



České Vysoké učení technické v Praze  
Fakulta dopravní

Zdeněk Novotný  
Lycoming O-320 – výukový program

Bakalářská práce

**2016**



**K621..... Ústav letecké dopravy**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Zdeněk Novotný**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – TUL – Technologie údržby letadel**

Název tématu (česky): **Lycoming O-320 - výukový program**

Název tématu (anglicky): Lycoming O-320 - Education Programme

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Historie a využití motoru Lycoming O - 320
- Spalovací motory - seznámení
- Popis motoru Lycoming O-320
- Výukový program - prezentace
- Shrnutí dosažených výsledků

- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Kocáb, Adamec. Letadlové motory  
Parts catalog O-320, IO-320 & LIO 320 series  
Operator's manual AVCO Lycoming O-320, IO-320 and LIO-320 series aircraft engines

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Novák, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **25. října 2015**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **25. srpna 2016**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.

  
doc. Ing. Stanislav Szábo, PhD. MBA  
vedoucí  
Ústavu letecké dopravy

  
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

  
Zdeněk Novotný  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 25. října 2015

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji panu Ing. Martinu Novákovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za rady, které mi poskytoval po celou dobu mého studia. Dále bych rád poděkoval firmě DSA a.s. za umožnění přístupu k mnoha důležitým informacím a materiálům. V neposlední době bych rád poděkoval své rodině za morální i materiální podporu, které se mi dostávalo po dobu studia.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr mého studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu 60 Zákona č.121/2000 Sb. O právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 25. srpna 2016

.....

## Abstrakt

Předmětem práce „Lycoming O-320- výukový program“ je poskytnutí materiálu pro výuku látky Modulu 16 nařízení EU č. 1321/2014 PART 66 pro výukové organizace v souladu s PART 147 stejného nařízení. Teoretická část práce je rozdělena na dvě části, přičemž první pojednává obecně o pístových spalovacích motorech a druhá o konkrétním motoru Lycoming O-320. Praktickou část práce tvoří výukový program zhotovený v programu Microsoft PowerPoint.

## Klíčová slova:

Pístový motor, motorová soustava, termodynamika, konstrukce, Lycoming

## Abstract

The goal of the thesis "Lycoming O-320- education program" is to provide study material for Module 16 according to the EU norm Nr. 1321/2014 PART 66 for educational institutions in accordance with PART 147 of the same norm. The theoretical part is divided into two parts, whereas the first one gives general overview of the internal combustion piston engines and the second is dedicated specifically to the engine Lycoming O-320. The practical part consists of an interactive educational program implemented in Microsoft PowerPoint.

## Key words:

Piston engine, engine systems, thermodynamics, construction, Lycoming

## Obsah

|   |    |
|---|----|
| Úvod.....   | 7  |
| 1 Spalovací motory .....                            | 9  |
| 1.1 Základní pojmy.....                             | 9  |
| 1.2 Technická termodynamika pístového motoru .....  | 11 |
| 1.3 Konstrukce pístového motoru.....                | 16 |
| 1.3.1 Válec a hlava válce, víceválcové motory ..... | 16 |
| 1.3.2 Klikový mechanismus.....                      | 19 |
| 1.3.3 Rozvodový systém .....                        | 21 |
| 1.3.4 Reduktory.....                                | 23 |
| 1.3.5 Motorové soustavy .....                       | 25 |
| 2 Lycoming O-320.....                               | 39 |
| 2.1 Seznámení.....                                  | 39 |
| 2.2 Historie a využití motoru .....                 | 40 |
| 2.2 Technický popis .....                           | 43 |
| 3 Výukový program .....                             | 52 |
| 3.1 Výběr programu pro tvorbu.....                  | 52 |
| 3.1 Seznámení s výukovým programem .....            | 54 |
| Závěr.....  | 55 |
| Použité zdroje .....                                | 56 |

## Úvod

Se spalovacími motory se setkáváme denně, a to především při cestování. Do budoucna se plánuje postupné nahrazování jinými zdroji, nicméně v současnosti, a velmi pravděpodobně tomu v nejbližších letech nebude jinak, se prakticky všechna auta, autobusy, letadla, lodě, a také některé vlaky dávají do pohybu právě díky energii ukryté ve fosilních palivech a její přeměně na mechanickou energii v pracovních prostorech spalovacích motorů. Spalovací motory však najdeme i v jiných, než pouze v dopravních zařízeních- například v sekačkách, přenosných elektrocentrálách, či dokonce v jaderných elektrárnách.

I přes široké využití spalovacích motorů je osvěta veřejnosti o základech principu jejich činnosti velmi špatná. Ze své pozice bych se rád pokusil tento stav alespoň trochu změnit, a to právě formou této práce. Hlavním účelem této práce je totiž výuka. Mým úkolem bylo vytvořit práci, která bude využívána firmou DSA a.s., která vlastní Osvědčení o oprávnění pro výcvik údržby dle nařízení EU č. 1321/2014 PART 147, jako podklad přednášejícímu lektorovi pro výuku látky obsažené v Modulu 16 dle PART 66 stejného nařízení.

Teoretická část se věnuje obecně problematice pístových spalovacích motorů. Nejprve jsou uvedeny základní pojmy, dále následuje kapitola věnující se fyzice pístových motorů, a ve třetí, nejobsáhlejší, kapitole se pojednává o konstrukci jednotlivých částí pístového motoru. Jak již bylo naznačeno, informace uvedené v práci odpovídají požadavkům na znalosti a splnění testu Modulu 16 dle PART 66. Závěrečná kapitola se věnuje popisu motoru Lycoming série 320, který je znám z mnoha malých letadel používaných také českými společnostmi včetně DSA a.s.

Praktickou část práce představuje prezentační program s výtahem informací určených k výuce. Primárně je prezentační program určen pro přednášejícího lektora, možné je však i individuální využití samotným posluchačem.

Při tvorbě práce byl kladen důraz na srozumitelný jazyk psaní a definování takřka všech základních informací, aby byla práce sama o sobě přínosná pro každého, i v tomto oboru zatím zcela nevzdělaného čtenáře. Některé technické pojmy jsou v závorkách doplněny svými anglickými ekvivalenty, jelikož při studiu originální literatury a schémat je jejich znalost důležitá.

## **DSA a.s.**

Společnost DSA a.s. působí na leteckém trhu od roku 1992. Jejím nosným programem se od roku 1993 stala letecká činnost ve zdravotním systému ČR od repatričních letů až po provozování letecké záchranné služby. Společnost se dále věnuje leteckým pracím, jako jsou stavební práce, letecké filmování, vyhlídkové lety, dále přepravě osob a nákladů a servisu letadel. V neposlední řadě DSA a.s. disponuje největší leteckou školou v České republice provádějící výcvik profesionálních pilotů až po úroveň dopravního pilota.

Letadlový park společnosti DSA a.s. zahrnuje celkem šest letadel Cessna 172 v různých variantách, dále tři Cessny 150 a jednu Cessnu 162. Flotilu jednomotorových vrtulových letounů doplňuje Zlín Z-142 a Zlín Z-226MS. Mezi vícemotorové stroje patří dva letouny Piper PA-34, jeden Beechcraft C90 a jedna proudová Cessna Citation Jet 525. Do flotily vrtulníků patří celkem pět strojů EC 135 v různých provedeních, dále tři vrtulníky Schweizer S269C, dva EC 120, a po jednom kuse typu AS 350 B3e, AS 355 N, Enstrom 480B a Enstrom 280FX.

Mezi oprávnění a licence společnosti patří Provozní licence k provozování obchodní letecké dopravy, Osvědčení leteckého provozovatele k provádění obchodní letecké dopravy CZ-83, Povolení k provozování leteckých prací (č. 1075/LPR-letouny, č. 1074/LPR-vrtulníky), Osvědčení schválené organizace pro výcvik CZ/ATO-006, Povolení letecké činnosti pro vlastní potřebu (č. 1072/VLP-letouny, č. 1073/VLP-vrtulníky), Osvědčení o schválení CZ / ICAO English 11, Oprávnění k údržbě dle PART 145, Oprávnění k řízení zachování letové způsobilosti dle PART M a Osvědčení o oprávnění pro výcvik údržby dle PART 147.

Společnost sídlí na letišti Praha-Kbely, kde má také jednu ze svých poboček. Druhá pobočka se nachází na letišti v Hradci Králové.



**Obr. 1: Cessna 172 RG společnost DSA v údržbě [10]**



# 1 Spalovací motory

## 1.1 Základní pojmy

V první části této práce si definujeme některé základní pojmy z oblasti motorů. Dále si popíšeme funkci a základní součásti pístových spalovacích motorů.

Motory obecně jsou zařízení, která slouží k přeměně energie na mechanickou práci. Vstupní energie může být v mnoha různých formách, nejčastěji se však jedná o energii tepelnou nebo elektrickou. Elektrické motory lze rozdělit na střídavé a stejnosměrné, synchronní a asynchronní, atd. Často (i v letectví) se využívá faktu, že elektromotory fungují i „naopak“. Pokud je elektromotorem otáčeno (je dodána mechanická energie), produkuje motor energii elektrickou a funguje tak jako generátor.

V případě letadel nás nejvíce zajímají tzv. tepelné motory, tedy motory, které na mechanickou práci přeměňují energii tepelnou, resp. chemickou energii uloženou v palivu.

Základní dělení letadlových pohonných jednotek je na tryskové (*jet*) a vrtulové (*propeller*). Mezi tryskové motory patří motory proudové (*turbojet*) a dvouproudové (*turbofan*). My se v práci budeme věnovat vrtulovým pohonným jednotkám, jejichž zdroje energie se dělí na turbovrtulové (*turboprop*), turbohřídelové (*turboshaft*) a pístové (*piston*).



Obr. 2: Turbovrtulový a proudový motor [12]

Turbovrtulový a turbohřídelový motor si lze zjednodušeně představit jako tryskový motor, na jehož rotor je připojena vrtule, která pohání letadlo.

Pístové spalovací motory lze rozdělit podle počtu pracovních dob, a to na motory dvoudobé (*two stroke piston engine*), a čtyřdobé (*four stroke piston engine*). Dvoudobé motory se využívají v malých konstrukcích, např. v motocyklech, sekačkách či motorových pilách. Čtyřdobé motory pohání většinu aut, některé vlaky a malá letadla.

Dále se pístové spalovací motory dělí na vznětové (*diesel engine*) a zážehové (*petrol engine*). Vznětové motory známe především z velkých strojů, jako jsou nákladní auta či lokomotivy. Jako palivo pro jejich pohon se využívá nafta (*diesel fuel*), která je stříknuta do spalovacího prostoru motoru těsně před dosažením horní úvratí, čímž dojde ke vznícení směsi. Zážehové motory pro svou činnost používají benzin (*gasoline*), jehož směs se vzduchem je ve spalovacím prostoru zažehnuta svíčkou.



Obr. 3: Lokomotivní vznětový motor [11]

V celé práci se budeme věnovat především zážehovým čtyřdobým motorům, neboť právě ty se u malých vrtulových letadel využívají nejčastěji.

V první podkapitole se budeme zabývat termodynamickým pochodem, fyzikální podstatě, díky kterým se motor dá do pohybu. V druhé podkapitole je popsáno konstrukční řešení jednotlivých částí motoru.

## 1.2 Technická termodynamika pístového motoru

Technická termodynamika je nauka a přeměně tepelné energie na mechanickou práci. K takovýmto přeměnám dochází v tepelných strojích, mezi které patří i pístové motory.

Jelikož výpočty s reálnými plyny by byly příliš komplikované, zavádí se v termodynamice pojem ideálního plynu, který zanedbává některé vlastnosti plynů reálných. Výpočty s ideálním plynem jsou díky tomu řádově jednodušší.

Termodynamický stav ideálního plynu je vždy přesně určen třemi tzv. stavovými veličinami: tlakem  $p$  [Pa], objemem  $V$  [m<sup>3</sup>] a termodynamickou teplotou  $T$  [K]. Pokud k těmto veličinám přidáme konstantu  $r$ , která nám vyjadřuje, kolik tepla musíme dodat jednomu kilogramu plynu, aby se zahřál o jeden Kelvin (připomeňme si, že rozdíl jednoho Kelvina je stejný jako rozdíl teplot jednoho °C), můžeme poskládat tzv. stavovou rovnici plynu:

$$p \cdot V = r \cdot T \quad (1)$$

Je jasné, že pokud se změní hodnota jedné z veličin, musí na to ostatní veličiny (veličina) „zareagovat“. Kdyby se například na levé straně rovnice zvětšila hodnota objemu  $V$ , musela by se na pravé straně rovnice zvětšit teplota  $T$ , jinak by byla porušena rovnost.

Proces, při kterém se mění stavová veličina (veličiny) se nazývá termodynamická změna. Při některých změnách zůstává jedna ze stavových veličin konstantní, při jiných se všechny stavové veličiny mění. Za termodynamickou změnu tak považovat například ochlazení plynu, zvětšení jeho objemu, zmenšení tlaku, či jakoukoli kombinaci.

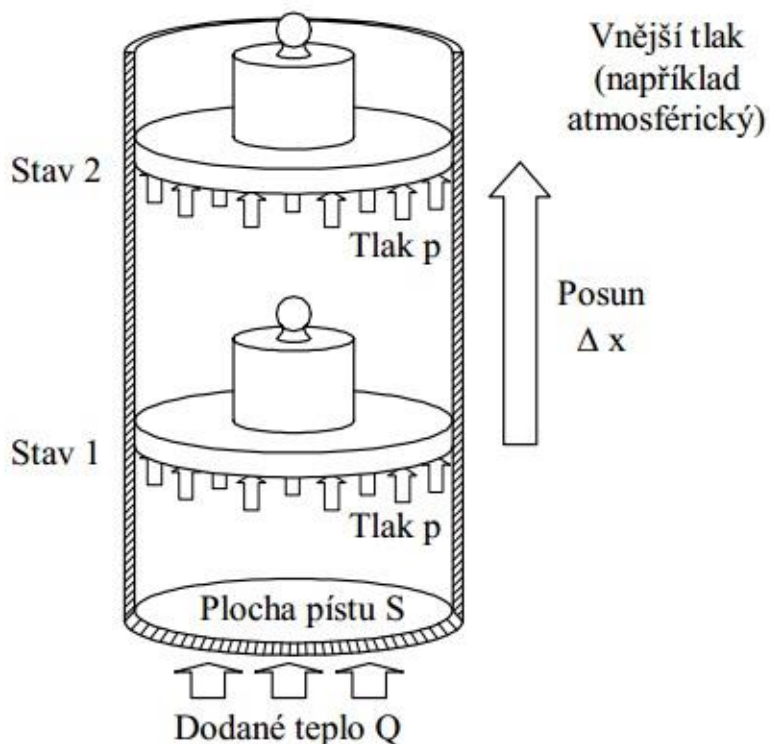
Reálným procesům v tepelných motorech nejlépe odpovídá tzv. polytropická změna, při které se mění všechny stavové veličiny, a to podle vztahu:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1} \quad (2)$$

Kde hodnoty veličin s indexem 1 odpovídají stavu před změnou, s indexem 2 po změně. Člen  $n$  je tzv. polytropický exponent.

Omezme se nyní na to, že základní fyzikální princip, který využívají všechny tepelné stroje, je ten, že pokud zahřejeme určité množství plynu, zvětší se jeho objem. Při ochlazení se objem naopak zmenší. Funguje to i obráceně- pokud stlačíme určité množství plynu, dojde k nárůstu jeho teploty. Pokud plyn svůj objem naopak zvětší, zchladí se.

Představme si určité množství plynu v prostoru o tvaru trubky s tím, že na jedné straně je trubka uzavřena pevným víkem a na druhé straně pístem, který se může pohybovat ve směru podélné osy trubky (válce). Vnitřní prostor je dokonale utěsněn. Pokud bychom nyní plyn zahřáli, měl by tendenci zvětšit svůj objem. Začal by proto působit tlakem  $p$  na celý vnitřní povrch válce, který je však pevný. Jediná



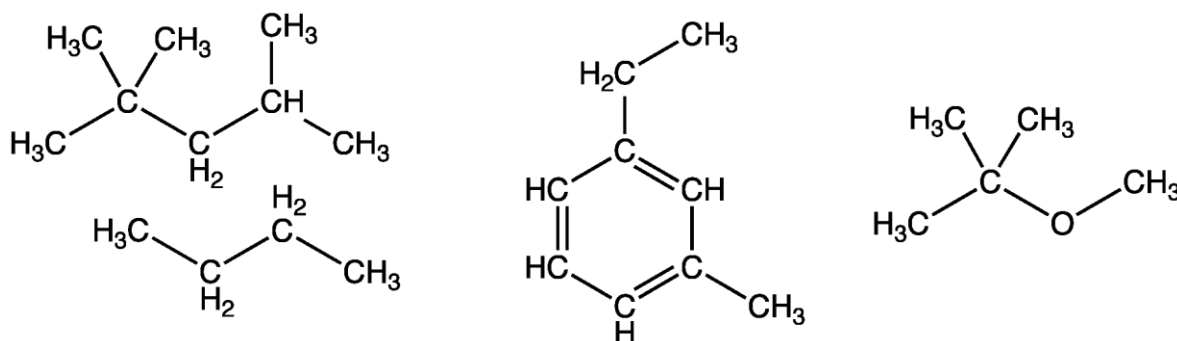
Obr. 4: Uzavřený válec s pohyblivým pístem [7]

pohyblivá součást je píst, který by se tak posunul a zvětšil vnitřní objem prostoru. Říkáme, že plyn nyní provedl práci, v našem případě technickou.

Právě takový píst ve válci je základním hnacím členem pístových motorů. Ze spodní strany je píst připojen na tzv. klikový mechanismus, jehož konstrukci se budeme věnovat v další kapitole. V tuto chvíli nám stačí vědět, že klikový mechanismus je zařízení, které převádí posuvný pohyb pístu na rotační pohyb hřídele, která pohání vrtuli. Každé stlačení pístu vykoná otáčku hřídele o  $180^\circ$ . Poté, co plyn vykoná práci a píst je v poloze nejdál od víka válce, je třeba jej vrátit zpět, aby se proces mohl opakovat. Tento návrat, a dokonce také další dva pohyby pístu, jsou vykonány pomocí akumulované kinetické energie v klikovém mechanismu.

Víme tedy, že pro činnost tepelného motoru potřebujeme, aby se plyn v pracovním prostoru zahřál. K ohřevu se využívá chemická energie uložená v palivu. Paliva (pohonné hmoty) jsou obvykle kapalné látky, směsi uhlovodíků, které jsou schopné se vzduchem

tvorit směs v podobě mlhy, kdy jsou ve vzduchu rozptýleny mikroskopické kapičky paliva. V tuto chvíli stačí udělat malou jiskru, palivo vzplane, dojde k exotermní chemické reakci a uvolní se velké množství tepelné energie. Plyn se prudce zahřeje o několik stovek stupňů Celsia, což bude doprovázeno odpovídajícím prudkým nárůstem objemu a provedením práce.

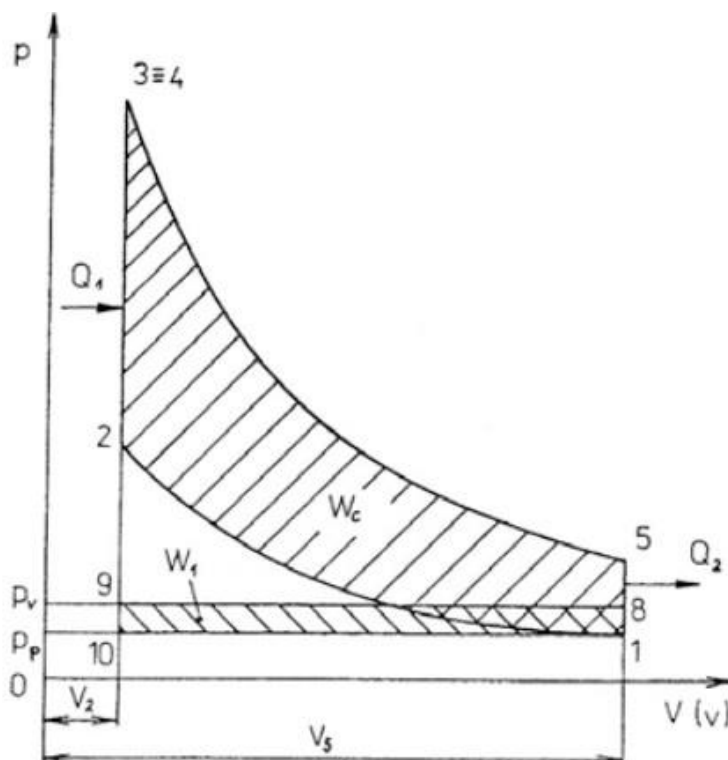


Obr. 5: Strukturální vzorce hlavních složek benzínu: izooktan, butan a 3-ethyltoluen [12]

Chemicky správná (stechiometrická) směs vzduchu s palivem je dána poměrem 15:1 Jako palivo se pro zážehové motory používá benzín. Jedná se o kapalinu ropného původu skládající se především z alifatických uhlovodíků a některých dalších látek pro zlepšení vlastností. Důležitou charakteristikou benzínu je oktanové číslo, které vyjadřuje odolnost benzínu proti samozápalu.

Platí, že pro pohon v motoru s vyšším kompresním poměrem (viz dále) musí být použit benzín s vyšším oktanovým číslem. Kvalita nafty, paliva pro vznětové motory, je charakterizována číslem Cetanovým.

Aby mohl motor fungovat, musí docházet k cyklické výměně náplně. Po provedení jednoho cyklu musí být z pracovního prostoru vypuštěny spaliny a nasáta čerstvá směs, aby se

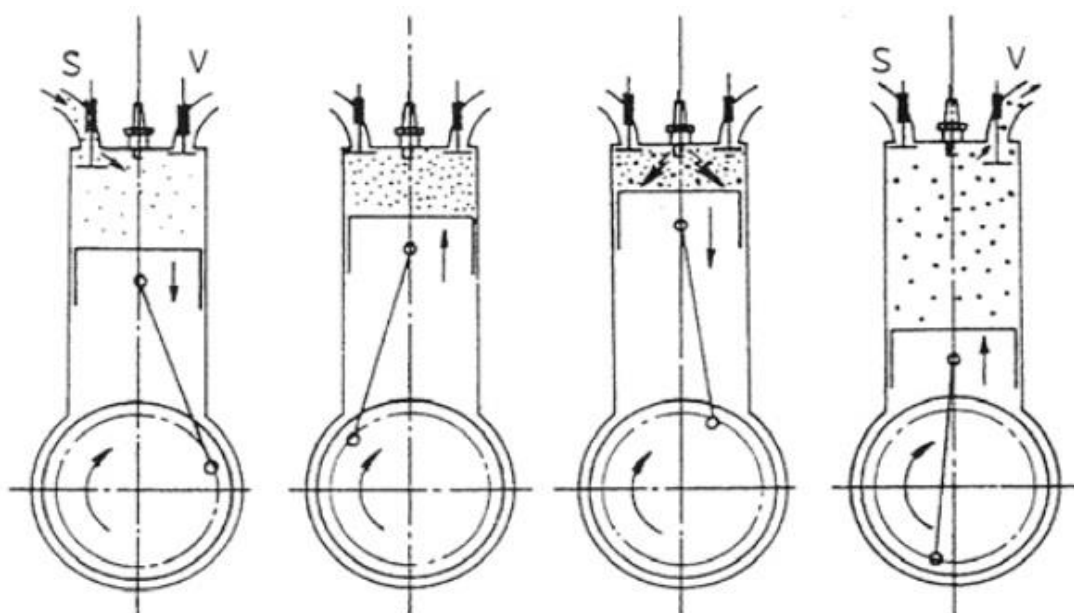


Obr 6: Pracovní diagram zážehového motoru [2]

proces mohl opakovat. Motor tedy nepracuje kontinuálně- v jednu chvíli je energie dodávána, v jinou chvíli se píst pohybuje setrvačností. Říkáme, že pístové motory patří mezi tzv. motory s přerušovaným pracovním cyklem.

Pro analýzu termodynamických dějů slouží tzv.  $p$ - $V$  diagramy též zvané pracovní. Jedná se o grafy závislosti tlaku  $p$  pracovní směsi na objemu  $V$ , přičemž (pracovní) cykly tvoří v diagramu uzavřenou křivku. Zjednodušený pracovní diagram jednoho cyklu nepřepřehovaného zážehového motoru je na obr. 6. Důležité body, o které se budeme opírat při vysvětlování tohoto tzv. Ottova cyklu, jsou označeny čísly na obrázku 6..

Pracovní cyklus motoru začíná sáním. Píst se v tomto okamžiku nachází přibližně v horní poloze nejbližší ventilům, v horní úvrati, kdy je velikost pracovního prostoru nejmenší. Sací ventil se otevřel chvíli před dosažením horní úvrati. V pístu a celém mechanismu je stále uložena kinetická energie z předchozího cyklu, díky které se píst pohybuje dolů a vzniklým podtlakem tak do pracovního prostoru přes otevřený sací ventil nasává směs vzduchu s palivem. V případě přepřehovaných motorů je pracovní směs do motoru navíc tlačena „zvenku“, čímž se dosahuje vyšších tlaků a tím výkonů. Krátce po dosažení dolní krajní úvrati, se sací ventil uzavře (*bod 1*). Právě proběhla první fáze činnosti čtyřdobého motoru- **sání** (*křivka mezi body 10-1 v  $p$ - $V$  diagramu*). Následuje druhá fáze- **stlačení** (1-2), kdy se píst svou stále značnou setrvačností vrátí zpět do horní úvrati, čímž dojde ke stlačení a zahřátí nasáté směsi. Krátce před dosažením horní úvrati dojde k zapálení směsi pomocí tzv. svíčky, která bývá umístěna mezi ventily. Čas, který uplyne mezi výbojem ve svíčce a dosažením horní úvrati, se označuje jako předstih motoru. Do



Obr. 7: Čtyři doby zážehového motoru [2]

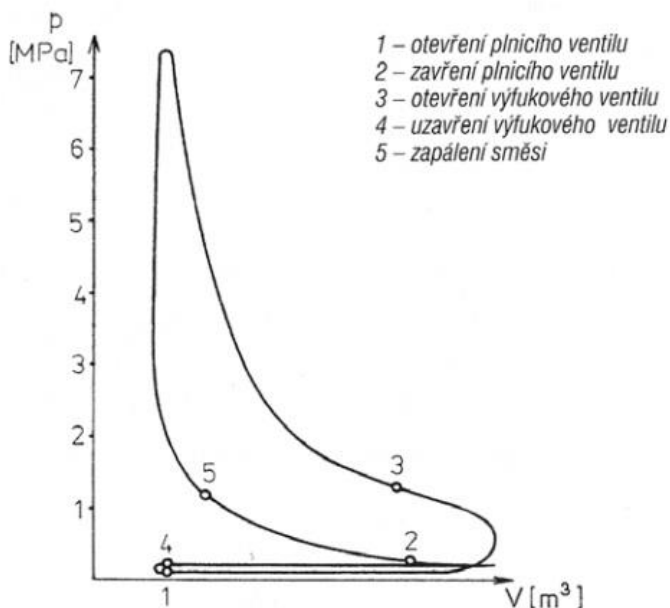
procesu byl zanesen z důvodu dosažení lepší účinnosti- rozhoření směsi trvá totiž určitý čas. Do plynu bylo zapálením směsi přivedeno teplo  $Q_1$ , v souladu se zákony termodynamiky dojde k zvětšení jeho objemu a vzniku tlaku na vnitřní povrch válce, tak jako na pohyblivý píst, který se začne přesouvat směrem dolů. Právě proběhla třetí část cyklu- **expanze** (2-5), ve které plyn provedl práci. Říkáme, že expanze je tzv. vlastní pracovní doba motoru. Nyní následuje poslední, čtvrtá část pracovního cyklu- **výfuk** (5-9), kdy se píst svou energií vrací z dolní úvrati do horní. Ještě před dosažením dolní úvrati se otevírá výfukový ventil, který zůstane otevřený až do doby krátce po horní úvrati. Vzniklé spaliny jsou tak pístem vytlačeny ven z pracovního prostoru, čímž je zároveň odvedena část zbytkového tepla  $Q_2$ . Chvilí před dosažením horní úvrati se otevírá sací ventil a celý čtyřdobý cyklus se opakuje.

Celkovou, plynem vykonanou práci představuje v pracovním diagramu šrafovaná plocha mezi křivkami s označením  $W_c$ .

Vedle teoretických pracovních diagramů existují také tzv. indikátorové diagramy, které jsou měřeny na reálných motorech. Jedná se opět o grafy závislosti tlaku  $p$  na objemu  $V$ , resp. aktuální polohy pístu.

Je patrné, že během činnosti motoru existuje jistý časový úsek, během kterého jsou otevřeny oba ventily současně, aby mohlo dojít k co nejlepšímu propláchnutí pracovního prostoru čerstvou směsí. Tento časový úsek vyjádřený úhlem, o který se během něho otočí kliková hřídel, se označuje jako překrytí ventilů.

Celková účinnost čtyřdobých zážehových motorů se pohybuje okolo 25 až 30%.



Obr. 8: Indikátorový diagram zážehového motoru [2]

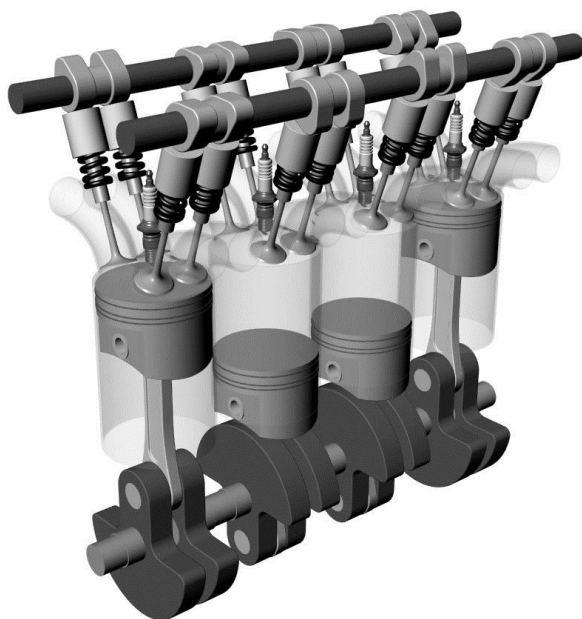
Dvoudobý motor má oproti čtyřdobému sice menší účinnost (cca 20%), ovšem vlastní pracovní doba probíhá každou otáčku, tj. dvakrát častěji. Výkon dvoudobého motoru bude tak oproti čtyřdobému motoru stejného objemu přibližně 1,7 krát větší.



## 1.3 Konstrukce pístového motoru

### 1.3.1 Válec a hlava válce, víceválcové motory

Tělo motoru, ve kterém probíhají tepelné cykly, a kde je transformována chemická energie na energii kinetickou, se nazývá válec (*cylinder*). Slovo válec se také používá v přeneseném slova smyslu pro celou jednu „pracovní jednotku“ motoru, včetně hlavy, rozvodů a dalších součástí.



Obr. 9: Řadový motor [13]

Jak název napovídá, vlastní válec má tvar jednolitého, dutého válce bez podstav. Na jednom konci je k válci šrouby přiděláno jakési víko, tzv. hlava válce (*cylinder head*), která tak vnitřní prostor z jedné strany utěsňuje a dává mu tvar. Ten bývá různý, a zvolený tak, aby spalování probíhalo co nejdokonaleji. Objem celého válce se nazývá celkový. Objem, který je mezi hlavou válce a

pístem v dolní úvratí se nazývá pracovní. Objem, který zbývá mezi hlavou válce a pístem v horní úvratí se nazývá kompresní. Vnitřní průměr válce se označuje jako vrtání.

V hlavě bývají umístěny dva sedlové ventily. Jeden ventil se nazývá sací (*intake valve*), a jeho úkolem je správně časovaná dodávka směsi paliva se vzduchem do motoru. Druhý ventil, výfukový (*exhaust valve*), má za úkol otvírat kanál pro odvod spalin. V zavřeném stavu dosedají talíře ventilů do sedla v hlavě motoru. Při otevření kanálu se ventil posune vpřed směrem do válce motoru, čímž se mezi talířem ventilu a sedlem vytvoří otvor ve tvaru mezikruží. Ventily, především výfukové, jsou tepelně velmi namáhané součásti, v nejexponovanějších místech jsou zahřívány až na 800°C. Z tohoto důvodu bývají vyrobené ze speciálních materiálů.





Obr. 10: Pracovní prostor motoru [14]

Dále bývá v každé hlavě motoru umístěna dvojice svíček, které zajišťují zapalování směs (na obr. jsou otvory k jejich našroubování nahoře a dole). U hlav válců některých motorů se dále setkáme se vstřikovacími tryskami a spouštěcími ventily.

Podobně jako ventily je zahřívána celá hlava válce. Na straně sání

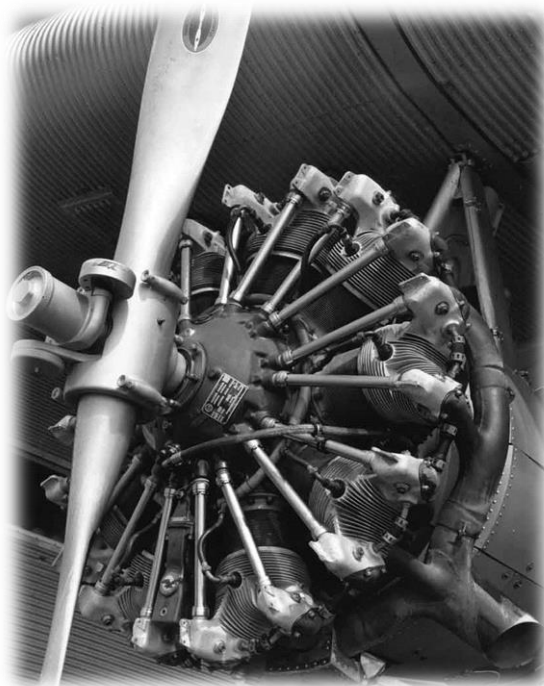
teplota dosahuje cca 270°C, na straně výfuku až 320°C. Pro zlepšení účinnosti chlazení, které je realizováno proudícím vzduchem okolo motoru, tvoří vnější stranu horní části válců a hlavy válců charakteristické žebrování. Jelikož je tepelné namáhání na straně výfuku vyšší, má na této straně žebrování větší plochu.

Předchozí text se věnoval jednomu válci motoru. Z důvodu vyššího výkonu a vyrovnanějšího chodu je však v opravdových motorech válců téměř vždy více. V případě kapalinou chlazených motorů bývá více válců vyrobených jako jedna kompaktní, nerozebíratelná součást- blok válců. V případě vzduchem chlazených, v letectví používaných motorů, je každý válec vyroben jako samostatná a nezávislá součást.



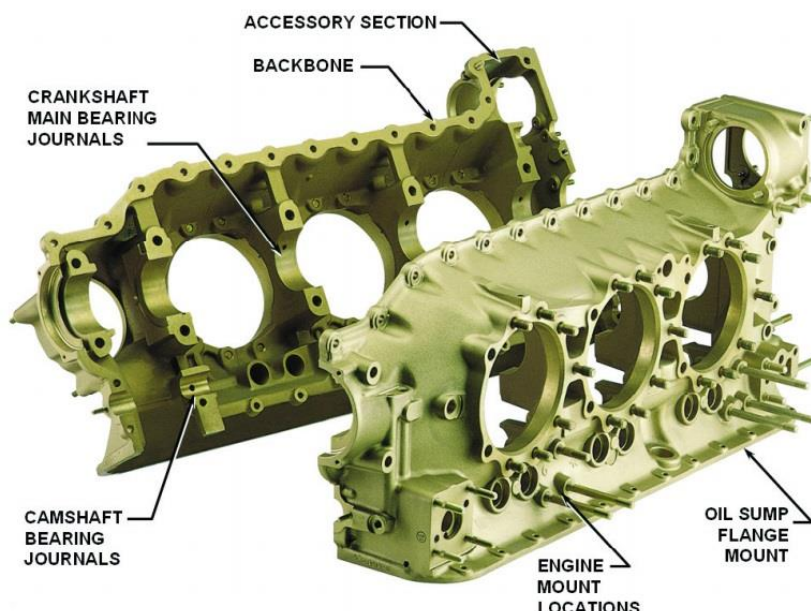
Obr. 11: Šestiválcový plochý motor [15]

Válce mohou být v motorech poskládány různým způsobem. Ze starších letadel známe hvězdicové uspořádání (*radial engine*) s charakteristicky viditelnými válci se společným středem. U modernějších letounů se používá především uspořádání ploché (*opposed piston engine*), kdy jsou válce proti sobě poskládané ve směru podélné osy letadla. Další možnost je uspořádání řadové (*straight engine*).



Obr. 12: Hvězdicový motor [16]

Součástí, na kterou jsou všechny válce přidělány, a která uzavírá celý prostor motoru, se nazývá kliková skříň (*crankcase*).

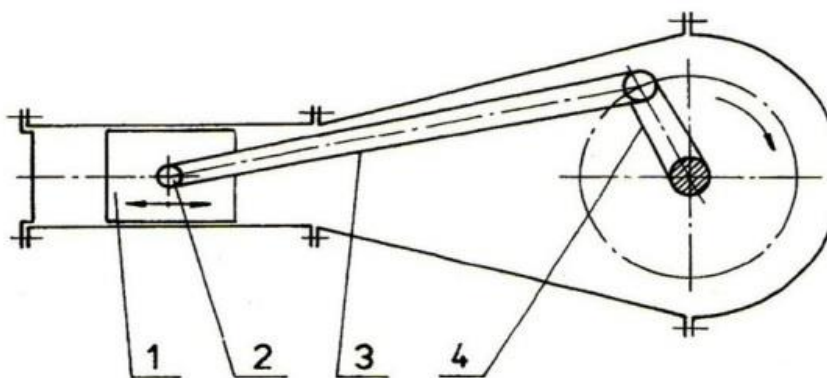


Obr. 13: Kliková skříň šestiválcového motoru [9]

### 1.3.2 Klikový mechanismus

Při běžícím motoru vykonává píst vratný pohyb ve směru podélné osy válce. Ten je nutné převést na pohyb rotační. K tomuto účelu slouží klikový mechanismus (*crank mechanism*).

Klikový mechanismus se skládá z pístu (1, piston), pístního čepu (2, gudgeon pin), ojnice (3, *connecting rod*) a klikové hřídele (4, *crankshaft*). Princip činnosti je patrný z obrázku 14. Pokud by na píst na našem obrázku působila síla směrem doprava, je tato síla přenášena ojnici na ojniční čep umístěný na klice klikového hřídele, která je oproti ose rotace vychýlena o určité rameno. Vzniká tak točivý moment, který hřídel roztočí ve směru hodinových ručiček.

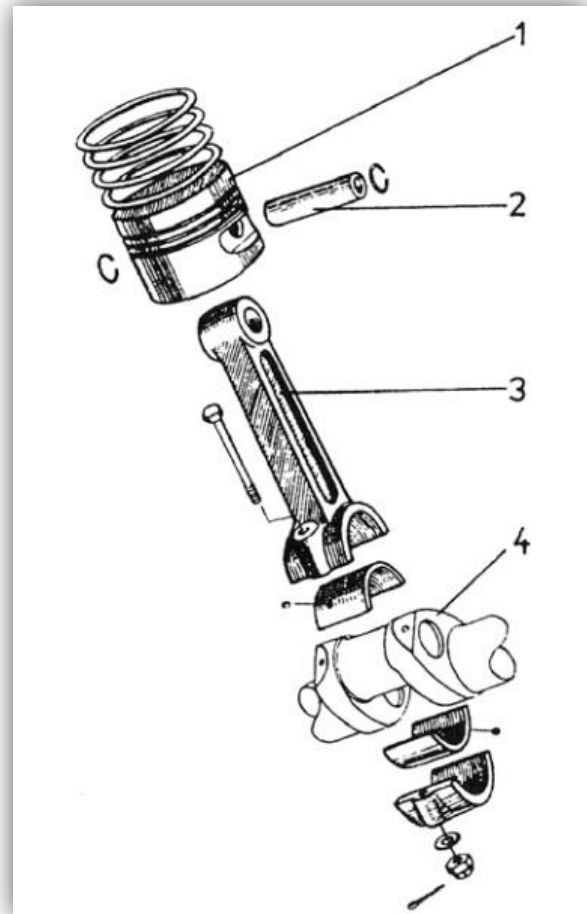


Obr. 14: Schéma klikového mechanismu [2]

Úplný píst se skládá z vlastního pístu, pístních kroužků, pístního čepu a jeho pojistek. Právě píst je první mechanická součást, na které se transformuje mechanická energie, což značí jeho velké mechanické a tepelné namáhání. Musí být proto tuhý, pevný, s dobrou schopností odvádět teplo. Zajímavostí je, že píst má mírně kuželovitý tvar, a to právě z důvodu tepelného namáhání. Horní, užší část je při činnosti motoru více zahřívána, proto u ní dojde k většímu tepelnému roztažení a průměry se tak vyrovnají. Z důvodu lepšího působení sil není horní plocha pístu rovná, ale uprostřed má prohlubeň. Další součástí pístu jsou tzv. pístní kroužky, které jsou „obmotány“ okolo pístu a pevně tak doléhají jak na něj, tak na vnitřní povrch válce. Slouží tak k co nejdokonalejšímu vzájemnému odizolování prostoru nad a pod pístem- je nutné zamezit pronikání palivové směsi a spalin do prostoru klikové hřídele, a naopak pronikání oleje do pracovního prostoru. Přes pístní čep je k pístu připojena další část klikového hřídele- ojnice.

Ojnice (3) tvoří spojnici mezi pístem (1) a klikovou hřídelí (4). Je tak střídavě namáhána na tah a tlak. Ojniční táhlo má proto tvar písmena H, což je výhodné z hlediska tuhosti. Z obrázku je patrné, že ojniční hlava je dělená a spojená šrouby- to z důvodu, aby bylo možné ojnici nasadit na klikový čep, který je součástí klikového hřídele.

Kliková hřídel dokončuje transformaci posuvného pohybu na rotační. Přenáší výkon k vrtuli, resp. k reduktoru na svém předním konci, a ke skříni pomocných pohonů na svém zadním konci. Skládá se z klik, na jejichž koncích jsou klikové čepy. V ose své rotace je kliková hřídel uchycena v hlavních čepích, které jsou obvykle umístěny na obou stranách každého zalomení.



Obr 15: Klikový mechanismus [2]

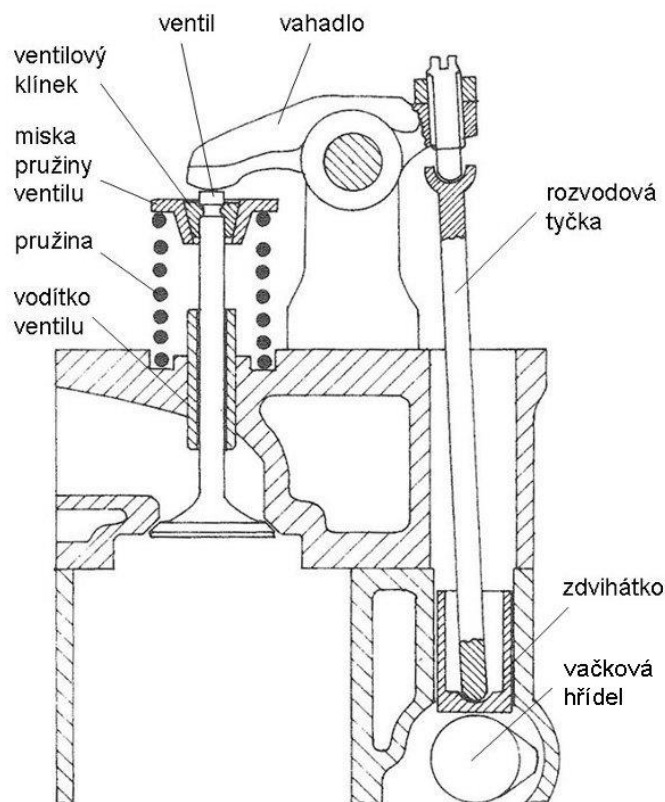
### 1.3.3 Rozvodový systém

Z předchozího textu víme, že v hlavě každého válce čtyřdobého motoru jsou dva ventily (sací a výfukový), které musí být pro správnou funkci motoru v přesný čas otevírány a zavírány. Nyní se budeme věnovat tzv. ventilovým rozvodovým mechanismům (*valvetrain*), které správně časované otevírání a zavírání ventilů u těchto motorů zajišťují.

Část výkonu klikové hřídele je zavedena do skříně pomocných náhonů, které se budeme věnovat později. V tomto prostoru jsou otáčky převodem sníženy na polovinu a přeneseny na jednu či dvě vačkové hřídele (*camshaft*).

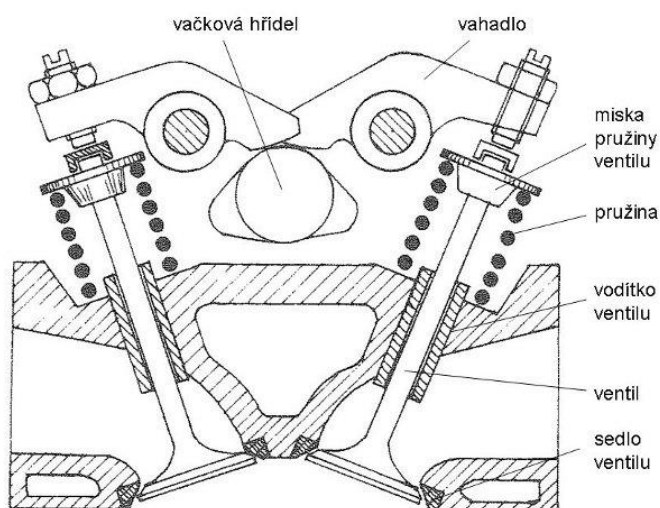
Podle polohy vačkových hřídelí lze ventilové rozvody rozdělit na dva nejčastější typy:

a) OHV (*Over Head Valve*). Toto provedení je realizováno pomocí dvou vačkových hřídelí, které se nachází pod úrovní ventilů, nejčastěji na úrovni klikové hřídele. Každá hřídel má jednu sadu vaček, přičemž každá vačka otevírá „svůj“ ventil jednoho válce. Počet vaček v jedné sadě tak odpovídá počtu válců motoru. Každá dvojice vaček patřící k jednomu válci je vůči sobě pootočená o necelých 180°, tak, aby bylo zachováno překrytí ventilů. Jedna hřídel svými vačkami otevírá sací ventily, druhá ventily výfukové. Vačka nazdvihne zdvihátko, jehož pohyb je pomocí rozvodové tyčky a vahadel obrácen a přenesen na ventily, které jsou stlačeny dolů, čímž dojde k jejich otevření. Poté, co se vahadlo odchýlí, zajistí opětovné zavření ventilu vinutá válcová pružina. Přenos otáček z klikové na vačkové hřídele bývá nejčastěji proveden pomocí čelních ozubených kol.



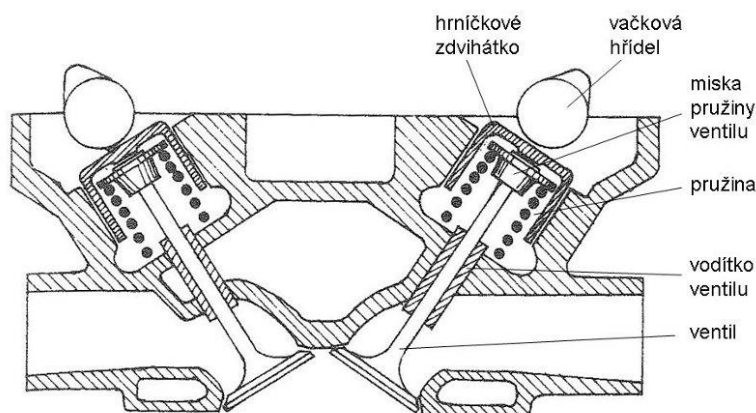
Obr. 16: Ventilový rozvod OHV [17]

b) OHC (*Over Head Camshaft*).  
 Základní princip je shodný s předchozím typem. Rozdíl je však v tom, že je zde použita jedna vačková hřídel se dvěma sadami vaček, která se nachází v hlavě válců. Vačky otevírají ventily buď přímo, nebo pomocí vahadel. O zavírání ventilů se opět starají pružiny. Pohon vačkové hřídele je nejčastěji proveden ozubeným řemenem, u kterého nemůže dojít k prokluzu.



Obr. 17: Ventilový rozvod OHC [17]

Jako jinou verzi tohoto rozvodu lze uvést rozvod DOHC (*double OHC*), který má na rozdíl od rozvodu OHC dvě vačkové hřídele- jednu pro otevírání sacích ventilů, druhou pro ventily výfukové.



Obr. 18: Ventilový rozvod DOHC [17]

Je patrné, že rozvody OHC, resp. DOHC jsou jednodušší s menším počtem součástek, což zajišťuje vyšší tuhost, nižší hmotnost a setrvačnost rychle se pohybujících součástek. Z těchto důvodů jsou rozvody typu OHC a DOHC používány u moderních motorů.

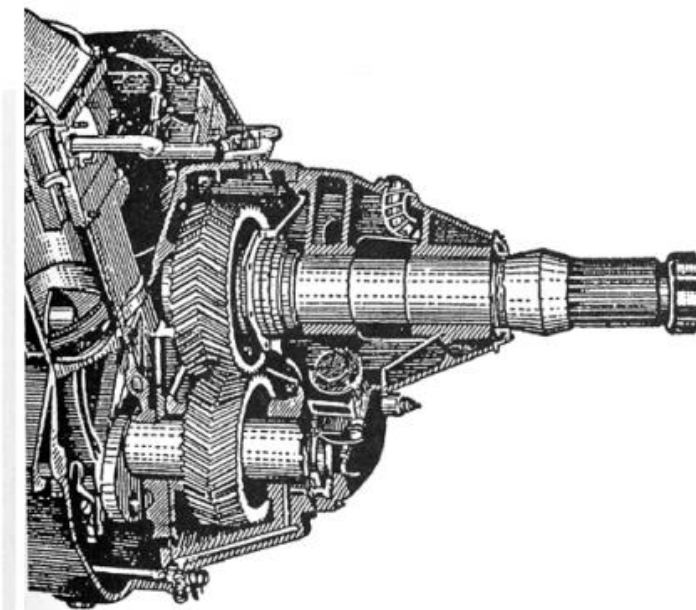
U dvoudobých motorů se nejčastěji využívají rozvody kanálové, kdy samotný píst při svém pohybu otevírá sací a výfukové kanály.



### 1.3.4 Reduktory

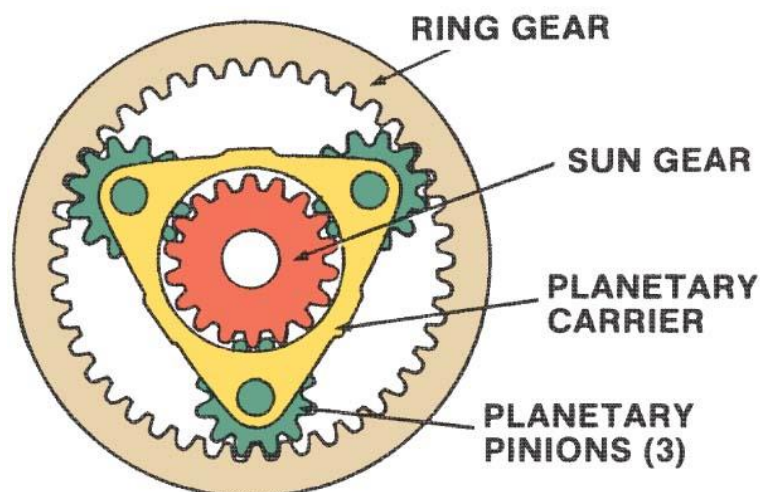
Jako reduktor (*reduction gear*) se označuje převodovka, která bývá umístěna mezi klikovou hřídelí a vrtulí. Jeho účelem je snížení (redukce) otáček vrtule oproti otáčkám klikové hřídele. Při příliš vysokých otáčkách by totiž vrtule byla neúčinná. Reduktory mohou být provedeny s převodem řemenovým, nebo častěji s ozubenými koly. Ty je dále dělí na sousé a nesousé.

Nesousé reduktory jsou nejjednodušší a využívají dvojice čelních ozubených kol, dnes často s šípovitým ozubením, které je výhodné ze silových hledisek a zajišťuje tichý chod. Pro snížení otáček musí mít hnané kolo větší počet zubů, než kolo hnací (převodový poměr  $i < 1$ ). Osa hřídele vrtule tedy není stejná s osou klikové hřídele, čehož se někdy využívá pro zvětšení výšky hřídele vrtule, díky čemuž je možné použít vrtuli o větším průměru.



Obr. 19: Nesousý reduktor s čelními ozubenými koly [2]

Souosé reduktory jsou realizovány pomocí planetové převodovky (*planetary gearbox*). Její součástí je ozubené kolo, pastorek (*sun gear*), který je poháněn od klikové hřídele. S pastorkem tvoří převod několik dalších čelních ozubených kol, satelitů (*planetary pinions*). Ta jsou propojena jakousi deskou, unášecem satelitů (*planetary carrier*). Na své druhé, vnější straně se satelity odvalují po velkém kole s vnitřním ozubením, které se nazývá korunové (*ring gear*), a v leteckých reduktorech bývá nepohyblivé, zabrzděné. Vrtulová hřídel je napojena na střed unášeče satelitů, který se oproti pastorku otáčí pomaleji, ale ve stejné ose.



Obr. 20: Planetová převodovka [24]

Řemenové (*belt*) reduktory se používají u některých ultralehkých letadel. Využívají buď klínový řemen se silovým stykem, což znamená pružný přenos síly, tlumení kmitů, tichý chod, ale také sníženou přesnost a zvýšené namáhání součástí. Jiné řemenové reduktory používají ozubený řemen, u kterého tvarový styk nedovoluje prokluzování.

Všechny druhy reduktorů je třeba účinně chladit, neboť vzhledem k velkým přenášeným výkonům znamená i malá neúčinnost značné zahřívání. K chlazení se využívá olej z mazací soustavy.



Obr. 21: Řemenový reduktor [12]

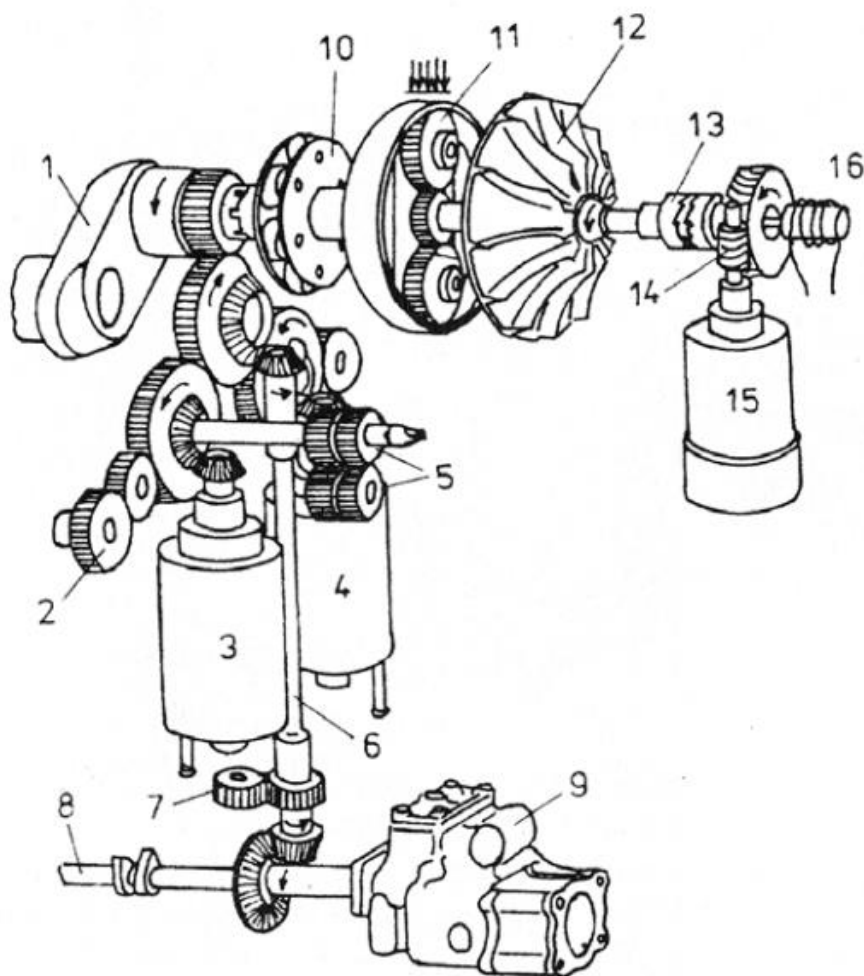


### 1.3.5 Motorové soustavy

V našem textu jsme se dosud věnovali především vlastnímu motoru, kde dochází k tepelným cyklům a transformacím energie. Motor však pro svou funkci potřebuje několik dalších systémů (soustav), kterým se budeme věnovat nyní.

Motorové soustavy obsahují mnoho rotujících částí, jako jsou rotory různých čerpadel (5, 7, 9), elektrických generátorů (2), magnet (3, 4) kompresorů (12) či vačkové hřídele (8) ventilových rozvodů. Točivý moment nutný pro pohon těchto zařízení se odebírá z klikové hřídele (1). Jeden její konec pohání vrtuli, druhý konec je zaveden do tzv. skříně pomocných náhonů. Skříň pomocných náhonů je uzavřený prostor, ve kterém je pomocí převodů točivý moment z klikové hřídele distribuován k jednotlivým spotřebičům. Pro každý agregát se otáčky klikového hřídele musí upravit na jinou hodnotu, proto je potřeba mnoho převodů s různými převodovými poměry.

Toto uspořádání má mnoho výhod, mezi které patří například nezávislost na přísunu elektrické energie. Lze s nadsázkou říci, že běžící motor pohání sám sebe.

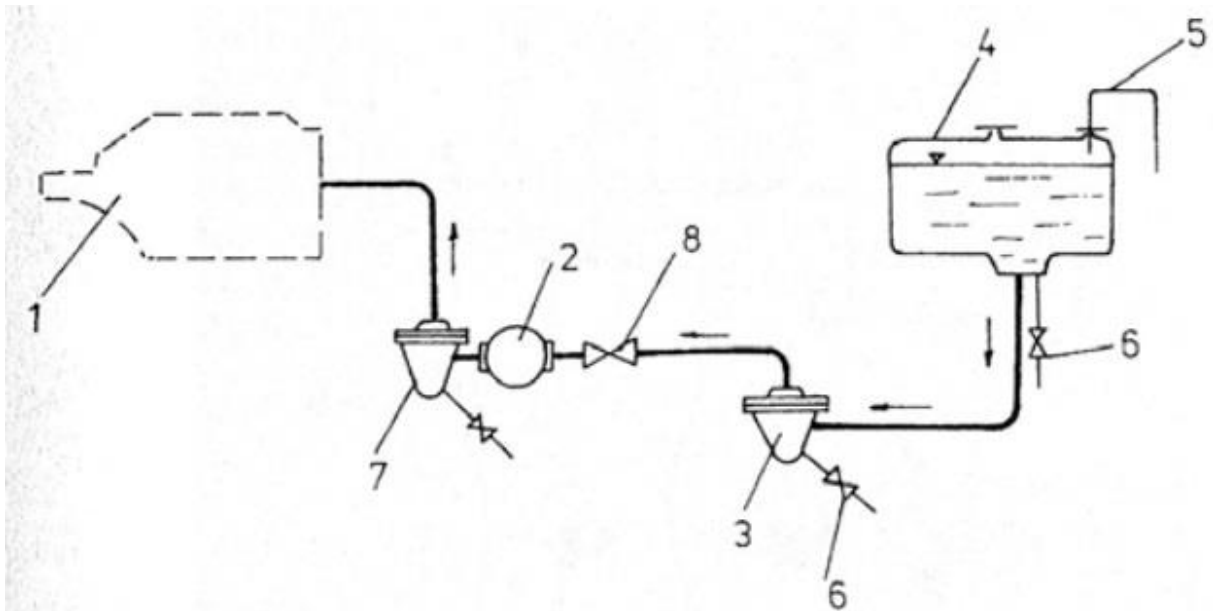


Obr. 22: Převody uvnitř skříně pomocných náhonů [2]

### 1.3.5.1 Palivová soustava

Palivová soustava (*fuel system*) slouží k uskladnění a spolehlivé dodávce paliva do motorů.

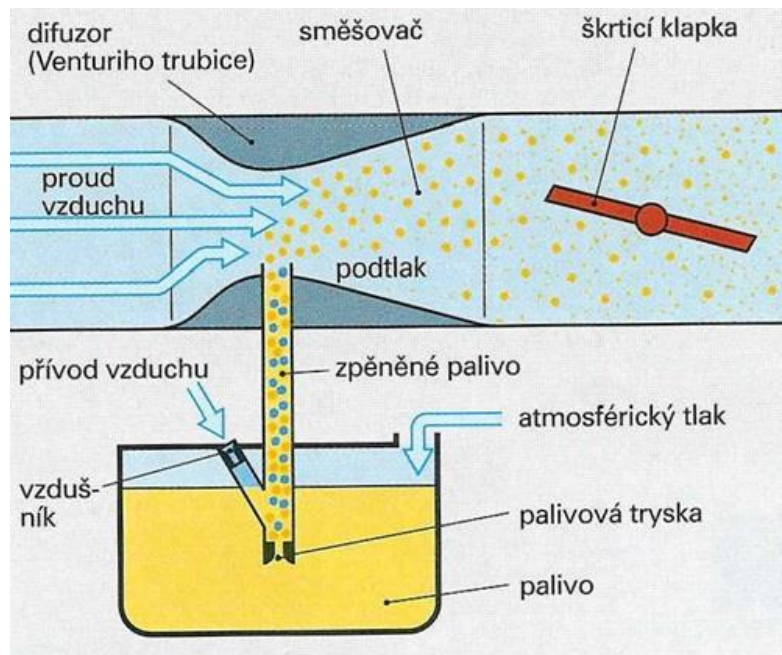
Její první částí je odvzdušněná (5) palivová nádrž (4), která je součástí tzv. vnější palivové soustavy umístěné mimo motor v draku letadla. Účelem vnější palivové soustavy je dopravení paliva z nádrže do motoru, resp. do vnitřní palivové soustavy. Palivo je dopravováno trubkami, popřípadě hadicemi, a to buď samospádem, nebo častěji pomocí tzv. dopravních čerpadel (2). Ta bývají většinou odstředivá a bývají poháněna přímo od klikové hřídele motoru. U velkých letadel, kde je nutné palivo dopravit na větší vzdálenost, se kromě dopravních čerpadel používají ještě čerpadla pomocná, která bývají umístěna hned za nádrží a jsou poháněna elektromotory. Dále bývá vnější palivová soustava doplněna různými ventily (8), měřicími zařízeními a filtry (7).



Obr. 23: Vnější palivová soustava [2]

Do pracovního prostoru zážehového motoru přichází směs paliva se vzduchem. Zařízení, které směšování zajišťuje, je hlavní součástí vnitřní palivové soustavy, která následuje za soustavou vnější, a bývá dvojího druhu- karburátorová a se vstřikovacími čerpadly.

Karburátory jsou mechanická zařízení, která je podle konstrukce možné rozdělit na různé druhy. V našem textu se budeme věnovat v letectví nejpoužívanějším karburátorům plovákovým (*float carburetor*). Tak, jako všechny typy, i tento pro svoji činnost využívá Bernoulliho princip, tudíž fakt, že tlak proudící tekutiny s rychlostí klesá. Pokud se tedy

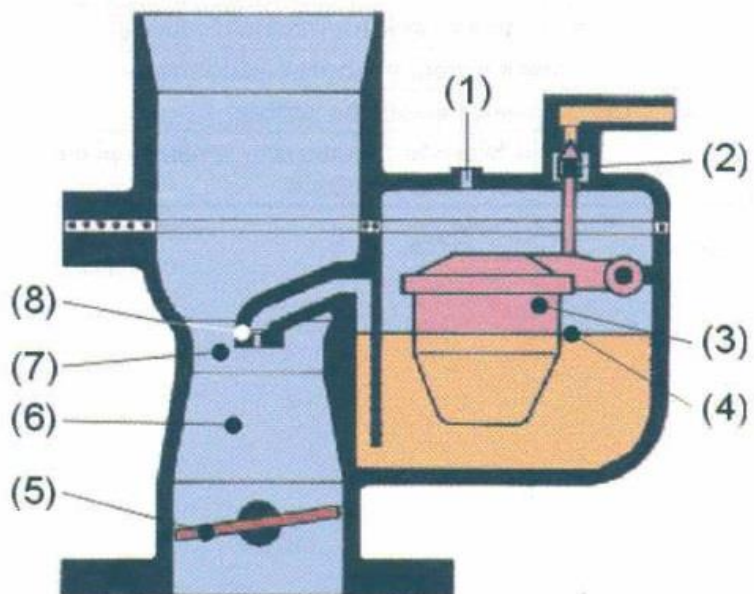


Obr. 24: Princip karburátoru [6]

nějakým prostorem pohybuje vzduch, a k tomuto prostoru

je připojena trubička s kapalinou, proudící vzduch se sám postará o „nasátí“ kapaliny z trubičky, v našem případě paliva. Na stejném principu fungují běžné domácí rozprašovače.

V případě plovákového karburátoru přichází palivo z nádrží přes jehlový ventil (2) do odvzdušněné (1) plovákové komory. Jehlový ventil je mechanicky propojen s plovákem (3), který podle výšky hladiny paliva (4) v komoře stoupá nebo klesá, čímž se ventil přivírá či otevírá. Tímto způsobem je udržována konstantní výška hladiny. Z komory pokračuje palivo hlavní tryskou (8), která ústí do zúžené části průtočného vzduchového kanálu zvanou difuzor (7), kde v souladu s Bernoulliho rovnicí dochází k poklesu tlaku. Podtlakový vzduch si tak sám nasává množství paliva podle své rychlosti.



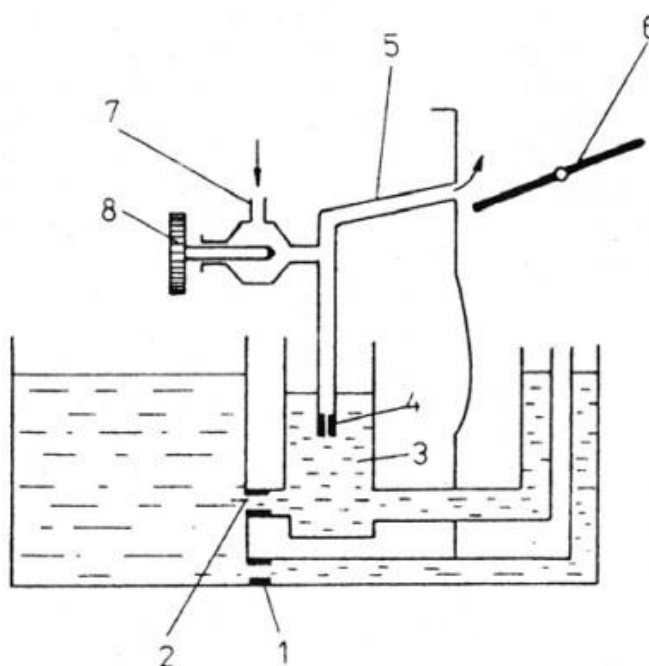
Obr. 25: Elementární plovákový karburátor [6]

Za difuzorem se nachází směšovací komora (6), ve které dochází k promíchání paliva a vzduchu. Rychlost a množství průtočného vzduchu je ovládáno tzv. škrtkicí klapkou (5), která bývá přímo mechanicky spojena s ovladačem v pilotní kabině. Je tedy patrné, že směšovací poměr (poměr hmotnosti paliva a vzduchu v jednotce objemu) je v případě zážehových motorů, na rozdíl od motorů vznětových, konstantní. Jelikož spolu s poklesem tlaku dochází také k poklesu teploty, je difuzor z celého motoru nejnáchylnější na vznik námrazy, a to zejména při nízkém výkonu.

Uvedený popis se týká tzv. elementárního plovákového karburátoru, který je nejjednodušší, avšak pro reálné motory nepoužitelný. Opravdové karburátory musí být doplněny o další zařízení.

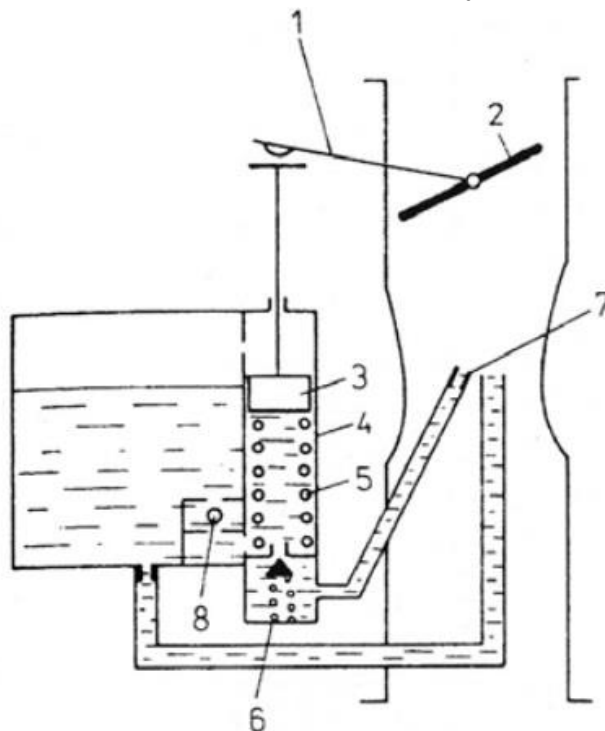
Karburátorové palivové soustavy bývají doplněny o zařízení jménem sytič, který zajišťuje bohatší směs při startování. Po zahřátí motoru se automaticky, nebo manuálně vyřadí z provozu.

Elementární karburátor by dále například nefungoval při volnoběžném režimu, kdy je škrtkicí klapka téměř či úplně uzavřena. Podtlak vzniklý v difuzoru by totiž nestačil na nasátí paliva a motor by zhasl. Karburátor je tedy vybaven dalším kanálkem (5) s tryskou (4), do kterého je palivo odebíráno obvykle ze samostatné nádrčky (3), která je propojena s plovákovou nádrží. Kanálek ústí rovněž do průtočného vzduchového kanálu, ale až do místa za škrtkicí klapkou (6), kde je podtlak dostatečný a dojde k nasátí paliva. Při přechodu na vyšší otáčky hladina paliva v nádržce klesne, čímž se tento tzv. volnoběžný systém sám vyřadí z provozu do té doby, dokud otáčky opět neklesnou na volnoběžné.



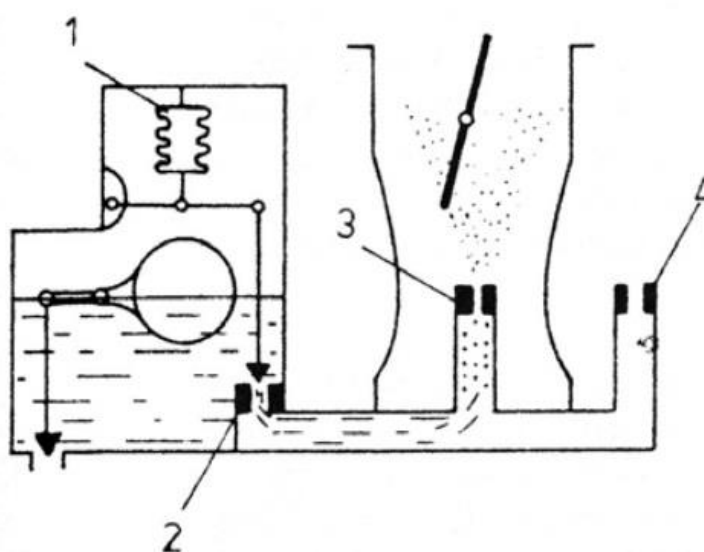
Obr. 26: Schéma volnoběžného systému [2]

Další problém by nastával při prudkém zvýšení výkonu, resp. při rychlém otevření škrtící klapky. K nárůstu množství proudícího vzduchu by totiž došlo okamžitě, kdežto odpovídající množství paliva by bylo dodáváno až po určitém čase. Na chvíli by tak došlo k ochuzení směsi. Tomuto jevu se bráníme použitím tzv. akcelerační pumpičky. Ta má podobu malého, palivem naplněného válce (4), ve kterém je pístek (3), přičemž mezi válcem a pístkem je jistá vůle. Pohyb pístku je vázán na páku výkonu (1) v pilotní kabině. Pokud dojde k pomalému pohybu páky výkonu a tím pístku, palivo proteče mezerou mezi válcem a pístkem. Pokud však dojde k rychlému pohybu, palivo mezerou protéct nestihne a je vytlačeno do trysky akceleračního zařízení (7) a následně do difuzoru. K ochuzení směsi tak nedojde.



Obr. 27: Schéma akcelerační pumpičky [2]

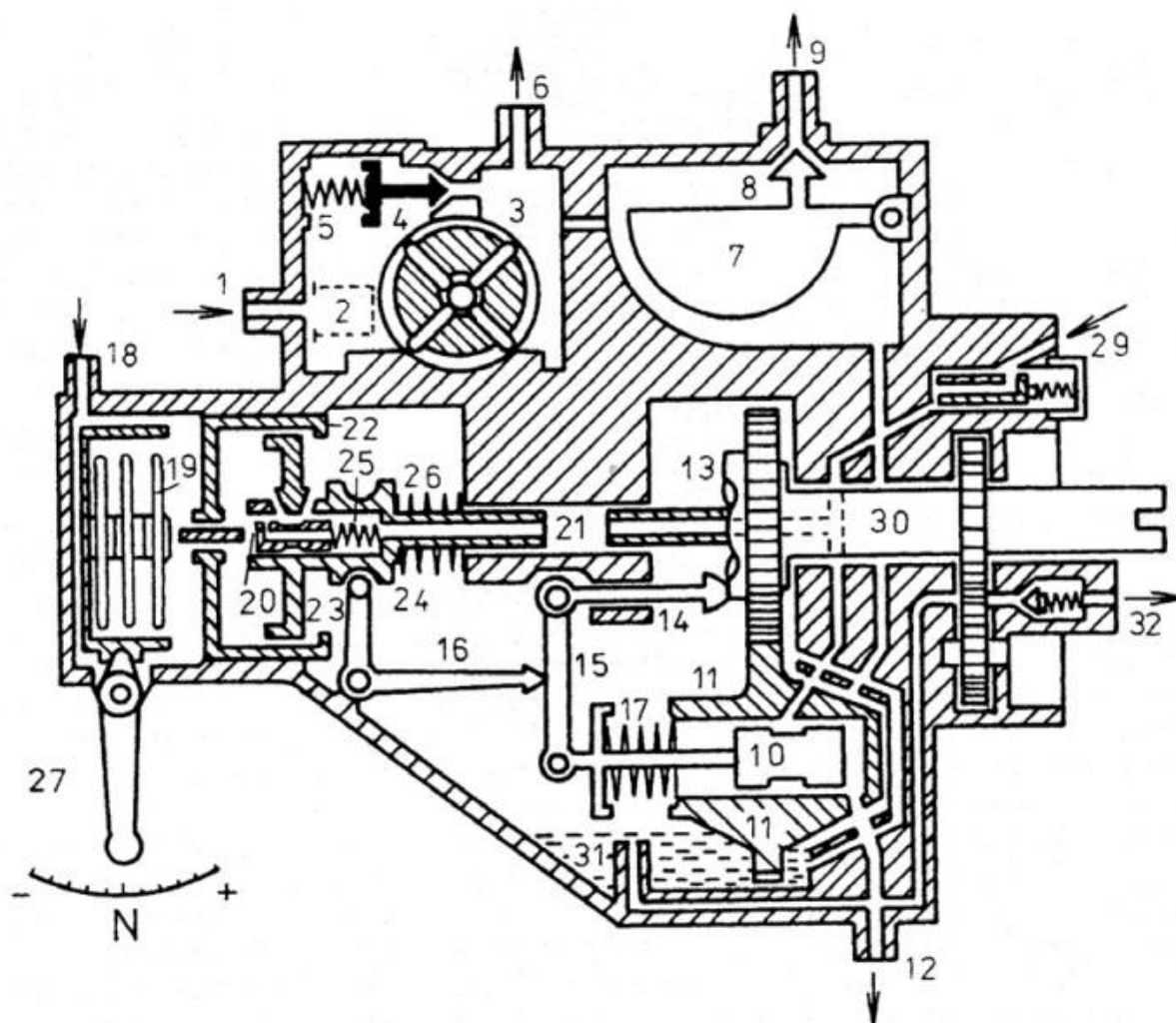
Mezi další důležité systémy patří automatický výškový regulátor. Jak známo, s rostoucí výškou klesá atmosférický tlak a tím i hustota vzduchu. Z toho plyne, že ve větších výškách by směs byla příliš bohatá. Výškový regulátor je konstrukčně jednoduchý: obsahuje tlakoměrnou krabici (1), na kterou je připojeno táhlo, na jehož konci je jehlový ventil (2) omezující vstup paliva do hlavní trysky (3). Jak s výškou klesá tlak (vstupující otvorem 4), tlakoměrná krabice se deformuje a jehlový ventil přivírá trubici s palivem, čímž dojde ke snížení, resp. udržení konstantní bohatosti směsi.



Obr. 28: Schéma automatického výškového regulátoru [2]

Modernější motory využívají místo karburátorů systém vstřikování paliva (*fuel injection*). Jeho základem jsou vstřikovací čerpadla, která je možné různě rozdělit. V textu si popíšeme příklad vstřikovacího čerpadla nízkotlakého nepřímého, které vstřikuje palivo do prostoru před sací ventil. Ještě před vstupem do válce tak dojde k promíchání paliva se vzduchem a vzniku směsi.

Nízkotlaká vstřikovací soustava se skládá z dopravního čerpadla, které přes čistič a odvzdušňovací zařízení žene palivo do vstřikovacího zařízení, jehož součástmi jsou také pohon a regulace. Všechny uvedené části bývají složeny do jednoho celku, který tak představuje poměrně složité mechanické zařízení.

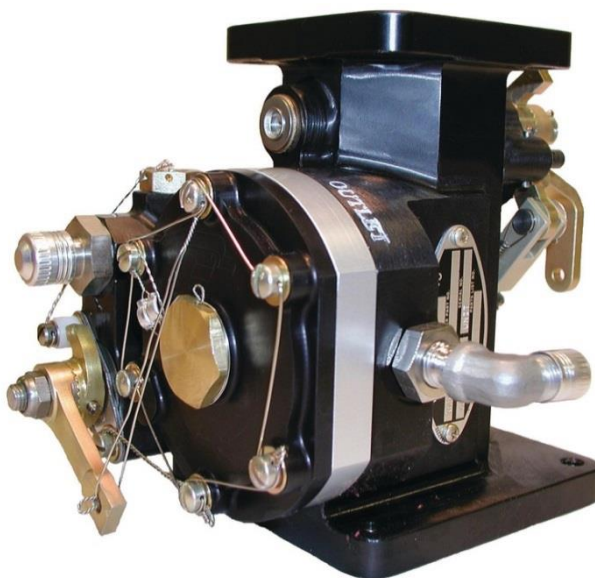


Obr. 29: Příklad konstrukce vstřikovacího čerpadla [2]

Vlastní vstřikovací čerpadlo bývá pístové. Aby byla zajištěna konstantní bohatost směsi, musí být měněno množství vstřikovaného paliva spolu s tlakem vzduchu v sacím potrubí. Množství paliva se mění podle zdvihu pístku čerpadla. Pístek (10) je připojen na pákový mechanismus, který je zakončen u rotujícího disku s axiálními vačkami (13). Disk je

součástí jedné z hřídelí ze skříně pomocných náhonů. Při rotaci způsobí každá vačka vychýlení pákového mechanismu, zdvih pístku a tím vstříknutí paliva. Páka se opírá o regulační raménko (16), jehož poloha se mění v závislosti na tlaku vzduchu v sacím potrubí (18). Právě tímto způsobem, změnou polohy osy otáčení páky, a tím změnou zdvihu pístku v čerpadle, se mění množství vstříkovaného paliva. Mechanismus regulačního raménka je na druhé straně zakončen a veden v objímce (24), jejíž poloha se mění podle deformace barometrické krabice (19), která se mění podle tlaku v sacím potrubí.

Tlak vzduchu v sacím potrubí tedy způsobí deformaci tlakoměrné krabice, jejíž deformace je mechanismem převedena na novou polohu regulačního raménka pákového mechanismu, což změní zdvih pístku v čerpadle, čímž je upraveno množství vstříkovaného paliva.



**Obr 30: Vstřikovací jednotka RSA [18]**

Ve srovnání s karburátory přinášejí vstřikovací čerpadla zejména rovnoměrnější rozdělení a přesnější odměření paliva, menší měrnou spotřebu paliva, snížené nebezpečí požáru či eliminaci problému se zamrzáním. Zařízení je naproti tomu hmotnější, komplikovanější a dražší.

Nyní, když je směs paliva a vzduchu připravena, vstupuje přes sací ventil do pracovního prostoru motoru, kde dojde k přeměně energie obsažené v palivu na energii kinetickou tak, jak je to popsáno na začátku této kapitoly.

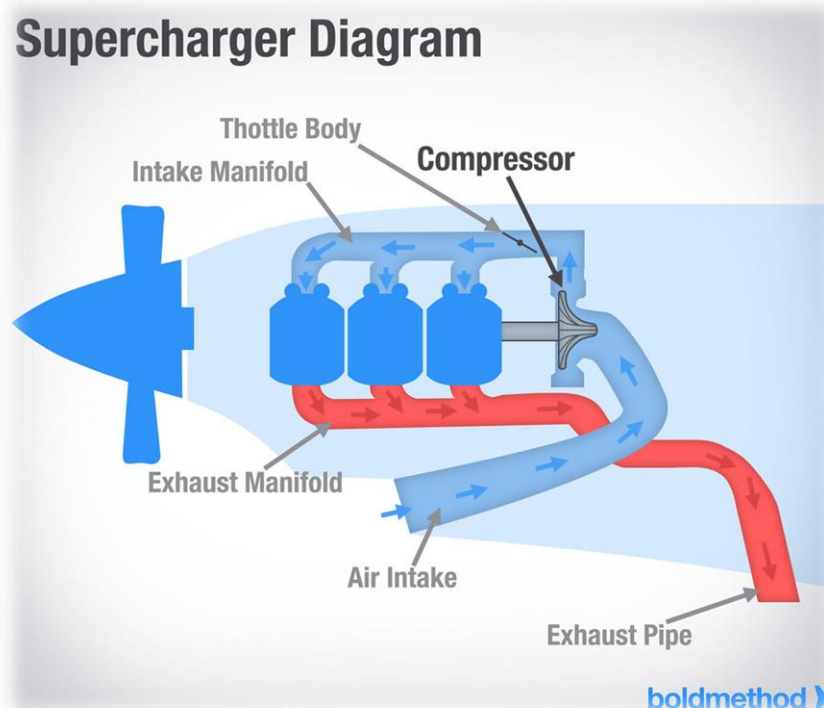


### 1.3.5.2 Soustava přeplňování

V podkapitole o fyzikální podstatě činnosti pístových motorů bylo uvedeno, že výkon motoru je úměrný hmotnosti směsi v pracovním prostoru při jednom cyklu. Pro zvýšení výkonu, či pro jeho udržení s rostoucí výškou (a tím klesající hustotou vzduchu) je tedy vhodné hmotnost směsi zvětšit, čehož se dosahuje tím, že je směs do motoru tlačena jistým tlakem „z venku“. Soustava přeplňování je soubor zařízení, které tlakové plnění zajišťují.

Základem soustavy je kompresor. Pro svou jednoduchost a vysoké stlačení se využívá kompresor radiální, který se skládá s rotujícího lopatkového kola, které se nachází v pevné skříni. Ke kompresoru se potrubím přivádí vzduch, který je lopatkovým kolem urychlen v radiálním (odstředivém) směru. Urychlený plyn o nízkém tlaku a vysoké kinetické energii vstupuje do difuzoru, což je postupně se rozšiřující prostor, ve kterém podle Bernoulliho principu dochází k jeho zpomalení, a tím transformaci kinetické energie na energii tlakovou. Došlo tak ke stlačení. Opačně pracující zařízení, které tlakovou energii plynu transformuje na energii kinetickou, se nazývá turbína.

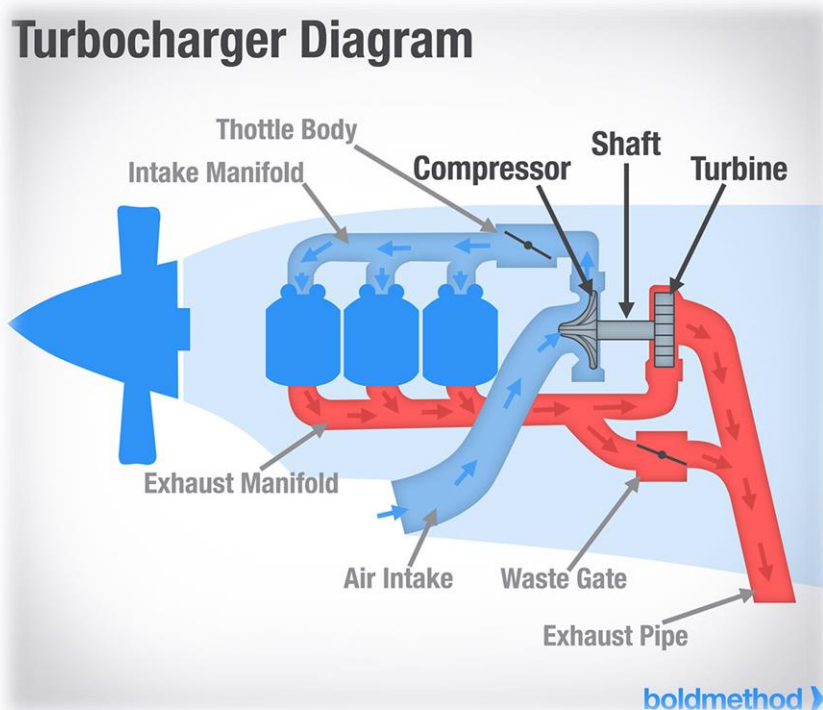
Pohon kompresoru bývá řešen dvěma způsoby. Za prvé bývá poháněn hřídelí ze skříňe pomocných náhonů, jeho otáčky jsou vyšší, avšak přímo závislé na otáčkách klikové hřídele (mechanicky poháněný kompresor, *supercharger*). Kompresor v tomto uspořádání bývá umístěn za karburátorem (palivovými tryskami) a stlačuje tak již připravenou směs.



Obr. 31: Mechanicky poháněný kompresor [19]



Druhou možností je pohon kompresoru turbínou, která je s ním umístěna na společné hřídeli (turbodmychadlo, *turbocharger*). Turbína bývá rovněž radiální a je poháněna výfukovými plyny z motoru. Za výfukovými ventily se všechna výfuková potrubí spojí, a následně opět rozdělí na dvě větve. Jedna větev je vedena k turbíně, druhá, obtoková větev s uzavíratelnou klapkou je vedena mimo turbínu. Za turbínou se větve opět spojí a spaliny opouštějí letadlo. Podle aktuálního letového režimu se klapka v obtokovém potrubí otevírá či přivírá, čímž je nepřímo ovládáno množství a tlak plynů roztáčejících turbínu. Spolu s otáčkami turbíny se mění otáčky a tím stlačení kompresoru. Kompresor se v tomto uspořádání nachází před karburátorem (palivovými tryskami) a stlačuje tedy vzduch.



Obr. 32: Turbodmychadlo [19]

To, jaký typ pohonu kompresoru je výhodnější, záleží především na tom, co od motoru očekáváme. Uspořádání s mechanicky poháněným kompresorem zajišťuje obecně lepší udržení výkonu s výškou. Motor s turbodmychadlem bude výhodnější při požadavku na zvýšení výkonu na zemi a v malých výškách.

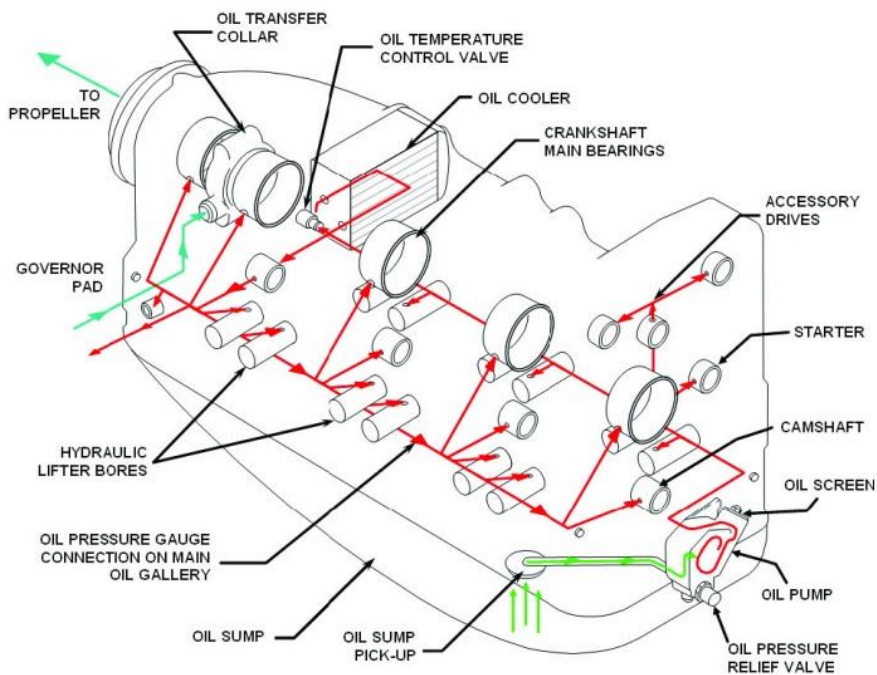
### 1.3.5.3 Mazací soustava

Mazací soustava (*lubrication system*) se stará o uskladnění, čištění, odvod a dopravu oleje do potřebných míst. Kromě mazání zajišťuje olej také odvod části tepla z motoru, popřípadě má i jiné funkce.

Podle konstrukce olejové nádrže, což je jedna z hlavních součástí, se mazací soustavy dělí na dva druhy. Pokud nádrž tvoří jeden celek s klikovou skříní motoru, jedná se o tzv. soustavu s mokrou klikovou skříní (*wet sump*). Pokud je nádrž vyrobena jako samostatná součást, mluvíme o soustavě se suchou klikovou skříní (*dry sump*).

V případě obou konstrukcí je olej z nádrže nasáván do potrubí tlakovým čerpadlem, které bývá obvykle zubové. Na výtlaku z tlakového čerpadla je umístěn měřič tlaku oleje. Olej dále projde přes čistič a vstupuje do prostoru ložisek klikové hřídele. Následně je rozprašován na další důležité součásti, jako jsou rozvody, vačkové hřídele, vačky a převody pomocných náhonů. V případě soustavy se suchou skříní olejové kapičky následně stečou na dno klikové hřídele, odkud je olej odsávacími čerpadly přes chladič hnán do nádrže, aby se celý cyklus mohl opakovat. Z důvodu zpěnění použitého oleje je odsávacích čerpadel obvykle více a provedením jsou opět zubová.

U soustavy s mokrou klikovou skříní kapičky také stékají na dno klikové hřídele, která zde slouží jako nádrž, takže se odtud olej rovnou vydává na další cyklus. Někde „na cestě“ je potřeba olej, stejně jako v soustavách se suchou skříní, zchladit. Přesné umístění chladiče se liší dle konkrétního motoru.

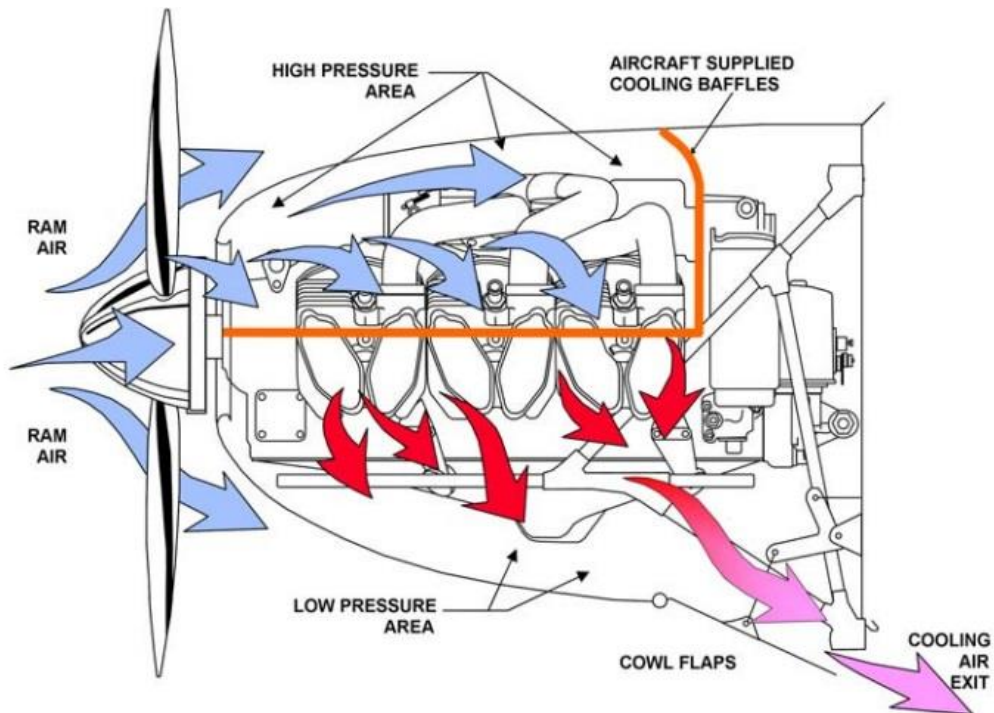


Obr. 33: Rozvody oleje v motoru [9]

#### 1.3.5.4 Chladicí soustava

Jak bylo uvedeno v minulých podkapitolách, v motoru probíhají termodynamické změny, které jsou doprovázeny vznikem velmi vysokých teplot, které se přenášejí na celou pohonnou jednotku. Teplo je z části odváděno mazacím olejem, z větší části však prostřednictvím chladicí soustavy (*cooling system*), jejíž účelem je udržování optimální teploty všech částí pracujícího motoru. Teplota motoru nesmí být příliš vysoká, neboť by docházelo ke snížení pevnosti jeho částí, zadírání, samozápalům směsi, atd. Příliš nízká teplota motoru je však také nežádoucí, neboť by došlo ke zhoršení mazání a podstatnému snížení účinnosti motoru.

U leteckých pístových motorů se nejčastěji používá chlazení okolo proudícím vzduchem (*ram air*), který je systémem uzavíratelných kanálů veden do kapotáže, kde je pomocí usměrňovacích plechů přiveden k hlavám válců motoru, od kterých odebírá teplo. Vzduch se dále použije pro chlazení pomocných agregátů a jiných zařízení, a následně kapotáž opouští. Pro větší přestup tepla do vzduchu je výhodné zvětšit plochu hlav válců, což se řeší jejich charakteristickým žebrováním. Množství chladicího vzduchu je ovládáno klapkami na výstupu, popřípadě clonami na vstupu. Tato zařízení bývají ovládána servomotory či mechanicky, a to automaticky nebo ručně pilotem v závislosti na teplotě nejteplejších částí motoru, což bývá okolí svíček. Chladicí systémy vrtulníků či jiných letadel, u kterých není jisté, že bude vždy dosažena potřebná rychlost pro náporové obtékání, jsou vybaveny ventilátory, které i při nulové rychlosti zajišťují obtékání motoru.

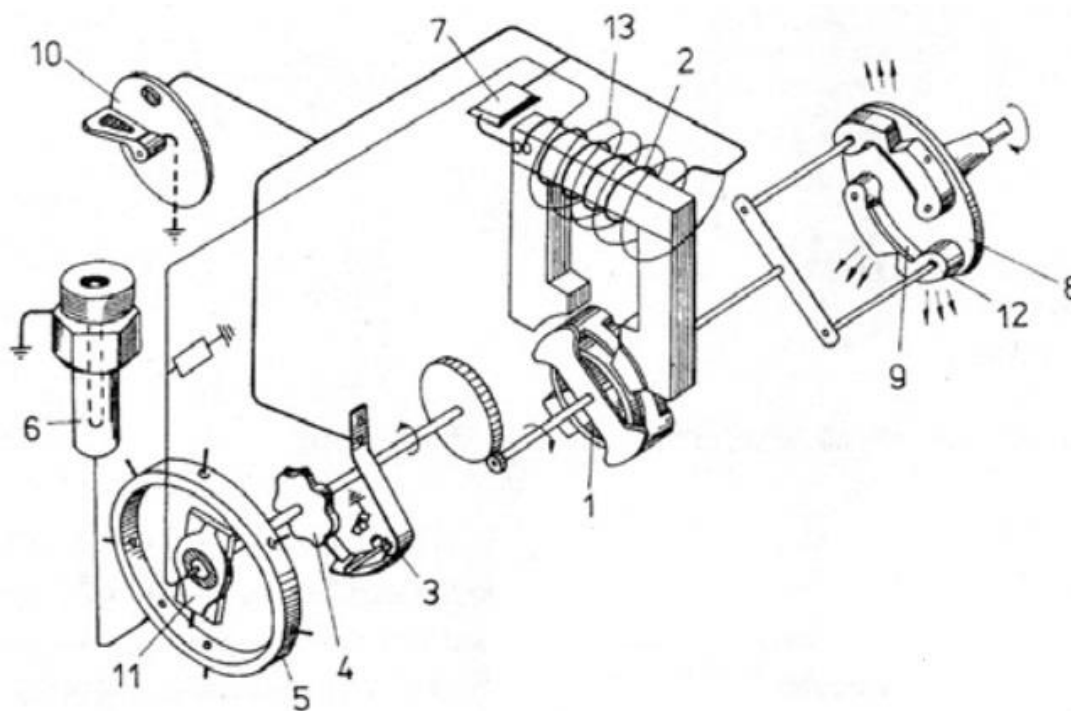


Obr. 34: Vzduchové chlazení motoru [9]

### 1.3.5.5 Zapalovací soustava

U zážehových motorů dochází k zapálení směsi v pracovním prostoru pomocí tzv. svíčky (*spark plug*), ve které dojde k elektrickému výboji. Zapalovací soustava (*ignition system*) je soubor zařízení, které správné zažehnutí směsi zajišťují.

Potřebné střídavé elektrické napětí se získává v tzv. magnetech. Základ magneta tvoří elektrický generátor (1) s jakýmsi malým transformátorem. Další součástí je přerušovač (3), který ve správný čas zajišťuje přerušování proudu v obvodu s primární cívkou, a vypínač (10), který primární obvod uzemňuje. Na primárním transformátorovém vinutí (2), které je zároveň vinutím generátoru a má řádově stovky závitů, se otáčením permanentního magnetu indukují elektrický proud o nízkém napětí. Při náhlém přerušování proudu přerušovačem se na sekundárním vinutí (13), které má až desetitisíce závitů, indukují pulz velmi vysokého napětí. Efekt zesílení napětí bývá často zvýšen přidáním kondenzátoru (7), čímž lze dosáhnout napětí až 20 000 V.



Obr. 35: Magneto [2]

Přerušovač má podobu disku s radiálními vačkami, který je umístěn na společné hřídeli s tzv. raménkem rozdělovače (11). Hřídel je poháněna ze skříně pomocných náhonů a její otáčky jsou tak úměrné otáčkám celého motoru. Otáčející se vačky na disku spínají a rozepínají kontakty primárního obvodu transformátoru, čímž jsou zajištěny výboje ve správných okamžicích.

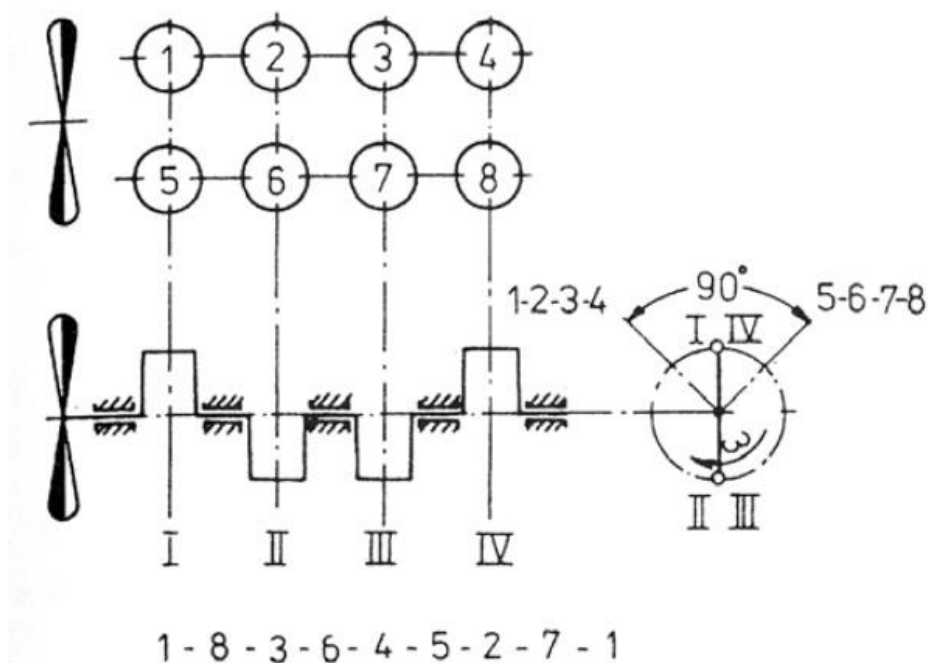
Jednotlivé výboje je u víceválcových motorů nutné „poslat“ vždy ke správnému válci. Tuto funkci zajišťuje zařízení jménem rozdělovač (5), který má podobu krátkého dutého válce (trubky) s elektrickými vývody pro jednotlivé válce, resp. svíčky (6). Ve vlastním rozdělovači se nachází raménko rozdělovače, které svou rotací postupně spíná jednotlivé vývody. Při jedné otáčce jsou tak postupně „prostřídány“ svíčky všech válců motoru.

Další součástí magneta bývá regulátor předstihu, který mění předstih zapalování směsi v závislosti na otáčkách tak, aby byl vždy optimální. Regulátor pracuje na základě odstředivé síly, která vzniká při rotaci a posouvá tak závažíčka (12), čímž dochází k přestavování osy magneta vůči desce (8). Čím jsou otáčky a odstředivá síla vyšší, tím dojde k většímu pootočení a zvětšení předstihu.

Velmi vysoké napětí ze sekundárního vinutí je kabely odvedeno do svíček, kde způsobí elektrický výboj mezi jejich střední a vnější elektrodou. Svíčky jsou do hlavy válce upevněny pomocí normalizovaných závitů, což zajišťuje jejich snadnou výměnu.

Pro zvýšení spolehlivosti a účinnosti zapalování je každý válec leteckého motoru osazen dvěma svíčkami, přičemž každá ze dvou sad svíček má své vlastní magneto.

Pořadí zapalování bývá u motorů zvoleno tak, aby vždy dva po době zapálené válce byly od sebe co nejdál, neboť je tak méně namáhána kliková hřídel.



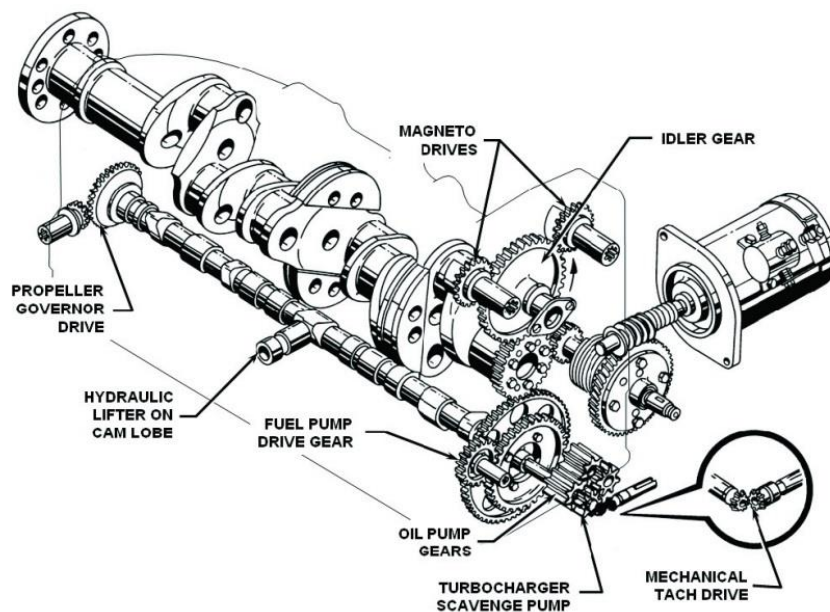
Obr. 36: Pořadí zapalování (čísla dole) u dvouřadého osmiválce [2]

### 1.3.5.6 Spouštěcí soustava

Účelem spouštěcí soustavy (*starting system*) je roztočit stojící motor na potřebné otáčky, aby mohly být zpuštěny tepelné cykly a motor byl schopen samostatného chodu.

Samotné zařízení zodpovědné za roztočení motoru se nazývá spouštěč nebo startér. U dnešních letadel se nejvíce používají spouštěče elektrické protáčecí, které se skládají z elektromotoru, převodu, a spojky. Elektromotor bývá poháněn energií z baterie, která je k němu, z důvodu snížení hmotnosti kabelů, umístěna co nejbližší. Při zapnutí spouštění na palubní desce je přes relé obvod sepnut, čímž dojde k roztočení elektromotoru. Točivý moment je přes šnekový převod a planetovou převodovku přenášen na klikovou hřídel, jejíž otáčky rozpohybují písty ve válcích. Jelikož jsou všechny převody ve skříni pomocných náhonů napevno spojeny, dojde také k roztočení vačkových rozvodových hřídelí, čerpadel, magnetu a všech ostatních zařízení. Do válců tak začne vstupovat směs, ve svíčkách začne docházet k elektrickým výbojům, čímž dojde k zapálení směsi a samostatnému chodu motoru, což je doprovázeno nárůstem otáček. Na vyšší otáčky zareaguje spojka spouštěče svým rozpojením. V jiném případě tzv. dynamospouštěče nedojde k jeho odpojení, ale přepnutí do režimu dynama (generátoru elektrické energie). Stejnoseměrné elektromotory a generátory jsou totiž co do konstrukce stejné, záleží jen na jejich zapojení.

Jinou možností jsou spouštěče elektrické setrvačnickové, u kterých je elektromotorem roztočen setrvačnický, tzn. těžká, rotující součást, která je schopna akumulace velkého množství kinetické energie. Po roztočení setrvačnicku je přerušen přívod energie do elektromotoru a pomocí rohatky je přes převodovku připojena kliková hřídel. Následující procesy jsou stejné jako v minulém případě.



Obr. 37: Kliková hřídel s protáčecím startérem (vpravo) [9]



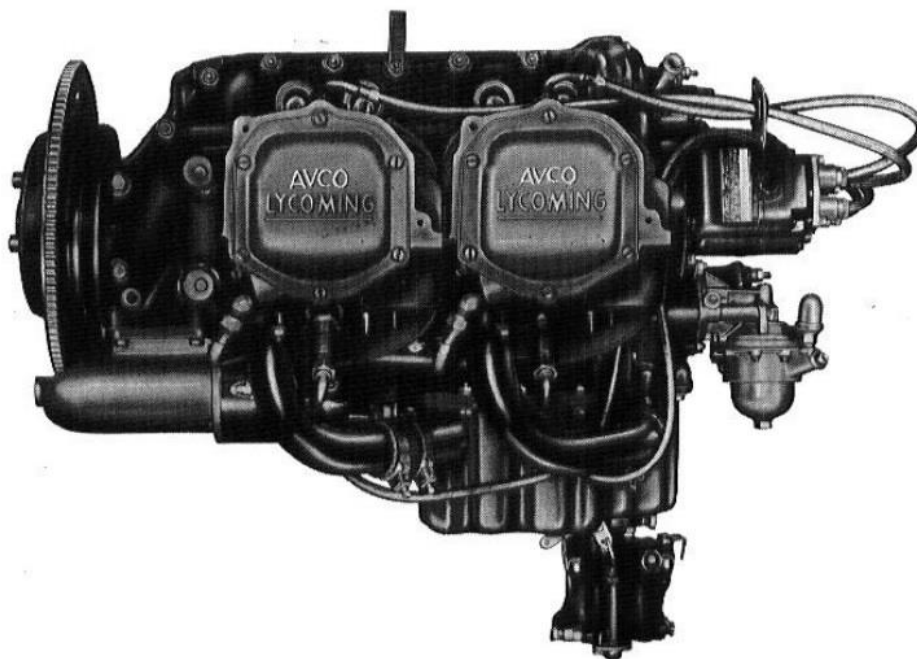
## 2 Lycoming O-320

### 2.1 Seznámení

Motory Lycoming O-320 představují celou rodinu leteckých zážehových motorů. Písmeno O v označení motoru je zkratka z anglického *opposed-piston*, což je označení pro motory s protiběžnými písty, též známé jako ploché či Boxery. Číslo 320 je zdvihový objem válce motoru v krychlových palcích.

Motory jsou vyráběny ve dvou nejčastějších provedeních, a sice jako karburátorové O-320 a jako IO-320 se vstříkovaním (písmeno I je zkratka anglického *intected-* vstříkování). Dále existuje verze AIO-32 pro akrobatické letouny či LIO-320 pro použití ve vícemotorových letounech.

|                  |                                     |
|------------------|-------------------------------------|
| Jmenovitý výkon  | 150 hp (112 kW)                     |
| Jmenovité otáčky | 2700 RPM                            |
| Vrtání           | 5,125 in (13,02 cm)                 |
| Zdvih            | 3,875 in (9,84 cm)                  |
| Zdvihový objem   | 319,8 cu in (5240 cm <sup>3</sup> ) |
| Suchá hmotnost   | 244 lb (111 kg)                     |
| Kompresní poměr  | 7,0:1                               |



Obr. 38: Lycoming IO-320 [3]

## 2.2 Historie a využití motoru

První verze motoru s karburátorem byla úřadem FAA certifikována 28. července 1953, verze se vstřikováním certifikát získala 10. dubna 1961. V roce 1969 následoval motor ve verzi pro vícemotorové letouny a v roce 1974 motor pro letouny akrobatické. V modernizované podobě se tento typ motoru vyrábí dodnes a jeho maloobchodní cena v roce 2010 byla 40 076 dolarů.

Během dvě desetiletí dlouhé a dodnes trvající služby byl motor využit mnohých letounech, přičemž mezi nejznámější patří Piper PA-28 Cherokee. Jedná se o jednomotorový dolnoplošník pro celkem 4 lidi, který bývá nejčastěji využíván pro trénink a jako soukromý letoun. Vyráběn je od roku 1961 do současnosti.

Využití našel motor také pro pohon známého malého vrtulníku Robinson R22 s kapacitou pro dva lidi. Vrtulník je vyráběn od roku 1975 do současnosti.



Obr. 39: Vrtulník Robinson R22 [12]



Nejznámější letoun využívající Lycoming O-320 je bezesporu Cessna 172. Trup letounu je celokovový poloskořepinové konstrukce a obvykle disponuje kapacitou pro celkem 4 lidi. Na každé straně trupu se nachází jedny dveře.

Uspořádáním se jedná o hornoplošník, na vnitřní straně odtokové hrany každého křídla se nachází Fowlerova jednoštěbinová vztlaková klapka. Na vnější straně křídla se nachází křídélko.



**Obr. 40: Cessna 172SP [20]**

Ocasní plochy jsou klasické konstrukce. Vertikální stabilizátor je nepohyblivý, výšková kormidla jsou dělená, na levém výškovém kormidle se nachází trimovací ploška. Svislá ocasní plocha je klasické konstrukce.

Přenos řízení je použit mechanický lanový. Vztlakové klapky jsou ovládány elektricky.

Podvozek letounu je pevný, třibodový, předového typu. Přední povozek je natáčecí, ovládaný pedály z pilotní kabiny. Oby hlavní podvozky jsou vybaveny hydraulickými bubnovými brzdami, které jsou ovládané rovněž pedály.

Pohon letounu zajišťuje čtyřválcový spalovací pístový motor, který přímo pohání vrtuli. Vrtule je použita dvoulistá, u většiny verzí letounu pevná. Motor řemenem pohání střídavý alternátor, který napájí elektrické zařízení letounu. Startování motoru je elektrické z baterie.

Palivo je umístěno v křídelních nádržích s gravitačním plněním, odkud samospádem přitéká do vnitřní palivové soustavy motoru.

Vybavení kokpitu je závislé na konkrétní verzi a stáří letounu. U starších letounů se setkáme s klasickými ručičkovými přístroji, u novějších strojů s částečným či úplným „glass“ kokpitem.



Obr. 41: Přístrojový panel Cessny 172RG [21]

Letoun našel uplatnění v několika armádách, tak jako v rukou soukromých pilotů, leteckých společností provozující vyhlídkové lety či leteckou školu, atd.

Je pozoruhodné, že Cessna 172 poprvé vzlétla v roce 1956, a v různých modifikacích se vyrábí dodnes. Díky tomu se těchto letadel vyrobilo přes 43 000, což z Cessny 172 činí jedno z nejrozšířenějších letadel na světě.

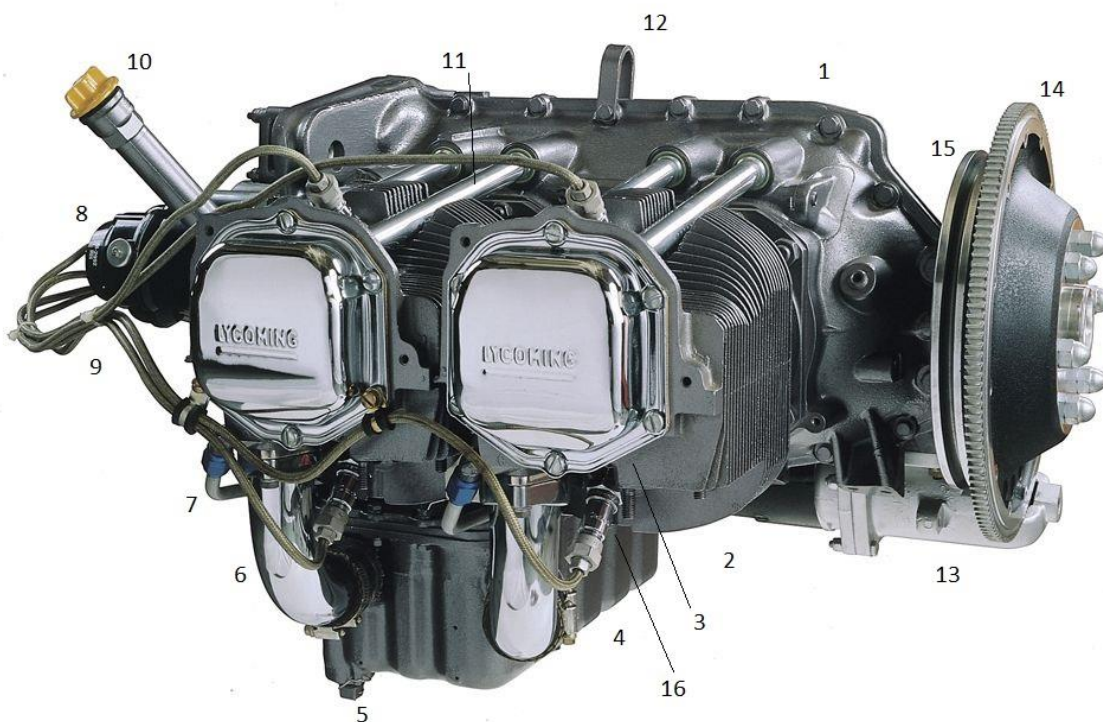
|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| Prázdná hmotnost        | 1 691 lb (767 kg)    |
| Max. startovní hmotnost | 2450 lb (1 111 kg)   |
| Délka                   | 27 ft 2 in (8,28 m)  |
| Výška                   | 8 ft 11 in (2,72 m)  |
| Rozpětí                 | 36 ft 1 in (11,00 m) |
| Cestovní rychlost       | 122 kn (226 km/h)    |
| Dolet                   | 696 NM (1 289 km)    |
| Dostup                  | 13 500 ft (4 100 m)  |

## 2.2 Technický popis

Lycoming O-320 je čtyřválcový letecký, zážehový, vzduchem chlazený motor. Jeho válce, z nichž každý má zdvihový objem  $5240 \text{ cm}^3$ , jsou umístěny horizontálně ve dvojicích proti sobě, s osami ve směru příčné osy letounu. Uspořádáním se tedy jedná o plochý motor, tzv. Boxer, kdy se kliková hřídel nachází uprostřed mezi válci motoru.

Motor je nepřepřítňovaný a určený pro přímý pohon vrtule, v pohonné jednotce se tedy nenachází žádný reduktor ani plnicí kompresor.

Jeho součástmi jsou kliková skříň (1), válce (2), hlavy válců (3), olejová nádrž (4), karburátor (5), sací potrubí (6), potrubí sytiče (7), magneto (8), kabely zapalování (9), olejová měrka (10), trubka pro rozvodovou tyčku (11), oko na zvedání motoru (12), startér (13), ozubené kolo startéru (14), řemenice pro pohon generátoru/alternátoru (15) a svíčka (16)

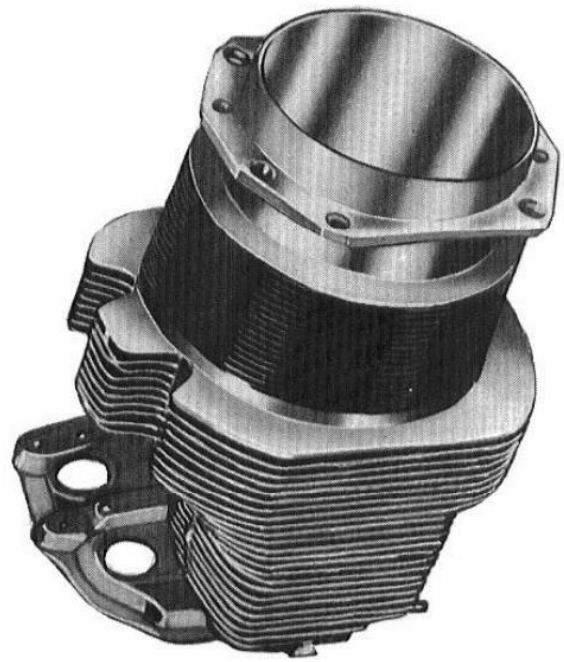


Obr. 42: Lycoming O-320 [25]

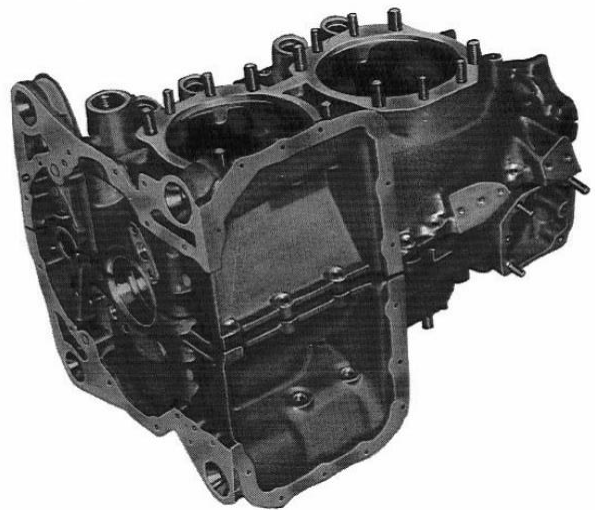
Sestava válce motoru se skládá ze dvou hlavních součástí, a sice z vlastního válce a z hlavy. Vlastní válec je obrobek z chrom-nikl-molybdenové oceli, hlava válců je odlita z hliníkové slitiny. Jak bývá u vzduchem chlazených motorů obvyklé, válce motoru jsou vyrobeny jako samostatné součásti, které jsou přišroubovány ke klikové skříni. Ta je vyrobena jako odlitek z hliníkové slitiny.

Uvnitř válce se pohybuje píst, který je obroben z hliníkové slitiny. Prostory nad a pod válcem jsou izolovány pomocí dvojice těsnících a jednoho stíracího kroužku. Ojnice je vyrobena jako výkovek z oceli. Píst je s ojnicí spojen pomocí pístního čepu s pojistkami.

Na svém druhém konci obepíná ojnice klikovou hřídel, která je vykována z chrom-nikl-molybdenové oceli. Kliková hřídel přenáší kroutící moment k vrtuli a do skříně pomocných pohonů, která je odlita z hliníkové slitiny.



Obr: 43: Sestava válce motoru [3]



Obr 44: Kliková skříň [3]

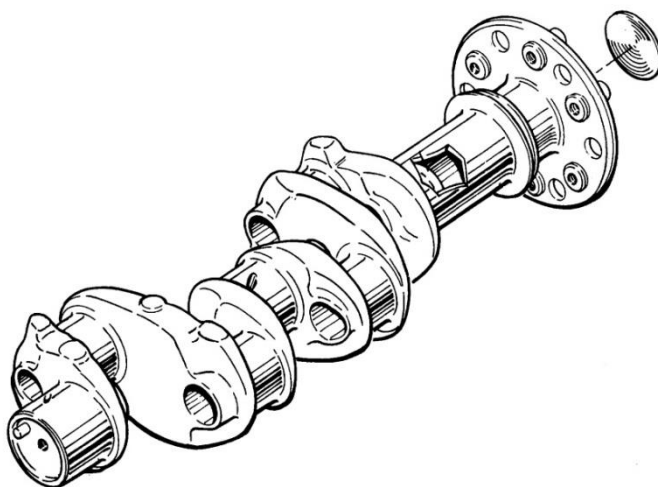
Rozvody motoru jsou ventilové v provedení OHV. Obě vačkové hřídele jsou od klikové hřídele poháněny ozubenými koly s převodovým poměrem 2:1 a jsou s ní rovnoběžné. Pohyb vaček je pomocí zdvihátek, rozvodových tyček a vahadel přenesen k ventilům. Každý válec je vybaven jedním sacím a jedním výfukovým ventilem. Jejich zavírání zajišťuje dvojice v sobě vnořených vinutých válcových pružin.



Obr. 45: Píst s čepem, pojistkou a kroužky [3]



Obr. 46: Součásti rozvodů s hlavou válce [3]



Obr. 47: kliková hřídel [3]

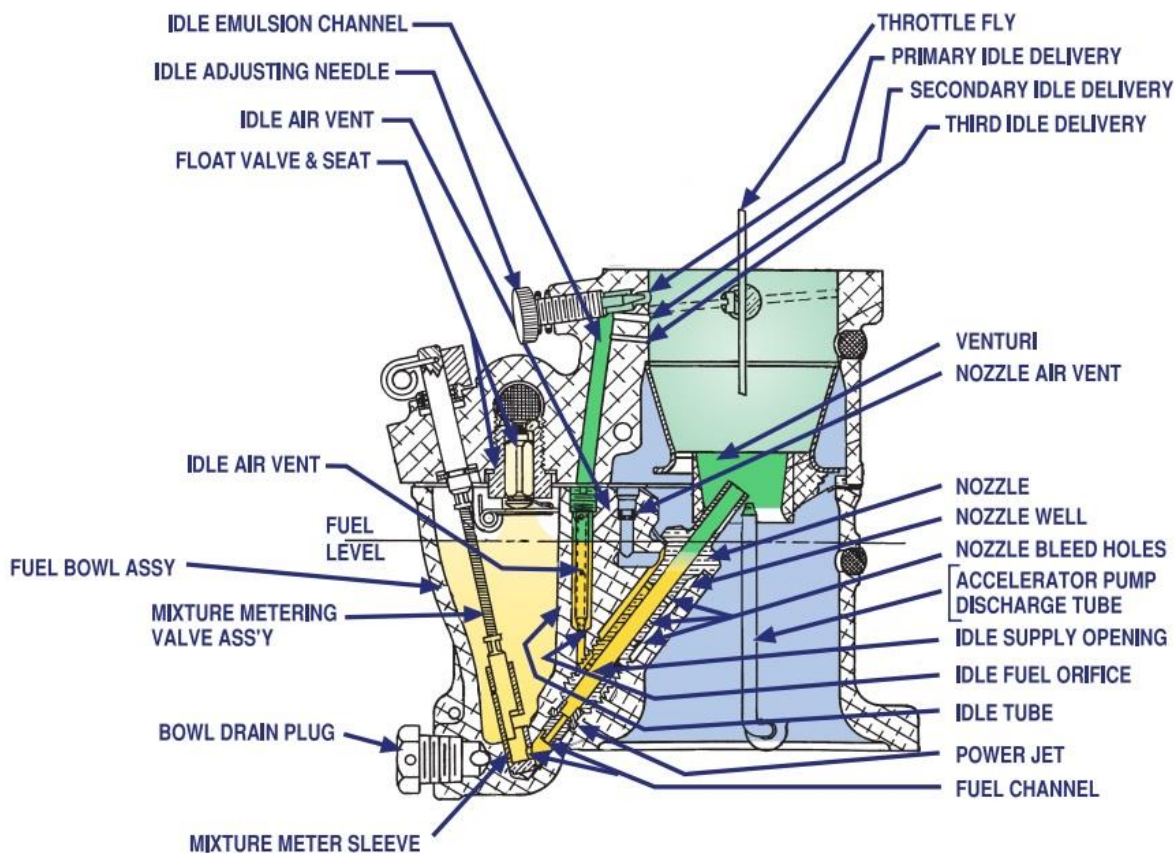


Palivo je v Cessně 172 umístěno v křídelních nádržích a dle verze letounu přitéká do vnitřní palivové soustavy buď samospádem, nebo pomocí čerpadla. Vnitřní palivová soustava je buď karburátorová, nebo se vstřikovacími čerpadly.

U motoru O-320 je použit karburátor typu MA-4SPA, který se nachází na dně olejové nádrže zvenku. Jedná se o plovákový karburátor klasické konstrukce. Žlutou barvou na obrázku 49 je znázorněno palivo, modrou vzduch a zelenou směs. Součástí karburátorové palivové soustavy je sytič.



Obr. 48: Karburátor MA-4SPA [3]



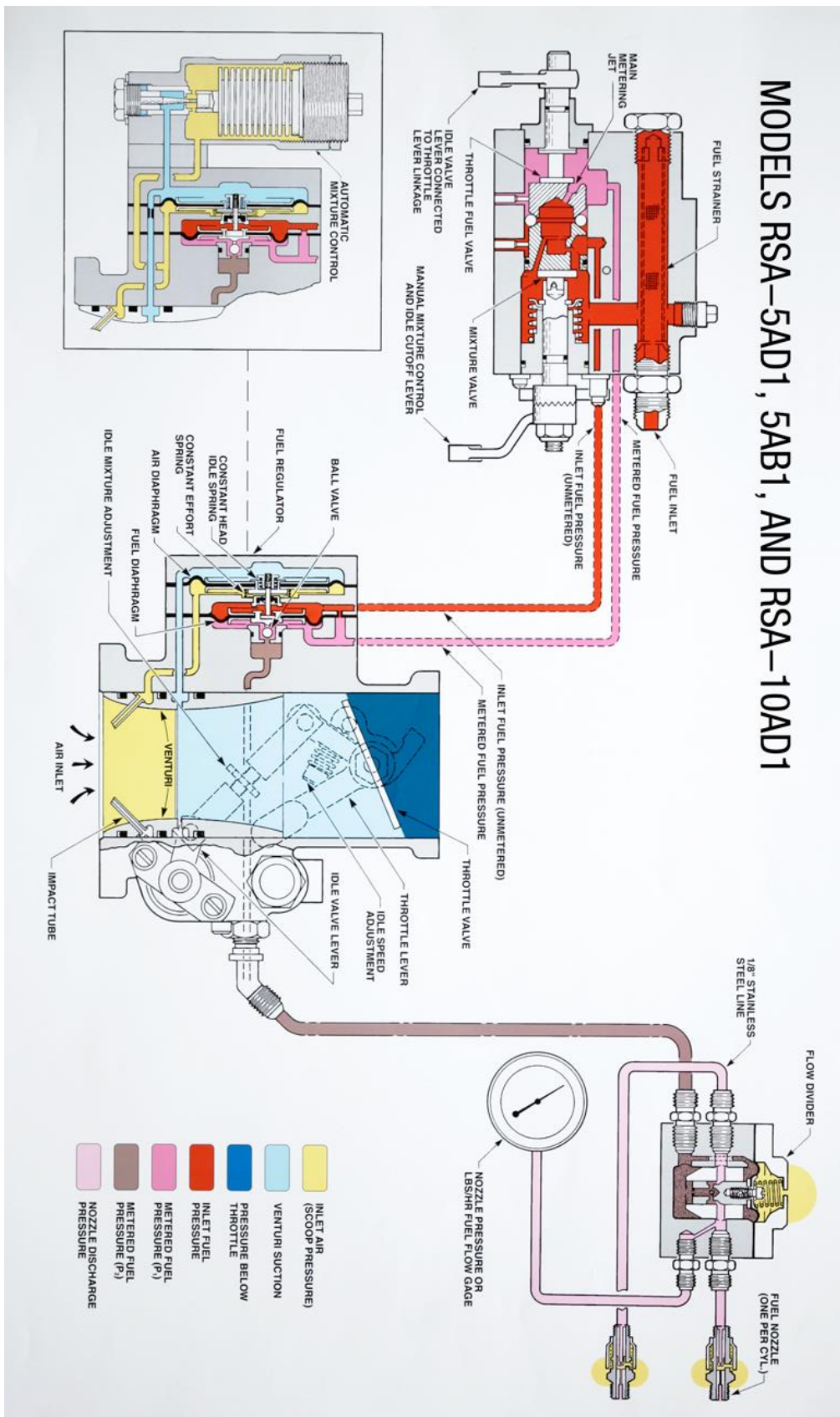
Obr. 49: Řez karburátorem MA-4SPA [5]

Dávkování paliva do motoru IO-320 obstarává vstříkovací systém typu Bendix RSA-5AD1. Skládá se ze třech základních součástí, a to z ovladače bohatosti směsi, regulátoru tlaku a rozdělovače proudu paliva. Bohatost směsi je ovládána buď automaticky barometrickou krabicí v závislosti na okolním tlaku, nebo manuálně pilotem. Ovladač bohatosti směsi má dva výstupy- jedním vystupuje palivo s neodměřeným tlakem, druhým palivo s odměřeným tlakem. Právě hodnota odměřeného tlaku paliva řídí bohatost směsi.

Z obou výstupů je palivo vedeno do regulátoru tlaku paliva, kam ústí také dva vzduchové vstupy, které vedou ze vzduchového kanálu. Jeden ze vstupů je v kanálu napojen na zúžené místo, druhý na nezúžené. V kanálu proudí vzduch, jehož rychlost je úměrná otáčkám motoru. Při zvýšení otáček motoru tak poklesne tlak ve vzduchovém potrubí ze zúženého místa. Uvnitř regulátoru tlaku se nachází dvě membrány, na kterých, v závislosti na otáčkách motoru a nastavení bohatosti směsi, vzniká síla, která otevírá kuličkový ventil, který reguluje tlak vycházejícího paliva do palivového rozdělovače.

Palivový rozdělovač rozděluje palivo do potrubí vedoucích k palivovým tryskám jednotlivých válců. Stará se také o správné časování stříku.

# MODELS RSA-5AD1, 5AB1, AND RSA-10AD1

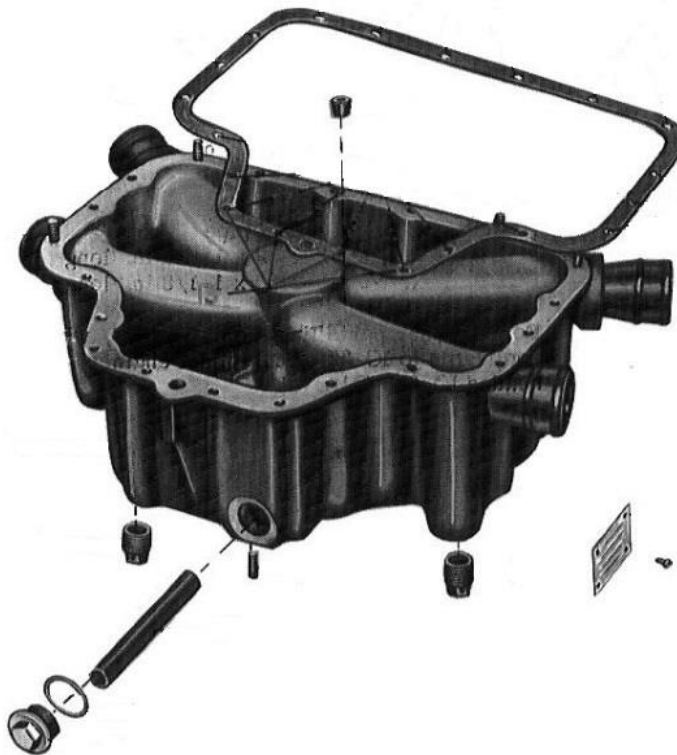


Obr. 50: Schéma vstříkovací soustavy RSA-5AD1 a podobných [22]

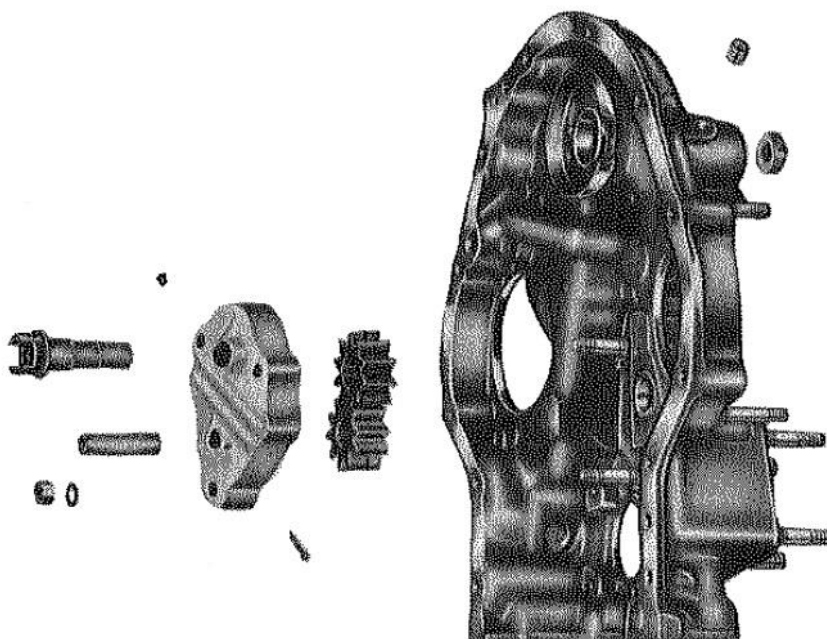


Lycoming IO-320 patří mezi motory s mokrou klikovou skříní, což znamená, že nádrž na olej tvoří jeden celek s klikovou skříní, ke které je přišroubována.

Tlakové čerpadlo se nachází ve skříní pomocných náhonů a provedením je zubové. Olej je z tlakového čerpadla vrtanými otvory nejprve veden do prostoru skříně pomocných náhonů, kde zajišťuje mazání a chlazení převodů. Poté olej pokračuje do externího vzduchového chladiče, který je vybaven obtokovým kanálem. Následně se olej vrací do prostoru motoru, kde je přefiltrován, ventilem upraven jeho tlak a rozdělen do dvou kanálů, přičemž olej z hlavního kanálu, který se dále rozděluje, slouží k mazání hlavních ložisek klikové hřídele, dále pokračuje k vačkám, převodům vačkových hřídelí, zdvihátkům, ložiskům vačkových hřídelí.

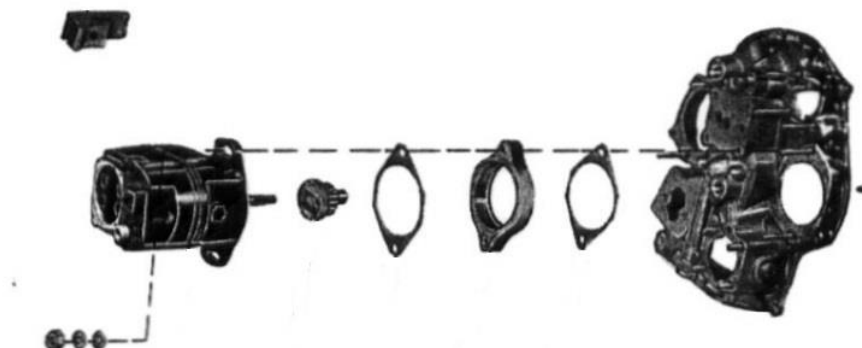


Obr. 51: Olejová nádrž [3]



Obr. 52: Olejové čerpadlo ve skříní pomocných náhonů [3]

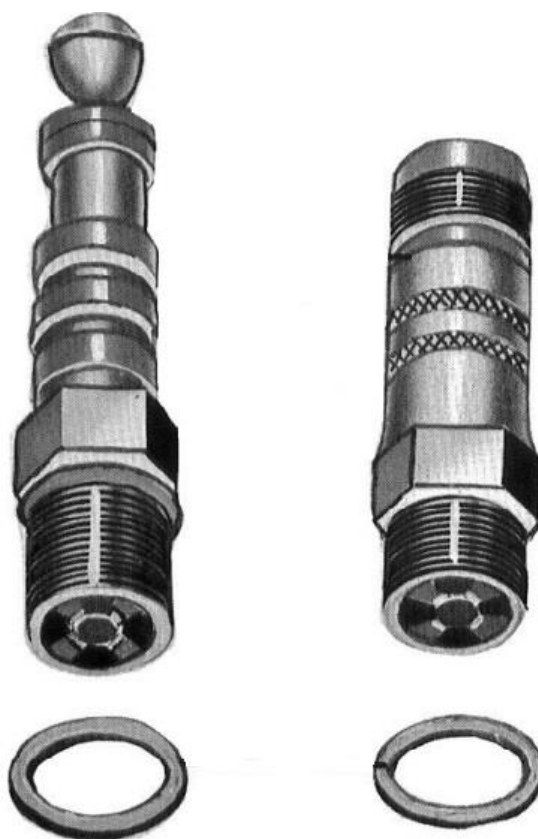
Zapalovací soustava je klasické konstrukce. Tvoří ji dvojice magnet, rozdělovač, kabely, a v každém válci motoru dvojice svíček, které jsou buď ve stíněném, nebo nestíněném provedení. Zapalování válců probíhá v pořadí 1-3-2-4.



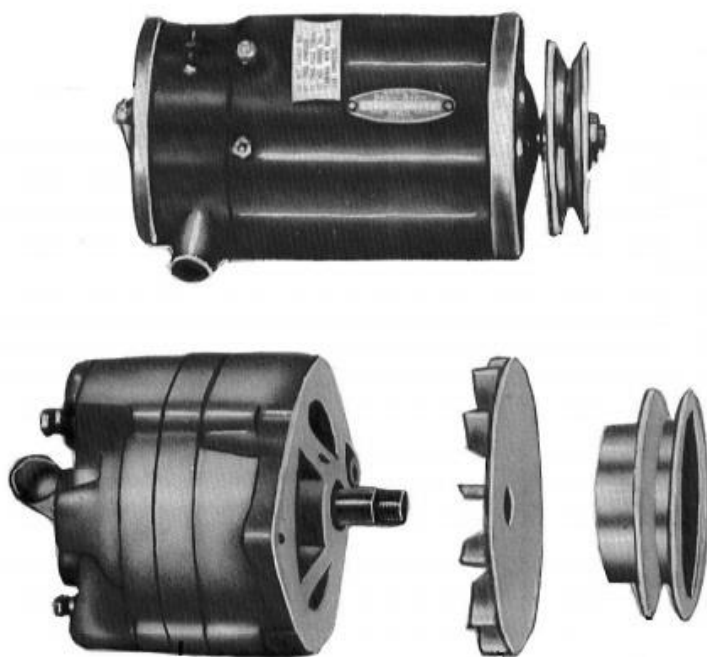
Obr. 53: Magneto [3]

Spouštěcí soustava je protáčetelná elektrická. Základem startéru je elektromotor poháněný stejnosměrným napětím 24 V z baterie. Kliková hřídel a startér jsou spojeny převodem s čelními ozubenými koly. Ozubené kolo klikové hřídele je jedna z největších částí motoru a tvoří jeho dominantu při pohledu zepředu. Po nastartování motoru dojde k odpojení startéru axiálním posuvem jeho hřídele, čímž ozubená kola vyjdou ze záběru.

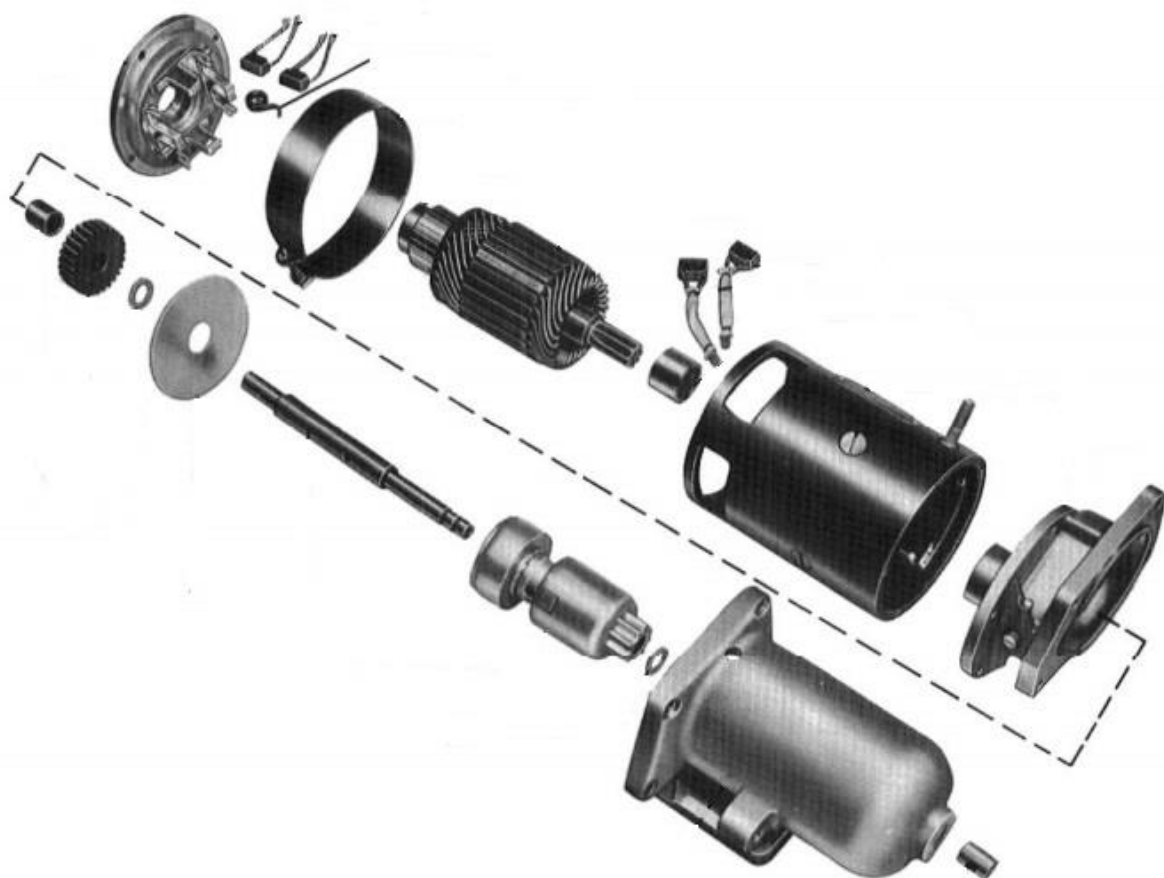
Další z elektrických zařízení motoru je řemenem poháněný zdroj elektrické energie. Dle konkrétního provedení se jedná buď o stejnosměrný generátor nebo střídavý alternátor produkující napětí o hodnotě 24 V.



Obr. 54: Nestíněná (vlevo) a stíněná svíčka [3]



Obr. 55: Generátor (nahore) a alternátor [3]



Obr. 56: Startér [3]

### 3 Výukový program

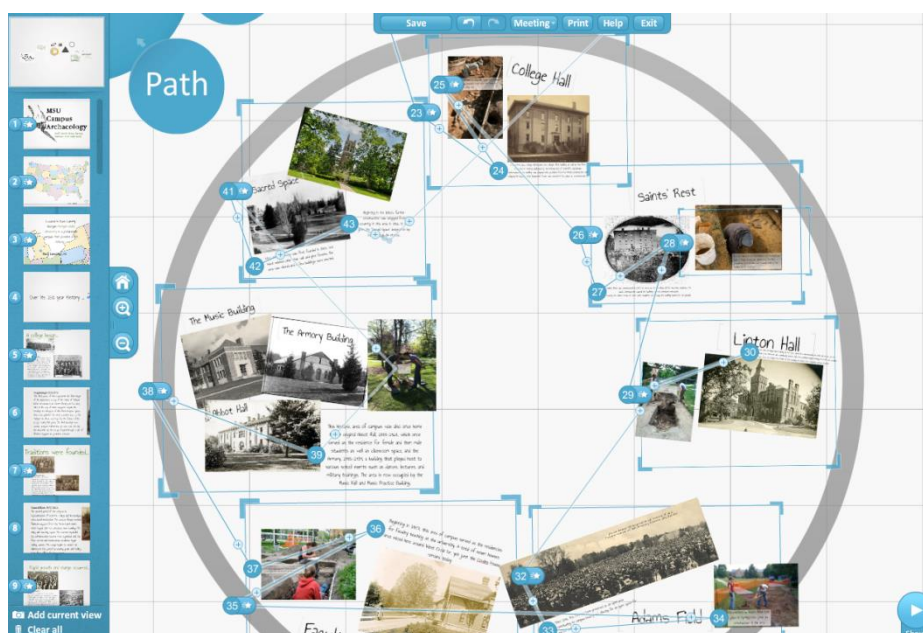
#### 3.1 Výběr programu pro tvorbu

Praktickou částí bakalářské práce je prezentační výukový program. V současné době existuje mnoho programů, ve kterých lze vytvářet prezentace. Bylo tedy nutné zvážit jejich jednotlivé parametry a provést výběr takového, ve kterém bude zpracování výukového programu optimální.

Jedna z možností byl například program Beamer, který je postavený na bázi LaTeXu. Tento program je nejlepší, co se týče grafických výstupů a možností tvořené prezentace. Při práci s ním se však napracuje v grafickém rozhraní, ale se syntaxí, což znamená, že program je řádově náročnější na obsluhu a určen zkušenějším uživatelům.

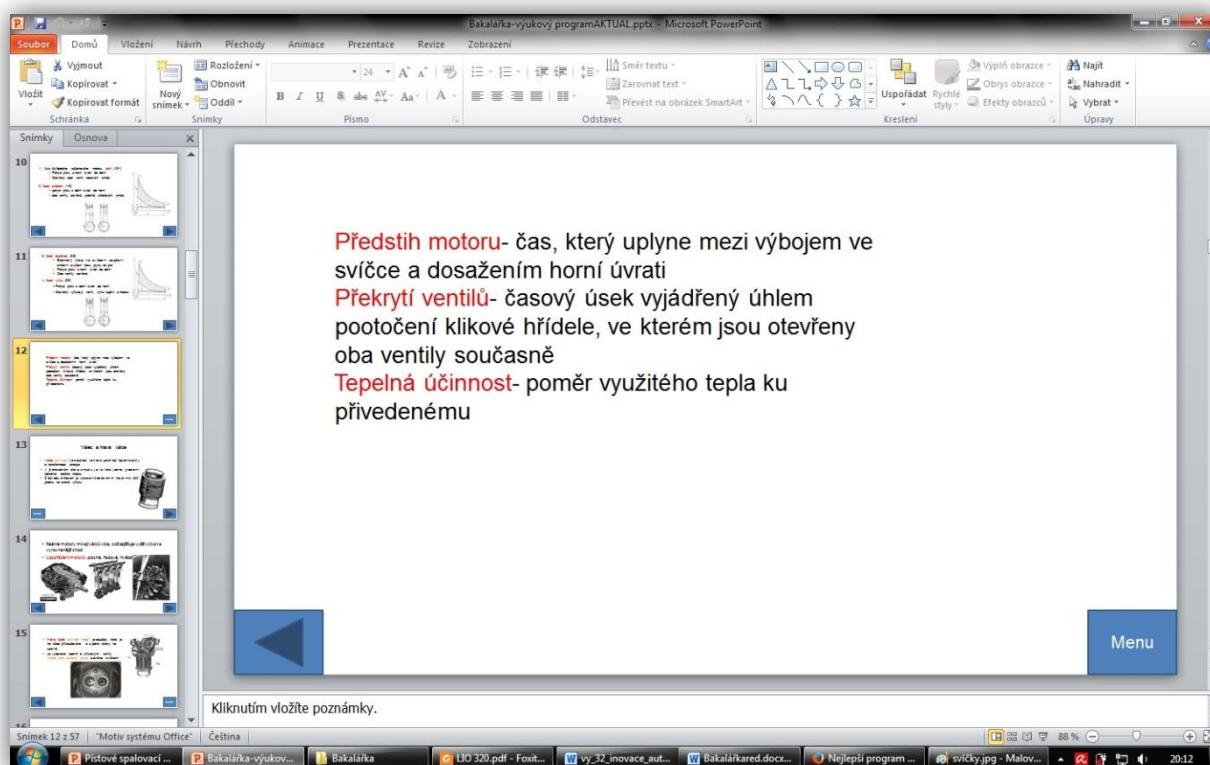
Velmi dobré hodnocení se dostává programu Keynote. Jedná se o pokročilý, nicméně poměrně snadno ovladatelný program, který nabízí efektivní grafické výstupy. Použití programu však znemožnil fakt, že se jedná aplikaci pouze pro operační systém Mac OS X pro počítače od Apple.

Další možností byl cloudový program Prezi, u kterého se předpokládá sdílení prezentací a jejich online spuštění ze serveru. Protože však z vlastní zkušenosti vím, že výukové prezentace někdy probíhají na počítačích bez připojení k internetu, nebylo by použití tohoto typu prezentace vhodné.



Obr. 57: Prezentační program Prezi [23]

Po zvážení všech pro a proti jsem výukový program vytvořil v neznámějším prezentačním programu Microsoft PowerPoint verze 2010. Program je poměrně jednoduchý na obsluhu, mám s ním mnoho předchozích zkušeností a lidé jsou na něj zvyklí. Nabízí obstojné možnosti tvoření prezentací včetně možnosti vkládání tlačítek různých funkcí, tvoření animací, přechodů, a podobně, což jsou funkce, které jsem měl v plánu využít ve svém výukovém programu.

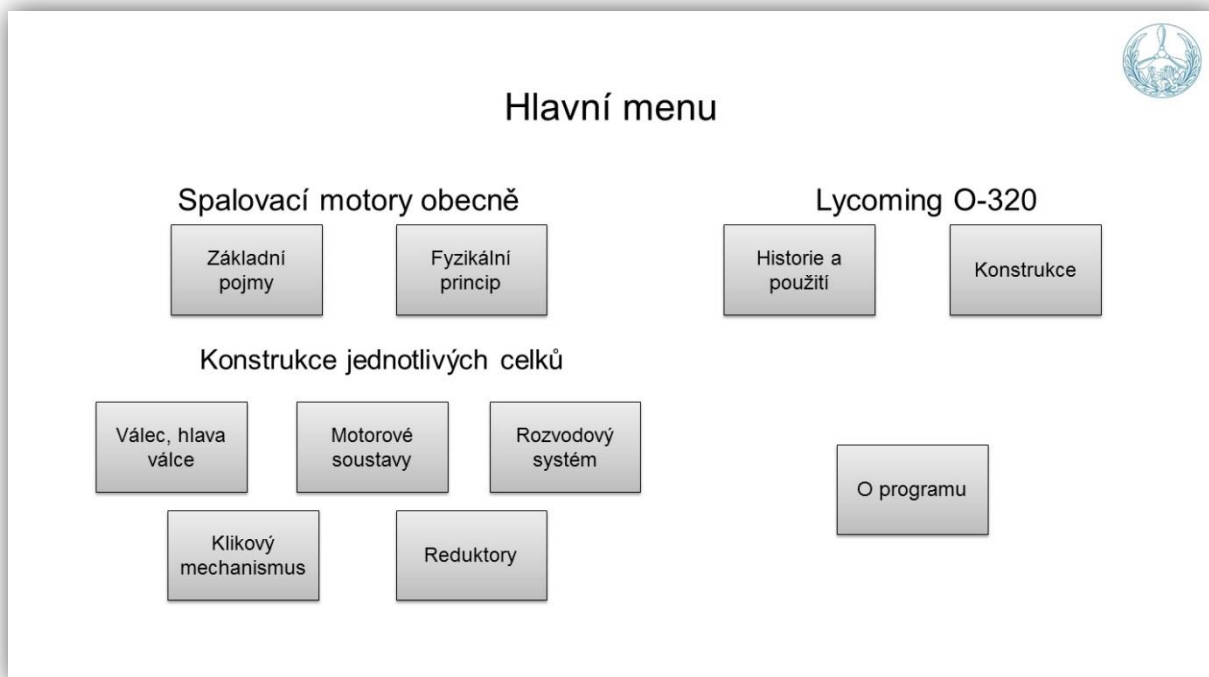


Obr. 58: Tvorba prezentačního programu v PowerPointu

### 3.1 Seznámení s výukovým programem

Výukový program samotný má podobnou strukturu jako teoretická část. Je rozdělený na dvě hlavní části, přičemž první část je určena pro výuku látky obsažené v Modulu 16 (Pístový motor) dle nařízení EU č. 1321/2014 PART 66. Obsažené teoretické informace jsou zvoleny tak, aby posluchač získal veškeré důležité znalosti pro úspěšné splnění modulového testu.

Druhá část výukového programu je věnována popisu motoru Lycoming O-320. Ve firmě DSA a.s. totiž probíhá údržba mnoha letounů, které jsou poháněny právě tímto motorem. Lze tak očekávat, že mechanici zaměstnaní v této firmě se s tímto konkrétním motorem často setkají. Cílem druhé části je poskytnout základní povědomí o konstrukci tohoto typu motoru.



Obr. 59: Stránka výukového programu Hlavní menu

Při zapnutí výukového programu proběhne úvodních několik slidů a uživatel se ocitne na hlavní stránce celého programu: Hlavní menu. Na této stránce se nachází nadepsaná tlačítka, po jejichž stisknutí je uživatel přesunut na konkrétní vybrané téma. Procházení tématu se provádí kliknutím levým tlačítkem myši na libovolné místo. Poslední kliknutí na poslední stránce každého tématu přesune uživatele zpět na Hlavní menu. Z každé stránky se lze vrátit na předchozí stranu či rovnou zpět na Hlavní menu, a to tlačítky v levém dolním rohu.

## Závěr

Cílem bakalářské práce bylo poskytnout učební materiál pro výuku látky Modulu 16 dle PART 66 nařízení EU č. 1321/2014.

Teoretická část práce byla napsána v programu Microsoft Word 2010. Začátek práce se věnuje základním pojmům z tématu spalovacích motorů. Postupně se přejde k popisu fyzikálních pochodů v pístových motorech, poté následuje nejobsáhlejší podkapitola věnující se konstrukci jednotlivých celků motorů. Byla probrána stavba válce motoru, klikového mechanismu, rozvodů a reduktorů. Další část postupně probírá motorové soustavy. Za částí věnující se obecně pístovým motorům následuje kapitola zaměřená na motor Lycoming O-320. Začíná se historií a použitím tohoto motoru, poté následuje jeho technický popis.

Součástí práce je výukový program vytvořený v programu Microsoft PowerPoint 2010, pomocí kterého je při skupinové výuce možno přehledně prezentovat probíranou látku. Struktura kapitol je stejná jako v případě teoretické části.

Při tvorbě práce jsem čerpal také z internetových zdrojů, především však z tištěné literatury. Jako hlavní zdroj informací mi posloužila kniha autorů Jindřicha Kocába a Josefa Adamce: Letadlové motory, která se problematikou nejen pístových motorů podrobněji zabývá. Další důležitý zdroj informací byly učební texty k Modulu 16 autora Josefa Maršálka, ve kterých se nachází také ukázkový modulový test. K tématu pístových spalovacích motorů lze najít mnoho informačních zdrojů, nicméně z důvodu rozsahu jsem v práci musel některá témata vynechat. Problémy se získáváním informací se vyskytly v části o Lycomingu O-320. Měl jsem sice k dispozici Illustrated Parts Catalog a Operator's manual k tomuto motoru, mnoho informací však bylo nekompletních a zjednodušených, takže práce se popisem tohoto motoru nezabývá tak podrobně, jak bylo původně plánováno.

Přes všechny uvedené nedostatky věřím, že tato práce bude využita pro výcvik leteckých mechaniků ve společnosti DSA a.s., a přispěje tak ke mnoha úspěšně napsaným modulovým testům a následné spolehlivé údržbě letadel. Zároveň bych byl rád, kdyby práce přispěla k celkové osvětě veřejnosti ohledně pístových motorů.



## Použité zdroje

### Literatura

- [1] MARŠÁLEK, Josef, *Studijní modul 16: Pístový motor*, Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 163 s
- [2] KOCÁB, Jindřich, ADAMEC, Josef, *Letadlové motory*, Praha: KANT cz s.r.o., 2000, 176 s
- [3] *Textron Lycoming O-320, IO-320 & LIO-320 Series Aircraft Engines Parts Catalog*, Brisbane: Aircraft Technical Publishers, 2002, 192 s
- [4] *Operator's Manual AVCO Lycoming O-320, IO-320, AIO-320 and LIO-320 Series Aircraft Engines*, Williamsport: Lycoming Williamsport Division AVCO Corporation, 1973, 118 s
- [5] *Precision Airmotive's MSA Float Carburetor Handbook*, 2002, 34 s

### Internetové zdroje

- [6] *Zařízení pro přípravu a tvorbu směsi- karburátor* [online]. 2016 [cit 2016-7-24]. Dostupné z WWW: <[https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwinwYvsxNTOAhWMI8AKHVvKA6IQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.isstvm.cz%2Fsite%2Fdefault%2Ffiles%2Fstranka%2F245%2Fvy\\_32\\_inovace\\_aut\\_3u\\_to\\_22\\_06.docx&usg=AFQjCNEvdhQfKsymh7ieXua3G40IWpgj2g&sig2=CNJP4RLPJYhoLPz\\_CEI5vA&bvm=bv.129759880,d.ZGg&cad=rja](https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwinwYvsxNTOAhWMI8AKHVvKA6IQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.isstvm.cz%2Fsite%2Fdefault%2Ffiles%2Fstranka%2F245%2Fvy_32_inovace_aut_3u_to_22_06.docx&usg=AFQjCNEvdhQfKsymh7ieXua3G40IWpgj2g&sig2=CNJP4RLPJYhoLPz_CEI5vA&bvm=bv.129759880,d.ZGg&cad=rja)>
- [7] *III Základy termodynamiky* [online]. 2016 [cit 2016-3-18]. Dostupné z WWW: <[http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch\\_predn0405-Ztd.pdf](http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch_predn0405-Ztd.pdf)>
- [8] *Nejlepší program pro tvorbu prezentací* [online]. 2016 [cit 2016-8-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.zive.cz/clanky/nejlepsi-program-pro-tvorbu-prezentaci/sc-3-a-165056/>>
- [9] *Tips on engine care: Your Personal Guide to the Continental Engine* [online]. 2016 [cit 2016-7-12] Dostupné z WWW: <[www.csobeech.com/files/ContinentalEngineCare.pdf](http://www.csobeech.com/files/ContinentalEngineCare.pdf)>
- [10] *O nás* [online]. 2016 [cit 2016-7-9] Dostupné z WWW: <<http://www.dsa.cz/o-nas/uvod-o-nas>>

- [11] *Předvánoční shon v CZ LOKO Česká Třebová* [online]. 2016 [cit 2016-8-15] Dostupné z WWW: <<http://www.vlaky.net/zeleznice/spravy/3796-Predvanocni-shon-v-CZ-LOKO-Ceska-Trebova/>>
- [12] <<http://upload.wikimedia.org>>
- [13] <[http://preview.turbosquid.com/Preview/2014/05/25\\_\\_20\\_10\\_45/Engine%20%20Cycle%20-%2014%201.bmpb07ebdde-de54-43b6-a55c-fed5518a1c9eOriginal.jpg](http://preview.turbosquid.com/Preview/2014/05/25__20_10_45/Engine%20%20Cycle%20-%2014%201.bmpb07ebdde-de54-43b6-a55c-fed5518a1c9eOriginal.jpg)>
- [14] <<http://peter2000.co.uk/aviation/engine-rebuild/cylinder-head.jpg>>
- [15] <<http://www.fokkerfour.nl/fokker%20s-11/constructie/images/motor1.jpg>>
- [16] <[http://www.ihpworkshops.com/images/radial\\_engine\\_1.jpg](http://www.ihpworkshops.com/images/radial_engine_1.jpg)>
- [17] *Ventilové rozvody* [online]. 2016 [cit 2016-6-26] Dostupné z WWW: <<http://www.bastler.cz/ventilove-rozvody/>>
- [18] <[http://r1.aviationpros.com/files/cygnus/image/AMT/2009/OCT/1280x720/rsafuelinjectionsystems\\_10139359.jpg](http://r1.aviationpros.com/files/cygnus/image/AMT/2009/OCT/1280x720/rsafuelinjectionsystems_10139359.jpg)>
- [19] *What's The Difference Between Turbochargers and Superchargers?* [online]. 2016 [cit 2016-8-21] Dostupné z WWW: <<http://www.boldmethod.com/learn-to-fly/systems/whats-the-difference-turbocharger-vs-supercharger/>>
- [20] <<http://img.wallpaperfolder.com/f/47C913A1A5A8/cessna-172-526.jpg>>
- [21] <<http://frederickflightcenter.com/wp-content/uploads/2015/10/N6419V-PANEL.jpg>>
- [22] <[http://www.victor-aviation.com/images/RSA\\_Models5ad1\\_5ab1\\_10ad1\\_1300.jpg](http://www.victor-aviation.com/images/RSA_Models5ad1_5ab1_10ad1_1300.jpg)>
- [23] <<http://www.gradhacker.org/wp-content/uploads/2012/08/prezi.png>>
- [24] <<https://s3.amazonaws.com/engrade-myfiles/4083769570221760/40-15.jpg>>
- [25] <<http://aeroclub-abbville.fr/wp-content/uploads/2014/03/L320.jpg>>