresní vlna vyvolaná normálním spalováním může způsobit nárůst teploty a tlaku. Může dojít k samovznícení neshořené části směsi, která se spaluje až poslední. Detonační spalování vyvolává vzrůst teploty ve spalovacím prostoru, při které se mohou poškodit zapalovací svíčky. Spalování je nedokonalé, namáhají se části klikového mechanismu a může dojít k jejich mechanickým poruchám. U samozápalů je zapálení směsi způsobeno teplým místem spalovacího prostoru. Nenormální spalování má vliv na účinnost pohonné jednotky, která je tímto negativně ovlivněna.

Účinnost pístových spalovacích pohonných jednotek se rozděluje na několik druhů:

- *Chemická účinnost* – chemická účinnost vyjadřuje poměr mezi teplem zužitkovaným v teoretickém oběhu a teplem, které je do oběhu přivedeno.
- *Indikovaná účinnost* – je dána poměrem práce a tepla, které je přivedeno v palivu. Matematicky ji lze vyjádřit $\eta_i = \eta_{ch}\eta_t\eta_s$

Výkonové parametry pohonných jednotek se zavádí, aby bylo možno porovnávat různé spalovací pohonné jednotky. Vyjadřují, jak se energie přivedená do pohonné jednotky využívá. Rozlišujeme *indikovaný výkon*, který by se dal popsat vzorcem

$P_i = iW_i \frac{n}{60} \frac{2}{z} = ip_i V_z \frac{n}{30z}$. Ztracený výkon P_z se vynaloží na překonání třecích a hydraulických odporů a k pohonu pomocných zařízení. Rozdíl indikovaného a ztraceného výkonu se nazývá *efektivní výkon*: $P_e = P_i - P_z$.

- *Mechanická účinnost* – poměr efektivního a indikovaného výkonu.

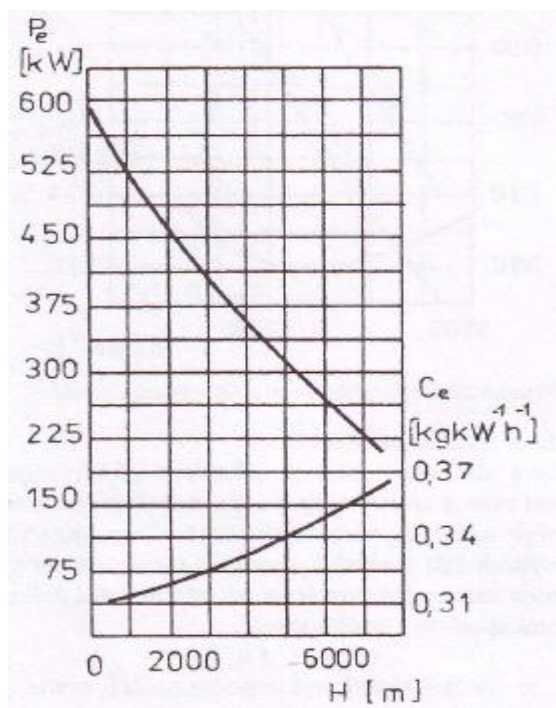
Čtyřdobé pohonné jednotky mají celkově vyšší účinnost v porovnání s dvoudobými. Čtyřdobé pohonné jednotky jsou ekologičtější a části pohonných jednotek jsou méně tepelně namáhány. Naproti tomu dvoudobé pohonné jednotky mají mnohem menší poruchovost, která vyplývá z jejich jednodušší konstrukce. Dvoudobé jednotky dávají větší výkon při stejném objemu válců a při stejných otáčkách.

Každá pohonná jednotka dokáže pracovat v tzv. *režimech*, při kterých vykazuje určitý výkon za daných otáček motoru. To vše je úměrné spotřebě paliva. Při *volnoběžném režimu* pohonná jednotka pracuje na minimálních otáčkách. Pohonná jednotka dává výkon potřebný k překonání odporu volně se protáčející vrtule. *Jmenovitý režim* zaručuje nejvyšší dlouhodobě využitelný výkon jednotky. Při vzletu je použit *maximální vzletový režim*, při kterém však dokáže pohonná jednotka pracovat jen krátkou dobu, aniž by došlo k poruše. Maxima tohoto režimu jsou stanoveny na 110 % až 120% jmenovitého výkonu. Největší dolet umožňuje *nejvýhodnější cestovní režim*, při *provozním režimu* získáme největší cestovní rychlost.

Pojem charakteristika pohonné jednotky nám udává závislost efektivního výkonu a efektivní spotřeby na měnících se činitelích.

- Výšková charakteristika

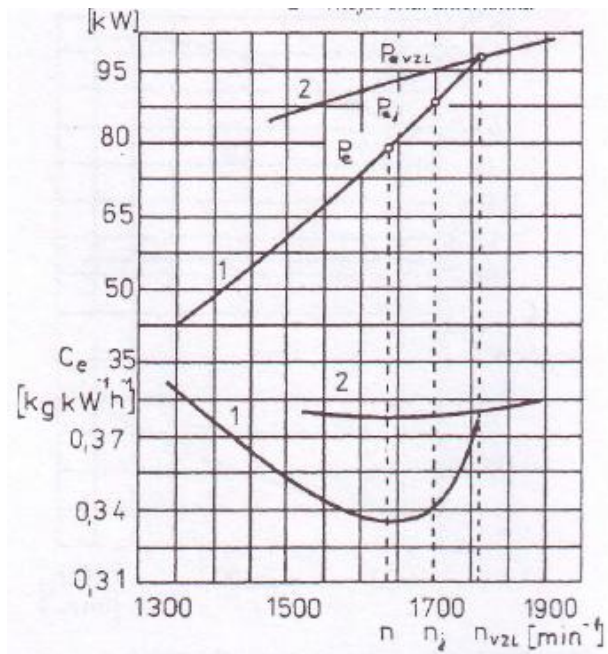
Zde se jedná o závislost efektivního výkonu a efektivní měrné spotřeby na výšce při plně otevřené škrtkové klapce a za konstantních otáček.



Obr. 2 - Jmenovitá výšková charakteristika pohonné jednotky

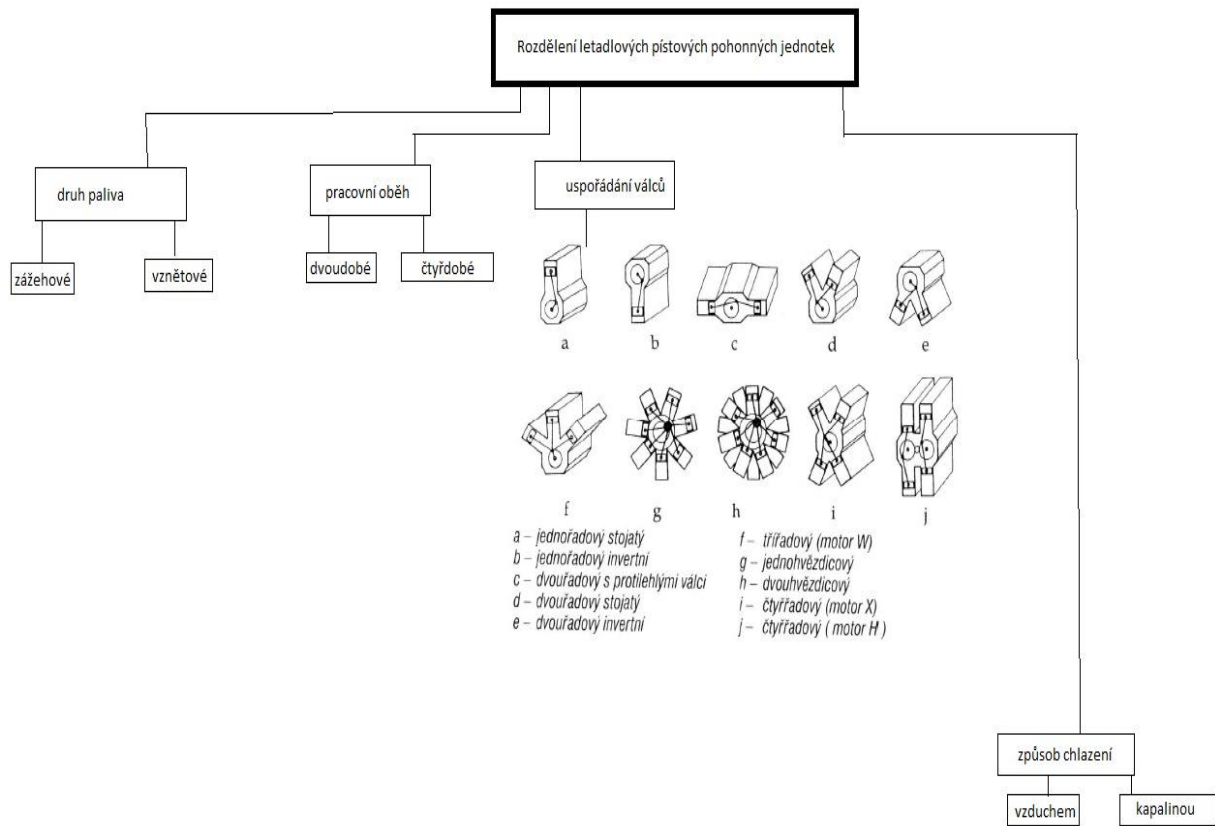
- Vrtulová charakteristika

Jedná se o závislost efektivního výkonu a efektivní měrné spotřeby na počtu otáček motoru zatíženého vrtulí s neproměnným nastavením listů.



Obr. 3 - Vrtulová charakteristika pohonné jednotky

2.2 Rozdělení letadlových pístových pohonných jednotek



Obr. 4 - Rozdělení letadlových pístových pohonných jednotek

2.3 Vývoj pístových pohonných jednotek

Lidstvo odjakživa lákaly velké výzvy a překonávání snů. Posouvání hranic nemožného a uskutečnění věčného snu, který lidstvo doprovází celá staletí. Snaha odpoutat se od země a vzlétnout k oblakům, nedala spát už Leonardu da Vinci. V jeho zápiscích se objevuje studie letů nadzvukovou rychlostí. V roce 1775 vědec Victor Meusnier vyslovil myšlenku, že k pohonu řízeného letu je třeba vyvolat tahovou sílu. Tato tahová síla bude vyvolána pomocí vrtule. Pohon vrtule však nedokázal popsat, jelikož tehdejší technika nebyla na tak vyspělé úrovni, aby to mohlo být uskutečněno. V 18. století provedli první let bratři Montgolfierové, Etiena Joseph. Zkonstruovali horkovzdušný balón, kterým vzlétli na konci listopadu roku 1783. Základy teorie letu byly položeny Georgem Cayleym, který poprvé provedl rozklad aerodynamické síly na její složku vztlakovou a složku odporovou. K překonání odporové složky bylo třeba použít propulzní síly.

2.3.1 Vývoj pístových pohonných jednotek před první světovou válkou

Na konci 19. století došlo ke zdokonalení tepelných strojů a konstrukci prvních pohonných jednotek použitelných pro letecké účely. V roce 1852 provedl Henri Giffard první řízený let se svou vzducholodí, která byla poháněna parním strojem o výkonu 2,2 kW. Tato parní pohonná jednotka vážila 150 kg. První motorový let provedli bratři Orwillea Wilbur Wrightové. Neměli žádné vzdělání technického směru. Měli však veliký talent a nadšení pro techniku. V roce 1903 vzlétli se strojem WrightFlyierI na kopci KillDevilHill. První letěl Orville, jeho let trval 12 sekund a doletěl do vzdálenosti 39 metrů. První řízený let provedl ten den jeho bratr Willbur, který doletěl do vzdálenosti 279 metrů. Let trval necelou jednu minutu. Letadlo FlyierI bylo poháněno pohonnou jednotkou vlastní výroby o výkonu 8,8 kW. Jeho váha se pohybovala okolo 100 kg.

S rozvojem tepelných strojů souvisel i vývoj alternativních pohonů, jako byly vznětové pohonné jednotky. V zimě roku 1892 získal Rudolf Diesel patent na vynález vznětové pohonné jednotky. Tato pohonná jednotka používala jako palivo uhelný prach. O rok později popsal tento vývoj ve své vědecké práci: „*Teorie a sestavení praktického tepelného motoru.*“ Díky finanční podpoře firmy Friedrich Krupp of Essen začal pracovat na sestavení této pohonné jednotky, které trvalo tři roky. Její sestavení se mu stalo málem osudným, když mu jednotka explodovala do obličeje a málem ho připravila o život. Z tohoto incidentu se poučil a sestavil pohonnou jednotku s jedním válcem o síle 18,4 kW, která používala jako palivo petrolej.

Vývoj v tomto období se ubíral dvěma směry. Na jedné straně se vyvíjely pohonné jednotky chlazené vzduchem a na druhé pohonné jednotky chlazené kapalinou. V roce 1909 přeletěl Louis Blériot kanál LaManche s letadlem Bleriot XI. Toto letadlo bylo poháněno pohonnou jednotkou od firmy Anzani se třemi válci o výkonu 18 kW a hmotnosti 65 kg.

Před první světovou válkou došlo k vývoji rotační pohonné jednotky, jejíž vývoj měli na svědomí bratři Seguinové. Největší výhodou rotační pohonné jednotky bylo, že se během otáčení chovala jako setrvačnick, a tím snižovala vibrace. Problém tehdejších pohonných jednotek spočíval v tom, že se do jejich konstrukce musely instalovat setrvačnick, což zvyšovalo hmotnost konstrukce. Největší problém u rotačních pohonných jednotek však nastal při požadavku na zvýšení výkonu pohonné jednotky, kdy spolu s nímrostla i hmotnost a gyroskopický moment. Značná byla spotřeba paliva v porovnání s tehdejšími pohonnými jednotkami. Po válce byly rotační pohonné jednotky vytlačeny jednotkami hvězdicovými. Nejznámější rotační pohonnou jednotkou té doby byla jednotka Gnomemonosoupape, která byla instalována na mnoha letadlech v první světové válce. Výkon této jednotky byl 110,3 kW. Hmotnost pohonné jednotky byla zhruba 137,5 kg.

2.3.2 Vývoj pístových pohonných jednotek v meziválečném období

V období mezi světovými válkami docházelo k rozvoji pohonných jednotek s různým uspořádáním válců. Rostl jak výkon, tak spolehlivost, na druhé straně docházelo ke snižování hmotnosti pohonných jednotek, připadající na jednotku výkonu. V tomto období vznikla koncepce hvězdicové pohonné jednotky, která zajišťovala dobré chlazení vzduchem. Její nevýhodou však bylo, že měla omezený výkon, veliké hodnoty reakčního a gyroskopického momentu a tomu neúměrně nízkou spolehlivost. V tomto období byla velmi rozšířená pohonná jednotka HispanoSuiza. Jednalo se o vodou chlazenou pohonnou jednotku s osmi válci, s uspořádáním válců do V. Tato pohonná jednotka se vyráběla i v Československé republice a byla používána u našich letadel. Vývoj hvězdicové pohonné jednotky přispěl díky její koncepci k rozvoji civilní letecké dopravy. Vyznačovala se vysokou spolehlivostí, výkonem a nízkou hmotností. V meziválečném období pokračoval i vývoj vznětových pohonných jednotek, o který se zasloužil německý vědec, doktor Hugo Junkers. První vznětová pohonná jednotka, kterou dokončil v roce 1913, byla pohonná jednotka se čtyřmi válci a nazývala se MO-3. O rok později sestrojil pohonnou jednotku se šesti válci nazvanou MO-8. V roce 1916 sestrojil pokusnou pohonnou jednotku výkonu 735,5 kW (1000 koní). Největší úspěch dosáhl konstrukcí pohonné jednotky Jumo 205. Jednotka má dvanáct pístů, které jsou rozděleny do šesti válců. Tyto válce jsou seřazeny proti sobě ve dvou řadách. Toto neobvyklé uspořádání vyžaduje použití dvou klikových hřídelí, jedna je ve vrchní části pohonné jednotky a druhá je ve spodní části. Obě hřídele jsou propojeny převody. Písty se pohybují proti sobě. Sací a výfukové potrubí bylo zdvojeno na obou stranách bloku pohonné jednotky. Na každý válec připadaly čtyři vstřikovací trysky, které byly ovládány dvěma vstřikovacími pumpami. Jumo namísto ventilů použil pevné sací a výfukové otvory, které se odkrývaly, jakmile píst dosáhl odpovídající polohy, což je typické pro dvoudobé pohonné jednotky. Obvykle měly tyto typy nízkou objemovou účinnost, protože se oba otvory odkrývaly a zakrývaly ve stejný čas a byly umístěny naproti sobě. To vedlo k nedostatečnému vyplachování produktů spalování ve válci, díky čemuž byly dvoudobé pohonné jednotky, které neměly ventily, méně účinné. Jumo tento problém vyřešil z velké míry díky chytrému umístění otvorů. Sací otvor byl umístěn pod nižším pístem,

zatímco výfukový otvor byl umístěn pod horní píst. Nižší hřídel byla pootočená o dvanáct stupňů oproti vyšší hřídeli, což znamenalo, že se otevíraly a zavíraly ve správném pořadí a tím umožňovaly patřičné vyplachování. Díky tomuto vylepšení měl Jumo srovnatelný hladký chod v porovnání

s klasickými čtyřdobými pohonnými jednotkami, které používaly výfukové a sací ventily a měly takřka stejnou účinnost, ale byly mnohem méně komplikované.

Pohonná jednotka měla však i jisté nevýhody, například, že písty nebyly zažehávány rovnoměrně, ale běžely „naproti sobě“, díky tomu nemohla pohonná jednotka běžet stejně hladce, jako jiné jednotky s protiběžným uspořádáním pístů a navíc dvojice hřídelí musela být propojena převody, což zvyšovalo hmotnost a složitost pohonné jednotky. Proto se výkon odebíral hlavně z horní hřídele. Ostatní zařízení, jako palivová čerpadla, vstřikovací zařízení a kompresor, byla poháněna spodní hřídelí, což znamenalo, že více jak polovina výkonu byla náležitě využita. Teoreticky plochý design pohonné jednotky umožňoval instalaci uvnitř štíhlých křídel větších letadel, jako byly bombardéry, nebo dopravní letadla, ale systém vyplachování oleje to nedovoloval, a motor musel být umístěn ve vertikální poloze. Přestože měl Jumo 205 jisté nedostatky, našel široké využití a byl instalován i jinde než v letadlech Junkers, převážně u letadel firem Blohm & Voessler a Dornier.



Obr. 5 – Pohonná jednotka Jumo 205

Objevují se nové konstrukční prvky. Příkladem jsou výškové pohonné jednotky používající odstředivý kompresor a z důvodu zvýšení otáček také reduktor a objevují se stavitelné vrtule. Dochází k nárůstu výkonu pohonných jednotek jak vodou, tak vzduchem chlazených hvězdicových pohonných jednotek, u kterých docházelo ke zvyšování počtu hvězd. Nejvýkonnější pohonné jednotky dosahovaly výkonu až 2950 kW.

Firma BMW se věnovala vývoji leteckých pohonných jednotek převážně v období před druhou světovou válkou a během ní. Vývoj leteckých pohonných jednotek ve firmě BMW sedatuje od roku 1930, kdy firma BMW získala oprávnění konstruovat jednotky Pratt & Whitney Hornet.

V polovině 30. let představili konstruktéři vylepšenou verzi této pohonné jednotky. Jednalo se o typ BMW 132. Firma RLM později představila prototyp větší řadové jednotky, která byla podobná pohonné jednotce BMW 132. Firma BMW si další vývoj této



Obr.6 – Pohonná jednotka BMW 801

olejového chlazení. Tento systém však nebylo možné aplikovat na pohonnou jednotku 139, a proto první stíhačky Focke-Wulf měly obrovské problémy s chlazením pohonné jednotky. BMW začala vyvíjet novou jednotku, která by tyto problémy neměla.

Rozdíl mezi nově vyvinutou jednotkou, která dostala název BMW 801, a pohonnou jednotkou BMW 139 byl takřka zanedbatelný. Nová pohonná jednotka měla čtrnáct větších válců namísto osmnácti menších. Motor 801 měl jako jeho předchůdce 139 jeden ventil na sání a výfuk, na rozdíl od většiny pohonných jednotek té doby. Ty používaly čtyř ventilů, v Británii se dokonce používaly bezventilové pohonné jednotky. Do motoru 801 bylo zapracováno mnoho vylepšení, například sodíkem chlazené ventily, nebo systém přímého vstřikování. Kompresor však byl velmi jednoduchý. Používal se jednostupňový, dvourychlostní převod, což bylo limitujícím výkonnostním faktorem ve větších výškách. Klíčem k úspěchu bylo použití tzv. Kommandogerät (příkazové zařízení), což bylo mechanicko-hydraulické zařízení, které nastavovalo průtok paliva, nastavení úhlu vrtule, nastavení kompresoru, směsi a časování zápalu směsi v závislosti na poloze páčky příjmuti, což obrovsky zjednodušilo ovládání pohonné jednotky.

První model 801A byl představen roku 1939, šest měsíců po začátku vývoje. Pohonná jednotka dávala výkon 1 250 kW. Model 801B byl téměř identický s předchozím modelem, nýbrž s opačným smyslem otáčení vrtule a s použitím jiného reduktoru. Modely A i B bylo zamýšleno užívat u dvoumotorových letadel, což mělo vyrušit krouticí moment a zjednodušit ovládání letadel. Počáteční verze motoru 801 se však velmi často přehřívaly.

Motor BMW 801E používal kompresor, který byl upraven tak, aby jej bylo možné použít ve velkých výškách. Ačkoliv to snižovalo vzletový výkon, tak výkon za letu byl až o 75 kW vyšší. Model 801E byl základem pro model 801R, který používal složitější a silnější

jednotky vzala pod svá křídla a vyvinula dvouhvězdicovou pohonnou jednotku BMW 139 o výkonu 1 029 kW. Během vývoje pohonné jednotky BMW 139 se konstruktér Kurt Tank rozhodl vylepšit tuto jednotku a použít ji pro pohon stíhacího letounu Focke-Wulf.

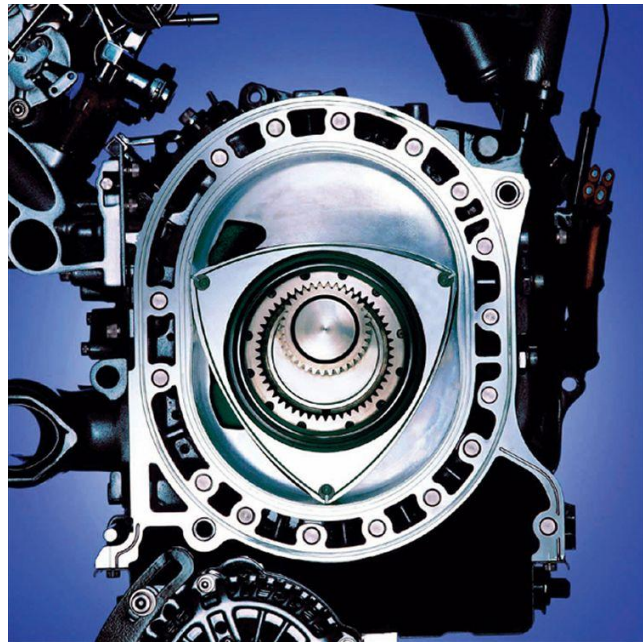
U této pohonné jednotky byl předpoklad vzduchového chlazení. Díky tomu však byla velká část pohonné jednotky z přední části odkryta. Chlazení měla zajistit pohonnou jednotkou poháněná vrtulka, umístěná v její zadní části. Tato vrtule měla foukat vzduch skrz jednotku. Část vzduchu mělo být přes kanál tvaru S převedeno přes radiátor

dvoustupňový, dvourychlostní kompresor. Díky tomu byl celkový výkon pohonné jednotky 1 790 kW. U všech stíhaček Fw 190 bylo zamýšleno užití motoru 801F, avšak válka skončila dřív, než se na této pohonné jednotce začalo pracovat.

2.3.3 Vývoj pohonných jednotek po druhé světové válce

Do popředí se dostává americká firma Lycoming. První letadlo, u kterého byla použita pohonná jednotka této firmy, bylo letadlo Travel Air od společnosti Beech. Největší úspěch přišel v roce 1931, po přeletu Atlantského oceánu Charlesem Lindbergem, který tuto firmu označil jako světového předního výrobce pístových pohonných jednotek v letectví. Během dalších dvaceti let se vyrobilo přes 20 000 pohonných jednotek Lycoming R-680 a firma si upevnila postavení předního výrobce na leteckém trhu. V dnešní době je firma Lycoming součástí koncernu Textron Avco. V roce 1938 firma Lycoming vyvinula pohonnou jednotku s označením O-145, který měl protiběžné uspořádání válců. Pohonné jednotky Lycoming slouží jako pohon téměř poloviny letadel všeobecného letectví. Lze je nalézt u většiny letadel Cessna. Konkrétně se jedná o typy O-235-L2C (Cessna C-152) s výkonem 80,9 kW, O-320-H2AD (Cessna C-172) s výkonem 117,6 kW. Dalším velice významným výrobcem pohonných jednotek, který se prosadil po druhé světové válce, byla firma Continental, ze které vznikla v roce 1929 divize Continental Aircraft Engine Company. Během války vyráběla pohonné jednotky do tanků. V 50. letech vyvinula pohonnou jednotku O-200 o výkonu 75 kW, která poháněla letadlo Cessna C-150, což bylo považováno v té době za konstrukčně pokrokové letadlo. S příchodem systému přímého vstřikování paliva a turbodmychadel, vyvinula firma Continental sérii s označením IO-520, čímž ovládla tehdejší trh. Pohonnými jednotkami Continental jsou poháněna letadla Piper, konkrétně Piper Seneca V. Toto letadlo je poháněno pístovou pohonnou jednotkou s označením L/TSIO-360-RB s výkonem 161,8 kW. Letecké pohonné jednotky Continental a Lycoming jsou populární do současnosti. Během vývoje se však snažili prosadit i jiní výrobci na trhu s leteckými pohonnými jednotkami.

V období po druhé světové válce se objevuje nový typ pohonné jednotky. Jednalo se o rotační pohonnou jednotku, která pracovala na principu otáčení rotoru kolem centrální hřídele uvnitř pohonné jednotky. Tím vytvářel klasický pracovní cyklus čtyřdobé pohonné jednotky. Tuto pohonnou jednotku vynalezl německý inženýr Felix Wankel. Patent získal už v roce 1929, ovšem výzkum na pohonné jednotce začal až o dvacet let později. Pod patronátem NSU Motorwerke sestrojil v roce 1953 první návrh a o čtyři roky později první pracující prototyp o výkonu 20,6 kW. Tato pohonná



Obr. 7 – Wankelův motor

jednotka se vyznačovala třemi hlavními pozitivními vlastnostmi a těmi byli plynulý chod, nízká hlučnost a hlavně vysoká spolehlivost.

V dnešní době jsou nejčastěji u ultralehkých a lehčích letadel používány pohonné jednotky rakouské firmy ROTAX. Tato firma vznikla už v roce 1920 v Drážďanech jako ROTAX-WERK AG. V roce 1973 vytvořila první leteckou pohonnou jednotku, která byla použita pro pohon motorového kluzáku. Ačkoliv firma Rotax není výhradním konstruktérem leteckých pohonných jednotek, a soustředí se i na výrobu pohonných jednotek do jiných prostředků, je v posledních letech velmi oblíbenou u majitelů ultralehkých letadel. Důvodem by mohla být vysoká spolehlivost pohonné jednotky a nízká spotřeba paliva. Firma Rotax má velmi rozšířený systém distribuce a certifikovaných servisních zařízení. Díky tomu jsou pístové jednotky a náhradní díly velmi finančně náročné. Tato pohonná jednotka má však ještě jednu nevýhodu a tou je reduktor. Reduktor je zařízení, které zvyšuje účinnost vrtule, tím že snižuje její otáčky. Na druhou stranu ale také zvyšuje hmotnost pohonné jednotky a složitost celé konstrukce. V současné době se vývoj pohonných jednotek soustředí také na pohon letadel elektrickým proudem.

3. Speciální pístové pohonné jednotky

Jak bylo již řečeno výše, během vývoje se objevily určité druhy leteckých pohonných jednotek, které se vymykaly zaběhnutým trendům ve vývoji. Snaha byla především o nalezení jisté alternativy, která by byla výhodnější, levnější, vykazovala by lepší vlastnosti. Některé variace se později více či méně uchytily.

3.1 Wankelův motor

Jedná se o tzv. rotační pístovou, spalovací pohonnou jednotku, která je nejvíce rozšířena u letadel třídy experimental. U těchto letadel nemusí konstrukční úpravy provádět autorizovaný servis, ale uživatel si může letadlo opravovat sám. Tato pohonná jednotka je oblíbená zejména proto, že se vyznačuje nízkou hlučností, vysokou spolehlivostí a plynulým chodem.



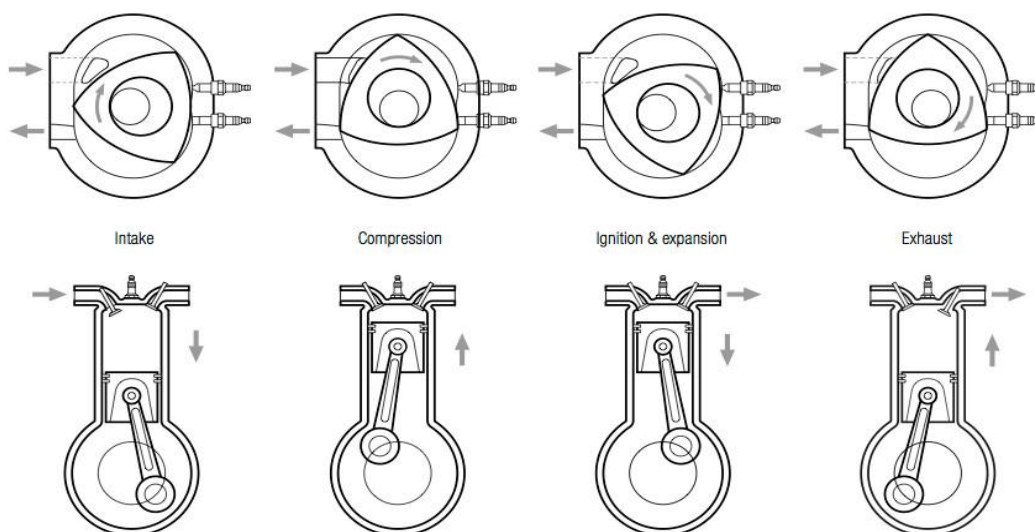
Obr. 8 – Součásti Wankelova motoru

3.1.1 Složení a princip činnosti

Všechny čtyři doby klasického Ottova cyklu, tedy sání, stlačení, expanze a výfuk, se odehrávají mezi oválnými stěnami pohonné jednotky rotačním pístem, který má tvar Relauxova trojúhelníku. Jedná se o rovnostranný trojúhelník, jehož strany jsou mírně konkávní, tedy jsou vypouklé směrem od středu trojúhelníku. Středem pohonné jednotky prochází středová hřídel, které se také říká excentrická hřídel. Na této hřídeli je připevněno pomocí ložisek ozubené kolo. Jak se hřídel otáčí, tak se otáčí rotor kolem své osy a putuje podél ozubeného převodu a vytváří tak křivku nazvanou epitrochoida. Vrcholy rotoru jsou opatřeny tlumiči, které utěsňují prostor oproti stěně pohonné jednotky a vytváří tak tři spalovací komory. Během otáčení se každá strana rotoru přibližuje a vzdaluje od stěny pohonné jednotky. Jestliže je u čtyřdobé pohonné jednotky vytvořen jeden spalovací cyklus na válec během dvou otáček hřídele, tak každá komora Wankelova motoru vytvoří spalovací cyklus za každou otáčku hřídele. Proto je výkon pohonné jednotky větší než výkon klasické pístové pohonné jednotky stejné váhové kategorie. Wankelův motor má mnohem vyšší rozsah maximálních otáček, díky plynulému kruhovému pohybu, kdy jsou eliminovány nebezpečné vibrace, které se objevují u klasických pístových pohonných jednotek.

Na rozdíl od klasického pístového motoru, kdy jsou válce chlazeny díky přicházející směsi, komora Wankelova motoru zahřívána na jedné straně a chlazená na druhé straně, což vede k nerovnoměrné teplotní roztažnosti. Díky tomu je zde použito obvodové vodní chlazení, kdy ohřátá voda z míst, kde je teplota vyšší, ohřívá ta místa pohonné jednotky, kde je teplota nižší a díky tomu zůstává teplotní roztažnost v únosných mezích. Vnější chlazení pohonné jednotky není tak účinné jako při vyplachování válce směsí.

Tvar komory Wankelova motoru vede k neúplnému spalování směsi a nespálená část uhlovodíků je vypuštěna do výfuku. U většiny výrobců byl tento problém eliminován použitím katalyzátoru, kde se nespálené uhlovodíky dodatečně zoxidovaly. Výrobce pohonných jednotek Mazda, nejznámější výrobce zabývající se výrobou Wankelových motorů, však tomuto problému předcházela obohacením směsi paliva a vzduchu a zvýšila množství nespáleného uhlovodíku, aby tyto zbytky podpořily kompletní spalování



Obr. 9 – Porovnání cyklu Wankelova motoru a cyklu klasické čtyřdobé pohonné jednotky

vezvětšené komoře ve výfukovém potrubí, bez nutnosti použití katalyzátoru. Díky tomu jsou emisně ekologičtější za cenu vyšší spotřeby paliva.

Wankelův motor má podstatně jednodušší konstrukci v porovnání s klasickou pístovou pohonnou jednotkou má o mnoho méně pohyblivých součástí. Navíc je rotor přímo spojen s klikovou hřídelí, takže není zapotřebí spojovacích tyčí, ani převodních hřídelí. Díky tomu je Wankelův motor jednotka podstatně lehčí oproti klasické pístové pohonné jednotce. Chod Wankelova motoru je hladší a dává vyšší výkon při vysokých otáčkách. Komora pohonné jednotky je sestavena ze slitiny hliníku, který má vyšší teplotní roztažnost, rotor je sestaven z oceli. To zaručuje, že celkově přehřátý Wankelův motor se tak snadno nezadře, což by se stalo u klasických pístových pohonných jednotek. Pro letecké aplikace je výhodné, že pohonná jednotka může mít menší rozměry oproti klasické pístové jednotce o stejném výkonu. Jednoduchost konstrukce a menší rozměry také šetří náklady na výrobu pohonné jednotky. U této pohonné jednotky, když dochází ke ztrátám komprese, chlazení nebo tlaku oleje, dochází také ke ztrátě výkonu a pohonná jednotka v krátkém časovém úseku přestane pracovat, ale obvykle minimální výkon dávat bude, naproti tomu je klasická pístová pohonná jednotka, při stejných podmínkách náchylná na zadření a poškození jednotlivých částí pohonné jednotky.

Nevýhoda Wankelova motoru spočívá v těsnění, kdy vrcholy rotoru nejsou dokonale utěsněny. To ovšem není největší problém této pohonné jednotky. Větší potíže způsobuje prosakování paliva do sousední komory. To vedle spolu s nedokonalým těsněním ke snížení účinnosti pohonné jednotky a ztrátu komprese. Také docházelo k profukům mezi jednotlivými komorami. Pohonná jednotka má nižší termodynamickou účinnost, díky tomu, že spalovací komora nemá tvar koule a hoření směsi je v komoře Wankelova motoru komplikovanější díky jejímu tvaru. Pohonná jednotka by neměla být provozována krátkodobě. Časté startování pohonné jednotky ji může poškodit. Před provozem by měla být zahřátá na provozní teplotu a před vypnutím opět ochlazena. Všechny tyto potíže by bylo možné částečně eliminovat, ale to by si žádalo intenzivní vývoj a značné finanční prostředky, které se nevyplatí investovat vzhledem k neúměrně menší produkci pohonných jednotek. Vývoj této pohonné jednotky se dostal do slepé uličky. Jeho nevýhody mu brání ve větším rozšíření, ale díky jeho malému rozšíření žádná firma neinvestuje do odstranění těchto nevýhod.

3.1.3 Použití v letectví

První Wankelův motor byl použit v roce 1968 na letadle Lockheed Q-Star. Jedná se o civilní verzi letadla amerického vojenského letectva QT-2. Bylo poháněno pohonnou jednotkou s označením RC2-60 o výkonu 138 kW od firmy Curtiss Wright. V posledních letech začínají být Wankelovy motory opět oblíbeny. V porovnání s klasickými pístovými pohonnými jednotkami mají stále jisté výhody. Nejvíce se uplatní v oblastech, kde je zapotřebí tichý chod a kompaktnost pohonné jednotky (nejčastěji UAV bezpilotní letouny – Unmanned air vehicle). Mnoho konstruktérů-kutilů upravilo pohonnou jednotku, použitou v automobilech Mazda na leteckou pohonnou jednotku, jiní včetně

samotné NSU konstruují Wankely přímo pro určitý účel jako například u letadla MollerSkycar M400. U letadel třídy experimental, které používají Wankelův motor, je nejčastěji použita pohonná jednotka Mazda 12A a Mazda 13B, dávající výkon od 73,5 do 220,5kW za zlomek ceny tradičních pohonných jednotek. Tato provedení se objevují od roku 1970. Zajímavostí je že Americký úřad pro šetření leteckých nehod (NTSB) má pouze sedm hlášených incidentů a žádný nebyl přímo spojený se selháním pohonné jednotky. Mnohem častěji dochází u pohonných jednotek k poruchám těch součástí, které Wankelův motor neobsahuje. Největší výzva je však produkce Wankelových motorů certifikovaných společností FAA. Pokoušela se o to švýcarská firma Mistral. Wankelovymotory mají o hodně vyšší spotřebu oproti klasickým pístovým pohonným jednotkám, to je však vyváženo mnoha jinými zvýhodňujícími faktory, jako jsou spolehlivost, nízká hlučnost, jednoduchost. Letadla vybavené Wankelovými motory musí být vybavena reduktorem, jelikož pracuje při relativně vysokých otáčkách a má nízký krouticí moment. Reduktor udrží otáčky vrtule ve správném rozsahu. Mnoho letadel třídy experimental je opatřena reduktorem.

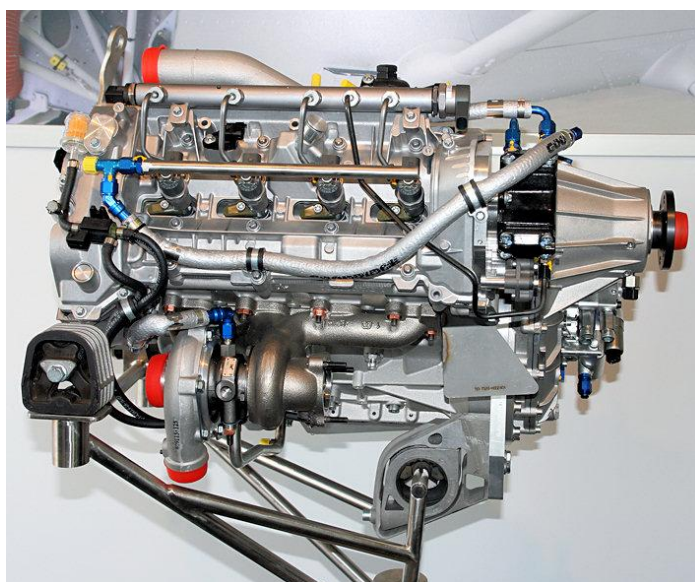
3.2 Vznětové pohonné jednotky

3.2.1 Výhody vznětových pohonných jednotek

Díky tomu, že je palivo automaticky vzníceno kompresním teplem, není zapotřebí instalovat na letadlech magneta, svíčky aj. Nedochozí k interferenci od zapalovacího systému a neovlivňuje tak negativně radiokomunikaci. Letadla mohou být provozována i za deštivého počasí, nebo ve vlhkých podmínkách. Díky nízké teplotě výfukových plynů, která je způsobena vyšší tepelnou efektivitou pohonné jednotky a lepším spalováním paliva může být použito turbodmychadlo, které je poháněno výfukovými plyny a zvyšuje výkon pohonné jednotky. Nádrže mohou být menšího objemu, díky nižší spotřebě paliva (až o 22 % nižší než u zážehových pohonných jednotek).

3.2.2 Použití v letectví

Současný výrobce vznětových letadlových pohonných jednotek na německém trhu je firma Thielert, která vyrábí čtyřdobé, kapalinou chlazené turbo-diesely, které mohou používat jak palivo Jet A1 tak naftu. Jejich první pohonná jednotka se čtyřmi válci o výkonu 99,2 kW, byla certifikována v roce 2002. Může být použita jako alternativa pohonné jednotky u letadel Cessn 172 a Piper Cherokee,



Obr. 10 – Pohonná jednotka Thielert Centurion

kteří používají pohonné jednotky Lycoming O-320 o výkonu 117,6

kW s objemem 5,2 litrů. Přestože jsou obě pohonné jednotky, tedy Lycoming i Thielert, váhově zhruba na stejné kategorii (kolem 136 kg), rozměry pohonné jednotky Thielert jsou o třetinu menší. Avšak její výkon dosahuje svého maxima při 2 300 otáčkách a nedosahuje výkonu pohonné jednotky Lycoming O-320. Pohonné jednotky firmy Thielert jsou použity u letadel rakouského výrobce Diamond Aircraft Industries, konkrétně Diamond DA40-TDi Star s pohonnou jednotkou Thielert 1.7 a Diamond DA40-TDi Twin Star, se dvěma takovými pohonnými jednotkami a spotřebou 15,1 litrů na hodinu letu. Od roku 2005 je také certifikována pohonná jednotka s osmi válci, o objemu 4l a výkonu 230 kW. Pohonné jednotky firmy Thielert jsou dále používány na letadlech firmy Apex. V roce 2008 se firma Thielert potýkala s problémy a oznámila bankrot. V lednu roku 2009 se opět vrátila na trh. Mezitím výrobce Cessna upustil od svého záměru instalovat do svých letadel pohonné jednotky Thielerta Diamond Aircraft vyvíjí své vlastní vznětové pohonné jednotky.

Francouzská firma SMA Engines konstruuje vznětové pohonné jednotky v městečku Bourges. Zde se jedná o vzduchem chlazenou turbodieselovou pohonnou jednotku o výkonu 170 kW a objemu 5 l. Byla pojmenována SR305-230. Tým konstruktérů pochází z týmu Renault Sport (F1). Tato pohonná jednotka byla certifikována v roce 2001 v Evropě a o rok později v USA jako alternativa pohonných jednotek letadel Cessna 182. Letadlo Maule M-9-230 je poháněno certifikovanou vznětovou pohonnou jednotkou.

Ve Spojených Státech amerických nebyl veliký zájem o letadla poháněná naftou, díky nízkým cenám benzínu na americkém trhu, avšak obavy o budoucí dostupnost paliva Avgas vedly americké konstruktéry k tomu, aby se více zajímali o tuhle alternativu. V dubnu roku 2008 americká firma Indus Aviation sestrojila první prototyp ultralehkého letounu Thorpedo T 211 s dieselovou pohonnou jednotkou N211GD. Jde o dvoudobou pohonnou jednotku, jejíž vynálezcem byl americký inženýr Aldo Sibi.

3.3 Pohonné jednotky s reduktorem

Speciální pístové pohonné jednotky použité pro pohon ultralehkých letadel všeobecného letectví musí mít ve své konstrukci použit reduktor, protože se nejčastěji jedná o konverze pohonných jednotek původně určených pro pohon automobilů nebo motocyklů. Tyto pohonné jednotky pracují na vyšších pracovních otáčkách. Protože se kliková hřídel pohonné jednotky otáčí velmi rychle, měla by vrtule namontovaná přímo na klikovou hřídel vysokou obvodovou rychlost. Účinnost vrtule by se snižovala. Otáčky vrtule nesmí přesáhnout obvodovou rychlost takovou, kdy listy vrtule dosahují rychlosti zvuku. Toho dosáhneme použitím reduktoru. Nevýhodou použití reduktorů je zvýšení hmotnosti pohonné jednotky složitější konstrukce pohonné jednotky. Existují následující typy reduktorů. *Nesouosé reduktory*, u kterých osa vrtulové hřídele nesouhlasí s osou klikové hřídele, ale je s ní rovnoběžná. Tento typ je použit u řadových pohonných jednotek. Dalším typem jsou *planetové reduktory* neboli *souosé reduktory*. Osa vrtulové hřídele je prodloužením osy klikové hřídele. Tento typ reduktorů se používá u hvězdicových a plochých pohonných jednotek. U pohonných jednotek, které byly určeny pro pohon automobilů, nebo motocyklů a předělány pro pohon letadel je nejčastěji použit *řemenový reduktor*. U těchto reduktorů s klínovými řemeny se síla přenáší třením řemene o kotouč. Výhodou tohoto převodu je pružný přenos síly a nehluký provoz, ale na druhou stranu dochází ke ztrátám, způsobeným třením v ložiskách.

3.3.1 Pohonné jednotky Porsche

Firma Porsche

vyvíjela vedle automobilových pohonných jednotek v letech 1963 - 1991 také letecké pohonné jednotky ve výrobní divizi Porsche Flugmotoren (PFM). Název pohonné jednotky byl podle divize, ve které byla vytvořena - Porsche PFM 3200. Tato vzduchem chlazená pohonná jednotka se šesti válci byla vytvořena modifikací pohonné jednotky z auta Porsche 911.



Obr. 11 – Pohonná jednotka Porsche PFM 3200

- **Historie a vývoj pohonných jednotek Porsche**

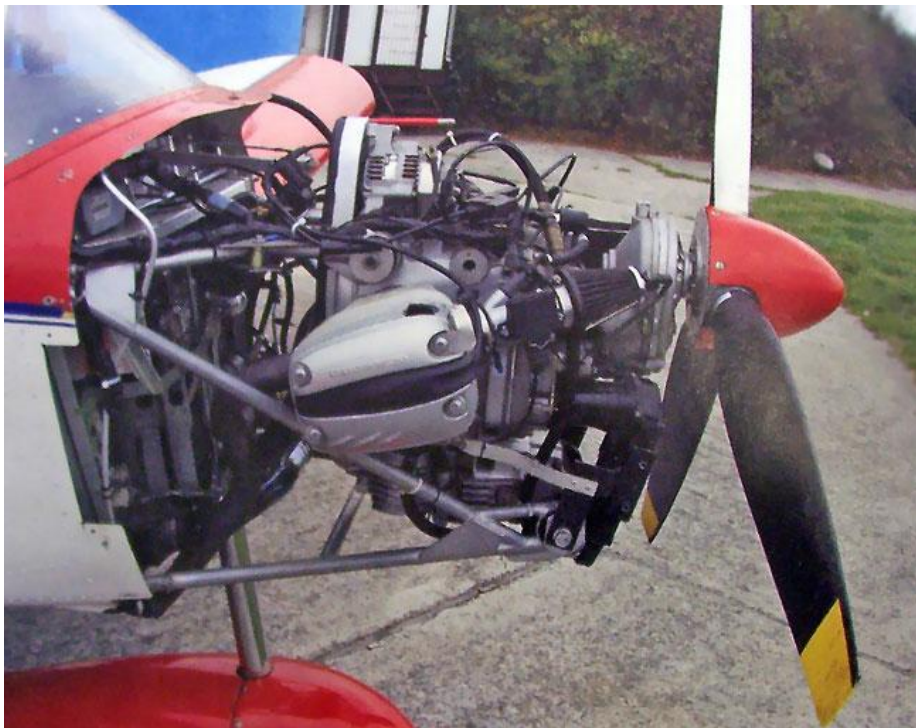
Vývoj pohonné jednotky začal v 50. letech, kdy konstruktéři lehkých letadel začali modifikovat pohonné jednotky z aut Porsche 356 a Volkswagen Beetle. Firma Porsche spolupracovala s některými výrobci a vyvíjela tovární modely série Porsche 678. Tyto pohonné jednotky měly relativně malé rozměry. Výkon byl od 40,4 do 51,4 kW s objemem válců 1,67 litrů. Později se firma Porsche rozhodla, že vytvoří mnohem větší pohonné jednotky, které budou vycházet z koncepce pohonných jednotek Porsche 911. Vývoj začal v roce 1981. Díky tomu že pohonná jednotka měla vyšší otáčky než většina v tu dobu používaných leteckých pohonných jednotek, musel zde být namontován reduktor, poté mohly být používány běžné vrtule.

Pohonná jednotka PFM 3200 běžela tišeji a hladčeji než dřívější typ, jelikož pracovala na vyšších otáčkách a měla namontován tlumič výfuku. Pohonné jednotky s přirozeným sáním série N o objemu 3,2 litrů dávaly výkon 154,4 kW, zatímco série T opatřená turbodmychadlem produkovala výkon až 176,5 kW, což bylo dvakrát více než běžné pohonné jednotky s nízkými otáčkami stejných rozměrů. S přímým vstřikováním paliva, automatickou korekcí bohatosti směsi, akrobatickou olejovou nádrží a možným opatřením turbodmychadly byla pohonná jednotka Porsche PFM 3200 nejpokrokovější na trhu. Po svém představení roku 1985 a neúspěšné snaze o získání popularity na trhu všeobecného letectví se firma Porsche rozhodla opustit v roce 1980 trha v roce 1991 ukončila produkci těchto pohonných jednotek. Program vývoje pohonných jednotek stál 75 milionů dolarů a vyprodukovalo se jen něco málo přes 80 kusů pohonných jednotek. Ačkoliv byly na trhu pouze krátký čas, objevily se jako pohon mnoha letadel jako například u modelu Extra 330, Mooney M20L, Socata TB-16, Robin DR400 a dalších. V dopisu adresovaném organizaci FAA 17. září 2007 Porsche oznamuje, že se vzdává typového certifikátu

na pohonnou jednotku PFM 3200. V březnu roku 2009 FAA vydává informační bulletin, kde upozorňuje na to, že pohonné jednotky PFM 3200 mohou být provozovány tak dlouho, dokud splňují certifikační předpis FAR 43 a FAR 91, s tím že firma Porsche již nezajišťuje servis a náhradu poškozených dílů.

3.1.2 Pohonné jednotky BMW

Jako alternativní modifikace použití pohonných jednotek letadel všeobecného letectví bývá použita pohonná jednotka BMW R100RS s uspořádáním válců proti sobě, jinak nazývané uspořádání boxer. Původně je pohonná jednotka určena pro pohon motocyklů. Tato pohonná jednotka o výkonu 50 kW váží 70 kga je chlazena olejem. U firmy BMW byly ambice na použití pohonných jednotek s protiběžnými válci, ale jelikož je u těchto pohonných jednotek nutná instalace reduktoru a proces certifikace takové pohonné jednotky by byl značně finančně náročný, rozhodla se firma BMW, že od tohoto projektu nakonec upustí a použití nakonec zůstalo jen otázkou toho, zda si jej uživatelé sami modifikují a použijí pro pohon letounu.



Obr. 12 – Pohonná jednotka BMW R100

4. Provozní podmínky letounů

Letadla všeobecného letectví mohou být použita pro různé účely, ať už výcvikové, dopravní, sportovní, nebo průmyslové.

Tvrdí se, že nejvýhodnějším letadlem pro výcvik soukromých pilotů z hlediska ovládní, konstrukčních parametrů a výkonu je letadlo Cessna C-172. Nejedná se ani tak o to, jaká je zde použita pohonná jednotka, jak o celkové letové vlastnosti letadla. U tohoto typu letadla je použita pohonná jednotka firmy AvcoLycoming s označením O-325-H2AD. Tato pohonná jednotka je chlazená vzduchem a vybavena karburátorem. Výkon pohonné jednotky je 117,5 kW. Dalším velice rozšířeným výcvikovým letounem v leteckých školách a aeroklubech je letoun Zlin Z-142 s pohonnou jednotkou Avia M 337 AK, který je používán také pro vlečné a sportovní účely právě díky své pohonné jednotce, která má vysoký výkon. Výkon této pohonné jednotky je 154,5 kW. Má ale také vyšší spotřebu paliva. Na jednu hodinu letu je spotřebováno 45 litrů paliva. Tento letoun je možné po konstrukční úpravě (zesílení konstrukce křídel v místech kde se spojuje s trupem) použít také pro výcvik akrobacie díky speciálnímu uspořádání olejového rozvodu. Pro turistické účely není tento letoun příliš vhodný z důvodu vysoké spotřeby paliva.

Při použití Wankelova motoru je nutno počítat s vyšší spotřebou oleje. Výkon Wankelova motoru časem klesá. Není příliš vhodný pro použití u výcvikových letadel, protože častá změna režimu chodu pohonné jednotky je pro tento typ pohonné jednotky škodlivá. Nejvýhodnější je použití této pohonné jednotky při používání letadel pro dlouhodobé, dálkové lety, kdy se nemění režim pohonné jednotky.

Použití vznětových pohonných jednotek je problematické při nižších teplotách, kdy je nutnost tuto pohonnou jednotku napřed zahřát na provozní teplotu. Další nevýhodou je, že při nízkých teplotách je vznětová pohonná jednotka příliš hlučná. Vznětové pohonné jednotky firmy Thielert, konkrétně typu Thielert Centurion jsou použity pro pohon dvoumotorových letadel Diamond DA42. Tato aplikace je výhodná díky levnějšímu provozu. Uvádí se, že ve výšce 2 500 m při teplotě odpovídající podmínkám MSA (Mezinárodní standardní atmosféra) při výkonu pohonné jednotky 85% bude pravá vzdušná rychlost 156 kt (uzlů). Při této rychlosti a výkonu pohonné jednotky bude spotřeba paliva jedné pohonné jednotky 25,5 litrů na hodinu letu. Firma Thielert pracovala na vývoji vznětových pohonných jednotek a nedostatky, kterými byly vysoká hmotnost a pracovní teplota, odstranila. Toto letadlo není příliš vhodné pro výcvik kvalifikace MEP, protože obsahuje příliš prvků, které ulehčují ovládní pohonné jednotky, a při přechodu na jiný typ by přeškolení mohlo působit potíže.

4.1 Vliv prostředí na provoz pohonných jednotek

4.1.1 Provoz letadel za nízkých teplot

Piloti by měli být obezřetní také při provozu letadel ve zvláštních klimatických podmínkách, například v zimě. Předpokládejme teplotu 0°C . Jakousi formu návodu jak provozovat letadlo v zimě a zejména pečovat o pohonnou jednotku zpracovala letecká škola F-Air. Jak uvádí ve svém článku, před prvním spuštěním pohonné jednotky ráno, kdy je teplota pod $+5^{\circ}\text{C}$, je třeba pohonnou jednotku zahřát horkovzdušným topením, což trvá podle podmínek 15-30 minut. Po prohřátí lze použít postup spuštění, jako když v letním období ještě není zcela vychladlý. Po spuštění pohonné jednotky je dobré počkat na místě minimálně 5 minut, aby se teploty vyrovnaly. Před motorovou zkouškou je třeba zkontrolovat teploty, jestli jsou v provozních hodnotách pro daný typ pohonné jednotky.

Velmi nebezpečným jevem je námraza v karburátoru. Může zavinit úplné vysazení pohonné jednotky. Vzniká zamrznáním vodních částic obsažených ve vzduchu při klesání, kdy je pohonná jednotka ve volnoběžném režimu a relativní vlhkost je alespoň 30%. Vlivem konstrukce karburátoru dochází při snížení tlaku vzduchu a absorpci latentního tepla palivak obrovskému poklesu teploty. Tím se tvoří na plochách v karburátoru a vstupním potrubí (škrticí klapka, difuzor, palivová tryska atd.) vrstvy ledu, které brání proudění paliva a vzduchu do karburátoru. Dále může dojít k mechanickému znehybnění některých částí karburátoru (například omezený pohyb škrticí klapky). Námraza může vznikat v mraku, v mlze, nebo za deště, či sněžení, a to při jakémkoliv výkonu pohonné jednotky. Pro tyto případy bývá pohonná jednotka, u které se předpokládá provoz v těchto podmínkách vybaven systémem vytápění karburátoru. A proto je nutné jej v pravidelných intervalech využívat.

Negativně také působí provozování letadel v prašném prostředí. Proto je pravidelně vydáván přehled aktivních sopek, které chrlí sopečný prach a oblasti s nejaktivnější vulkanickou činností jsou monitorovány. Jestliže je letadlo provozováno v prašném prostředí, nebo proletí-li takovouto oblastí, můžou být poškozeny některé části letadel.

4.1.2 Provoz letadel v prašných podmínkách

Při přistání a pojíždění letadla na nezpevněných, prašných plochách dochází ke zviření prachu a k zanášení některých částí pohonných jednotek, což může vést k jeho následným zhoršeným provozním vlastnostem. Dochází k nánosům prachu na vzduchovém filtru v pohonné jednotce a z toho důvodu je pohonná jednotka následně nedostatečně chlazená. Taková pohonná jednotka spotřebuje více paliva a dává nižší výkon. Dále je nutno čistit zapalovací svíčku, jelikož dochází také k jejímu zanášení. Jestliže je na pohonné jednotce použito kombinovaného chlazení, tedy olejem i vodou, musí se chladicí žebra zachovávat čistě, aby se částičky prachu nenalepily na žebra a nezanášely se.

5. Srovnání pohonných jednotek speciálních a běžných

Současná rostoucí cena pohonných hmot vede k zamyšlení, zda by nebylo výhodnější použít pro pohon letadel vznětové pohonné jednotky, kdy palivo Jet A1 je o třetinu na litr pohonných hmot levnější v porovnání s palivem Avgas. Musíme si však uvědomit, že vznětové pohonné jednotky mají při porovnání se zážehovými pohonnými jednotkami stejného výkonu větší specifickou hmotnost (hmotnost na jednotku výkonu), díky větší konstrukci pohonné jednotky. Z hlediska ekologie si vznětové pohonné jednotky také nevedou moc dobře, jelikož produkují desetkrát více nebezpečných zplodin. Vznětové pohonné jednotky mají však větší účinnost díky spalování. Je zde mnoho speciálních součástí, na kterých se může vyskytnout závada, jako je turbodmychadlo. Údržba vznětových pohonných jednotek je díky tomu finančně náročnější. Je tedy otázka, zda je výhodnější sáhnout po osvědčených a certifikovaných zážehových pohonných jednotkách za cenu vyšší ceny pohonných hmot. Rozvoj vznětových pohonných jednotek také není moc rozšířený z toho důvodu, že až donedávna ceny pohonných hmot nebyly tak vysoko, jako jsou nyní, a tak nebylo třeba se poohlížet po úspornějším řešení.

U Wankelova motoru spočívá největší problém v tom, že dochází ke ztrátám výkonu díky nižší termodynamické účinnosti, která je způsobena tvarem spalovací komory, která není tvaru ideální koule. Díky tomu má i nízký kompresní poměr, protože tvar komory je protáhlý a spalování trvá déle, než je tomu u zážehových pohonných jednotek. Konstrukce Wankelova motoru je lehčí a menší. Navzdory tomu, že má Wankelův motor vyšší spolehlivost a hladší chod, jeho použití jako pohon letadel všeobecného letectví je značně omezeno kvůli nerovnoměrnému chlazení. Tyto nedostatky by se daly vyřešit, avšak vývoj a práce na těchto vylepšeních by byla značně nákladná a žádná firma nechce vynaložit takové množství finančních prostředků, protože produkce Wankelova motoru není tak rozšířená, aby se to vyplatilo. Proto jsou Wankelovymotory použity nejčastěji ve všeobecném letectví i u ultralehkých letadel, jako konverze pohonných jednotek z automobilů značky Mazda, jelikož je to nejznámější automobilka, která se zabývá produkcí motorů Wankel. Díky tomu, že automobilové pohonné jednotky jsou zvyklé pracovat na vyšších provozních otáčkách, musí být pro použití u letadel také nainstalován reduktor, což je další limitující faktor, a to díky celkové vyšší hmotnosti pohonné jednotky.

6. Licencování pístových pohonných jednotek z hlediska JAR-FCL 1

Pohonné jednotky musí splňovat nemálo podmínek k tomu, aby mohly získat osvědčení o letové způsobilosti. Tyto podmínky stanovuje pro Českou republiku předpis L 8 týkající se letové způsobilosti letadel, kde jsou popsány podmínky týkající se licencování pohonných jednotek a jejího příslušenství v části Hlava 5, Hlava 6, Hlava 7. Hlava 5 se týká přímo pohonné jednotky a jejich vlastností, Hlava 6 se zabývá vhodnou aplikací vrtule a Hlava 7 se týká zástavby pohonné soustavy.

Hlava 5 – obsahuje dílčí části

- 5.1 Rozsah platnosti
- 5.2 Konstrukční řešení, stavba a funkce – zde se pojednává o rozsahu stanovených provozních omezení za předpokládaných provozních podmínek.
- 5.3 Údaje o jmenovitých výkonech, podmínkách a omezeních
- 5.4 Zkoušky

Hlava 6 – obsahuje dílčí části

- 6.1 Rozsah platnosti
- 6.2 Konstrukční řešení, stavba a funkce
- 6.3 Údaje o výkonech, podmínkách a omezeních
- 6.4 Zkoušky

Hlava 7 – obsahuje dílčí části

- 7.1 Všeobecná ustanovení (použitelné standardy, dodržení provozních omezení pohonné jednotky a vrtule, ovládání volného otáčení, opětné spouštění pohonné jednotky)
- 7.2 Uspořádání a funkce (nezávislost pohonných jednotek, vibrace vrtule, chlazení, přidružené systémy, ochrana proti požáru)

Každý výrobek používaný v civilním letectví musí být certifikován Evropskou Agenturou pro Bezpečnost Letectví (EASA) vydáním typového osvědčení po prokázání základníchpožadavků. Pohonné jednotky musí splňovat nároky a požadavky na ochranu životního prostředí a požadavky na letovou způsobilost. Požadavky letové způsobilosti a požadavky na ochranu životního prostředí jsou vydány Agenturou jako Certifikační specifikace (pro pístové pohonné jednotky platí CS-22 a CS-E, respektive CS-34 a CS-36 pro ochranu životního prostředí). Zvláštní podmínky se vydávají v případech, kdy konstrukce je nová nebo neobvyklá a neexistují pro ni odpovídající požadavky letové způsobilosti. Žadatel pak musí prokazovat formou zkoušek, výpočtů, analýz, hodnocení konstrukce jednotlivé požadavky předpisové základny, kterou stanovuje agentura EASA. Dále musí definovat typový návrh (výkresy, materiálové a výrobní specifikace) a zdokumentovat jej formou zpráv, výkresů. Agentura je zapojena tím, že kontroluje vybrané zprávy, provádí inspekce a účastní se vybraných zkoušek. Žadatel musí prokázat, že v rozsahu uvažované letové a provozní obálky pohonné jednotky funguje bez problémů a ani mimo tuto obálku nemůže závada nebo porucha vést k požáru, uvolnění dílu s vysokou kinetickou energií mimo pohonnou jednotku, nedojde ke ztrátě kontroly pohonné jednotky, uvolnění ze závěsů nebo jiným následkům, které by mohly vést k úmrtí posádky nebo cestujících nebo poškození letounu.

Testují se kvalitativní a pevnostní vlastnosti nové pohonné jednotky (únavové vlastnosti, tenzometrie, vibrace). Poté následují zkoušky provozní, kdy je pohonná jednotka zalétávána. Na základě výsledků je pohonná jednotka buď upravena a poté dále testována, nebo je uvolněna do sériové výroby. Způsob testování probíhá tak, že pohonná jednotka je provozována určitý počet hodin v režimu, který je pro ni nevýhodný. Po zkouškách je pohonná jednotka rozebrána, jednotlivé díly jsou přeměřeny (před zkouškou jsou díly označeny) a následuje vyhodnocení.

Během zkoušek jsou měřeny a sledovány parametry pohonné jednotky, v kontrolních přestávkách pak vyhodnocovány vzorky oleje, otěrové kovy v oleji, případně další parametry. Jestliže jsou výsledky zkoušek uspokojující, pohonná jednotka je puštěna do sériové výroby.

7. Závěr

V této práci byl rozebrán vývoj speciálních pístových pohonných jednotek během historie. Byl vytvořen přehled speciálních pohonných jednotek, které se během vývoje objevily a vyjmenovány jejich vlastnosti a nevýhody, které vedly nakonec k jistému odsunu do ústraní. Dále se zde zabývám provozními vlastnostmi pohonných jednotek a certifikací pohonných jednotek s hlediska JAR-FCL 1.

Během historického vývoje se objevily pokusy o použití speciálních pohonných jednotek. Většinou se ale stáhly do ústraní dalšího vývoje, zejména díky tomu, že se během vývoje objevily nedostatky, které si vyžadovaly příliš nákladné řešení. Tehdejší vývoj však v danou dobu použití těchto jednotek nevyžadoval. Ve vývoji leteckých pohonných jednotek platí jakýsi trend konzervativnosti. Letecké pohonné jednotky používané na dnešních letadlech tedy nejsou nejmodernější, ani nejnovější, avšak jejich vlastnosti jsou již vžity uživateli a je velmi těžké prosadit inovativní myšlenky u vývoje nových pohonných jednotek. Vývoj nové pohonné jednotky stojí nemalé množství finančních prostředků. Zčásti i to se dá přičíst k faktu, proč se neprosadily speciální pístové pohonné jednotky, jako je Wankelův motor, nebo letecké pohonné jednotky Porsche. Nové letecké pohonné jednotky by musely mít výhody, které by překonaly již vyzkoušené vlastnosti dnešních jednotek, zejména nižší spotřebou, což není úplně jednoduchý úkol. I když v současnosti používané pohonné jednotky také nejsou bez chyb. Proto se výrobci speciálních pístových pohonných jednotek snaží spíše o předložení náhradní varianty při použití pohonné jednotky a je na uživateli, jakou pohonnou jednotku zvolí. Výrobci letadel raději sáhnou po osvědčené variantě, jelikož si nemohou dovolit riskovat finanční ztráty.

V současné době je snaha o co největší ekologičnost při provozu a vývoji pístových pohonných jednotek, dále o redukci emisí, které negativně ovlivňují životní prostředí. Z toho důvodu se vývoj soustředí na vývoj elektrického pohonu. V současné době je nejčastěji využit pro pohon kluzáků, ale objevují se pokusy už i u ultralehkých letadel. Největší problém spočívá ve vytvoření a uchování elektrické energie.

8. Seznam použitých zkratek

η_i	- indikovaná účinnost	[%]
η_{ch}	- chemická účinnost	[%]
η_s	- stupeň plnosti diagramu	
η_t	- tepelná účinnost	[%]
P_i	- Indikovaný výkon	[W]
W_i	- Indikovaná práce oběhu	[J]
n	- počet otáček motoru	
z	- počet zdvihů připadající na jeden pracovní oběh	
i	- počet válců pohonné jednotky	

Přepočítání kW na koňské síly: 1 kW = 1,36 koní

9. Seznam použité literatury

Literatura:

- [1] KOCÁB, J. – ADAMEC, J. Letadlové motory, Praha: KANT CZ s.r.o., 2000
- [2] Předpis JAR-FCL 1, 2006
- [3] HAMMER, M. Elektrotechnika a elektronika, Brno, 2006
- [4] Letová příručka Cessna 172, F-AIR
- [5] BACHMANN, P. Ein- und zweimotorige Flugzeuge, Stuttgart: Motorbuch Verlag, 1993
- [6] KULČÁK, L. Pohonná jednotka, Brno: CERM s.r.o., 2006

Internet:

- <http://forum.planes.cz/viewtopic.php?t=579&sid=9aaf33f945f9df5ead8b5185ef2310a5>, [cit. 2011-02-15]
- <http://www.enginehistory.org/engines.shtml>, [cit. 2011-02-20]
- <http://www.howstuffworks.com/rotary-engine.htm/printable>, [cit. 2011-02-25]
- http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Jumo205_cutview.JPG, [cit. 2011-03-10]
- <http://en.wikipedia.org/>, [cit. 2011-03-15]
- http://www.bredow-web.de/Triebwerke_und_Flugzeugmotore/Thielert_CENTURION_2/Thielert_CENTURION_2.0.jpg, [cit. 2011-04-14]
- http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5f/Porsche_PFM_3200_aircraft_engine.JPG, [cit. 2011-05-05]
- <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/82/Diamond-Katana-DA20-Wankel.jpg>, [cit. 2011-05-14]
- <http://www.lange-aviation.com>, [cit. 2011-05-15]
- <http://www.nasa.gov/centers/dryden/news/FactSheets/FS-068-DFRC.html>, [cit. 2011-05-15]
- <http://www.aeroweb.cz/clanek.asp?ID=2159&kategorie=3>, [cit 2011-4-16]

10. Přílohy

10.1 Obrazová příloha



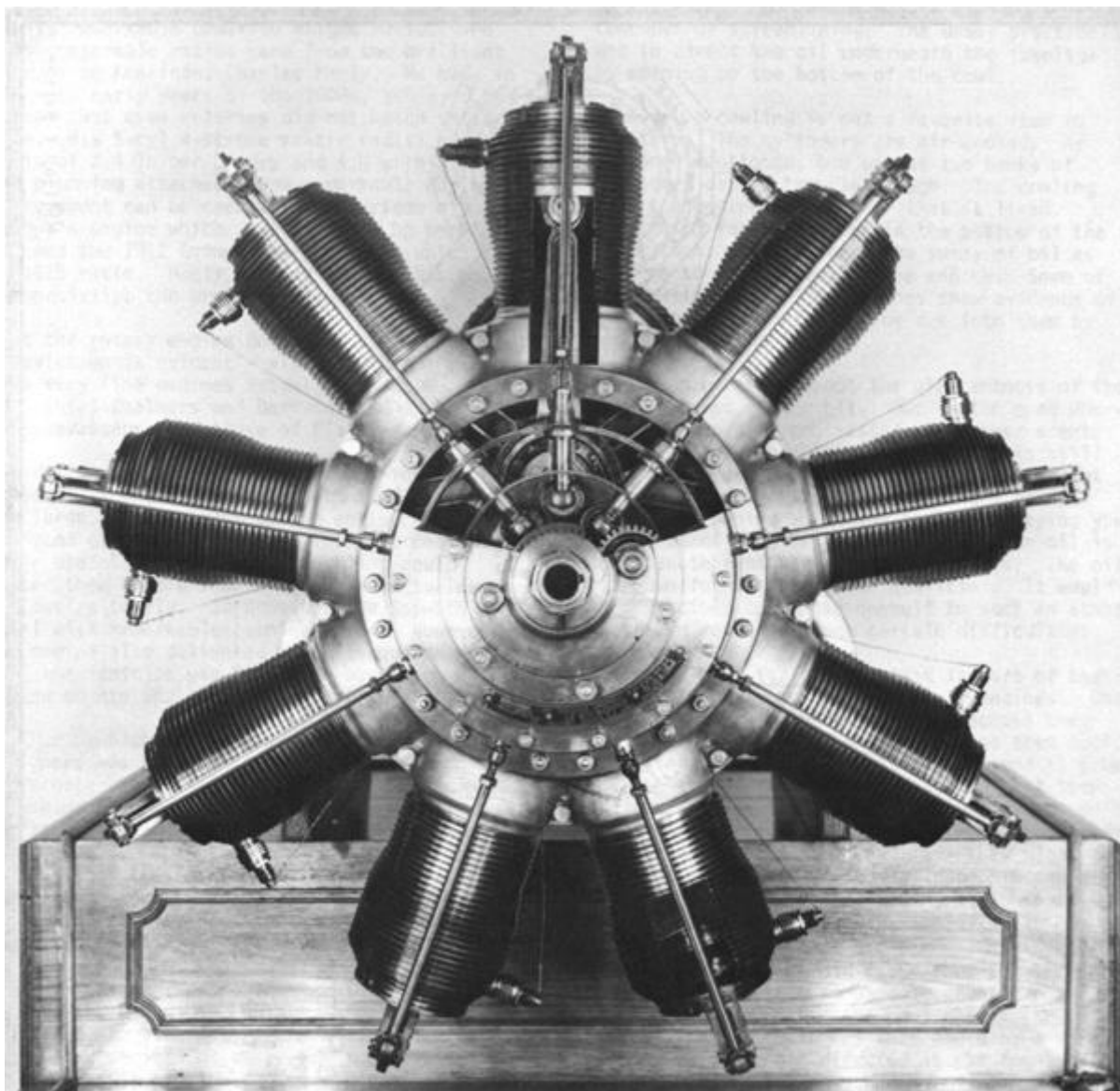
Obr. 13 – Diamond DA42 se vznětovými pohonnými jednotkami Thielert Centurion



Obr. 14– Diamond Katana DA20 s pohonnou jednotkou Wankel



Obr. 15– Kluzák Antares s elektromotorem EM-42



Obr. 16 – Rotační motor Gnome Monosoupape



Obr. 17 – Letadlo Dornier Do 26 s pohonnými jednotkami Jumo 205



Obr. 18 – Lockheed Q Star – první letadlo poháněné Wankelovým motorem

10.2 Elektropohon

10.2.1 Princip elektropohonu

Základním principem činnosti všech elektrických strojů je zákon elektromagnetické indukce, jehož znění je následující: „*Při pohybu vodičů v magnetickém poli nebo při časové změně magnetického toku spjatého s elektrickým obvodem se ve vodičích nebo elektrickém obvodu indukuje elektrické napětí a je-li obvod uzavřen, vzniká elektrický proud.*“ Musí být tedy vytvořeno magnetické pole a musí být dána možnost vzniku elektrického pole. Magnetické pole je vytvářeno v magnetickém obvodu stroje a elektrický proud protéká vodiči, které jsou uspořádány v tzv. vinutí. Magnetický obvod a vinutí tvoří hlavní aktivní části každého elektrického stroje.

Elektrické motory se rozdělují na asynchronní motory a synchronní motory. U asynchronního motoru lze nalézt tzv. skluz, což je rozdíl otáček točivého magnetického pole statoru a otáček rotoru. Velký proudový náraz při připojení stroje k síti a dále velká závislost momentu na napětí patří k jeho negativním vlastnostem. První patent na indukční stroj podal v roce 1887 vědec Nikola Tesla. Jeho hlavní části jsou kostra, stator, statorové vinutí, ložiskové štíty, ložiska, rotor, ventilátor, hřídel, statorová a rotorová svorkovnice. Princip činnosti bude popsán na trojfázovém asynchronním motoru. Na statoru je umístěno trojfázové vinutí, které se připojuje ke zdroji střídavého napětí. To protlačí vinutím rotoru proud. Tento rotorový proud vytvoří magnetické pole, které působí na magnetické pole statoru tak, že se rotor začne vzhledem ke statoru otáčet. Rotor nikdy nedosáhne otáček točivého magnetického pole, neboť při těchto otáčkách by se ve vinutí rotoru neindukovalo napětí, rotorem by neprocházel proud a nevznikla by tažná síla.

U synchronního motoru existuje shoda (synchronizmus) mezi otáčkami magnetického pole statoru a otáčkami rotoru. Jestliže je vodič protínán siločarami magnetického pole, indukuje se v něm elektrické napětí. Otáčením magnetického pole vzhledem ke stojícímu vodiči se mění magnetický tok ve vinutí kotvy (statoru). K základním vlastnostem synchronního motoru patří:

1. Pracuje s rychlostí pevně vázanou na napájecí napětí. Je stabilnější při poklesech napětí ve srovnání s asynchronním motorem.
2. Při přetížení může vypadnout ze synchronizmu, ztratí moment a zastaví se.
3. Motor se nemůže po připojení k síti rozběhnout bez určitých opatření.
4. Motor spolu s poháněním technologických zařízení kompenzuje účinník

10.2.2 Použití elektromotorů v letectví

- **Antares 20E**

Elektrický pohon u letadel není příliš rozšířený, prozatím byl tento pohon aplikován pro pohon kluzáků. Konkrétně se jedná o pohonnou motor EM42, který byl vyvinut speciálně pro pohon kluzáku firmy LangeAviation pojmenovaným Antares 20E. Jedná se o jedinou pohonnou jednotku světa využívající elektrické energie, která byla certifikována společností EASA. Jde o bezkontaktní motor, který využívá stejnosměrného proudu, který je odebírán ze zdroje o napětí 190-288V/160A. Výkon motoru EM42 je 42kW (54 koní).

Údržba pohonné jednotky je poměrně nenáročná a levná, interval mezi dvěma prohlídkami je dlouhý (200 hodin nebo 10 let, podle toho, co je dřív), a to díky jednoduché konstrukci pohonné jednotky, která se skládá ze čtyř částí (dvou kuličkových ložisek a dvou těsnících kroužků).

Letadlo je napájeno bateriemi Li-Ion o celkovém počtu 72 článků rozdělených do 24 oddílů. V každém oddílu se nachází 3 články. Výhoda toho to zdroje spočívá v jeho nízké váze a produkci vysoké energie. Baterie se úplně dobijí za 9 hodin, přičemž nemají žádnou nabíjecí paměť, takže částečné dobíjení baterie nepoškodí.

Podobný princip pohonu je použit i u kluzáku Arcus E německé firmy Schemp-Hirth Flugzeugbau GmbH.

- **Pioneer Alpi 300**

Elektropohon, který využívá jako zdroj polymerních baterií, se objevil na letadle Pioneer Alpi 300 v projektu nazvaném SkySpark, firmy SkySpark a Polytechnické univerzity v Turíně, kde vyvinuly pohonnou jednotku o výkonu 75 kW. Zajímavostí je, že tato pohonná jednotka utvořila rekord, když dosáhla rychlosti 250 km/h 12. června 2009. Nyní se soustředí na vývoj pohonných jednotek na vodíkový pohon.

- **Helios**

Dále je elektropohon použit u tzv. UAV (unmanned air vehicle) bezpilotních letounů. V roce 2001 NASA zahájila projekt nazvaný Helios. Jedná se o bezpilotní letoun poháněný čtrnácti elektrickými motory, každý o výkonu 1,5 kW, které jsou poháněny solárním zdrojem sestávajícím z 62 000 solárních článků pokrývajících horní povrch křídel. Články jsou na silikonové bázi a mají účinnost 19 % při převodu solární energie na elektrickou. Letadlo je vybaveno lithiovými záložními bateriemi pro noční operace.