



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

DVOUDOBÉ VZNĚTOVÉ LETECKÉ MOTORY

TWO-STROKE COMPRESSION-IGNITION AIRCRAFT ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LADISLAV POCHOP

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LUBOMÍR DRÁPAL

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2009/10



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pochop Ladislav

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

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

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:

Dvoudobé vznětové letecké motory

v anglickém jazyce:

Two-stroke compression-ignition aircraft engines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pojednání o konstrukci pístových leteckých pohonných jednotek se zaměřením na vznětové motory dvoudobé, popis specifik, jejich vývoj v historickém kontextu a celkové zhodnocení.

Cíle bakalářské práce:

Uveďte obecně požadavky, kladené na pístové letecké motory. Dále zmapujte v historickém přehledu vývoj motorů dvoudobých vznětových, jejich konstrukční řešení, technické parametry a porovnejte s výkonnostně srovnatelnou konkurencí čtyřdobých zážehových motorů. Popište soudobé konstrukce a nastiňte možný vývoj v této oblasti. V závěru vše celkově zhodnoťte.

Seznam odborné literatury:

- [1] KOCÁB, J., ADAMEC, J. Letadlové motory. KANT, První vydání, Praha, 2000. ISBN 80-902914-0-6.
- [2] PIRAULT, J-P., FLINT, M. Opposed Piston Engines – Evolution, Use and Future Applications. Society of Autotomotive Engineers, Inc., First edition, 2009. ISBN 978-0-7680-1800-4.
- [3] BLAIR, G. The Basic Design of Two-Stroke Stroke Engines. Society of Autotomotive Engineers, Inc., First edition, 1990. ISBN 1-56091-008-9.

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lubomír Drápal

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 26.10.2009

L.S.



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty



Abstrakt

Tato bakalářská práce je pojednáním o dvoudobých vznětových leteckých motorech. Popisuje princip funkce dvoudobého vznětového motoru, jeho odlišnosti od motoru čtyřdobého a motoru zážehového. Dále se zabývá historickým vývojem dvoudobých vznětových leteckých motorů v kontextu s vývojem pístových leteckých motorů obecně. Uvádí nejznámější dvoudobé vznětové letecké motory a nastiňuje možný vývoj tohoto typu motorů v blízké budoucnosti.

Klíčová slova

Letecký motor, pístový motor, dvoudobý motor, vznětový motor, dieselový motor.

Summary

This thesis is a treatise on two-stroke diesel aircraft engines. Describes the principle functions of two-stroke diesel engine, its differences from the four-stroke engine and petrol engine. It also deals with the historical development of two-stroke diesel aircraft engines in the context of the development of piston aircraft engines in general. Indicates the best-known two-stroke diesel aircraft engines and outlines possible development of this type of engines in the near future.

Keywords

Aircraft engine, piston engine, two-stroke engine, compression-ignition engine, diesel engine.

Bibliografická citace

POCHOP, L. Dvoudobé vznětové letecké motory . Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 69 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lubomír Drápal.

**Ústav automobilního
a dopravního inženýrství**

FAKULTA STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ
V BRNĚ

ISI
FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Dvoudobé vznětové letecké motory“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Lubomíra Drápala s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány a uvedeny v seznamu použitých literárních pramenů a zdrojů.

V Brně dne 28.5. 2010

.....
Ladislav Pochop



Poděkování

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Lubomíru Drápalovi za cenné připomínky a rady při vypracovávání této práce.

Rovněž mé díky patří Lukášovi Kalovi – přispěvovateli portálu Palba.cz, jemuž jsem též vděčný za cenné rady a za odkazy a tipy na některé informační zdroje.

A v neposlední řadě bych velmi rád chtěl poděkovat svým rodičům Ladislavu Pochopovi a Zdeně Pochopové za ohromnou trpělivost a podporu v mém studiu.



Obsah

Obsah.....	- 5 -
1. Úvod.....	- 6 -
2. Požadavky kladené na pístové letecké motory.....	- 7 -
3. Rozdělení pístových leteckých motorů.....	- 8 -
4. Teorie dvoudobých vznětových leteckých motorů.....	- 10 -
4.1 Princip funkce dvoudobého vznětového motoru.....	- 10 -
4.1.1 Pracovní oběh dvoudobého motoru zážehového (benzinového).....	- 10 -
4.1.2 Vznětový motor.....	- 11 -
4.1.3 Pracovní oběh dvoudobého motoru vznětového (naftového).....	- 13 -
4.2 Konstrukční zvláštnosti dvoudobého vznětového motoru.....	- 18 -
4.2.1 Vratné vyplachování.....	- 19 -
4.2.2 Motory se souproudým vyplachováním a ventily.....	- 21 -
4.2.3 Motory se souproudým vyplachováním a s protiběžnými písty.....	- 22 -
5. Historický přehled.....	- 25 -
5.1 Historický přehled vývoje letadlových pístových motorů obecně.....	- 25 -
5.2 Historie dvoudobých vznětových leteckých motorů.....	- 28 -
5.2.1 Junkers Fo3.....	- 30 -
5.2.2 Junkers Fo4 / Jumo 4 / Jumo 204.....	- 31 -
5.2.3 Junkers Jumo 5 / Jumo 205.....	- 35 -
5.2.4 Junkers Jumo 206.....	- 39 -
5.2.5 Junkers Jumo 207.....	- 39 -
5.2.6 Junkers Jumo 208.....	- 41 -
5.2.7 Junkers Jumo 223 / Jumo 224.....	- 42 -
5.2.8 ZOD-260.....	- 45 -
6. Konstrukční řešení motoru Junkers Jumo 205.....	- 48 -
7. Porovnání motorů.....	- 54 -
8. Soudobé konstrukce.....	- 55 -
9. Závěr.....	- 60 -
10. Seznam použité literatury a zdrojů.....	- 61 -
12. Přílohy.....	- 66 -

1. Úvod

V rukou držíte bakalářskou práci na téma „Dvoudobé vznětové letecké motory“, jež je závěrečnou prací při ukončení tříletého bakalářského studia na Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně.

Cílem této bakalářské práce je pojednat o pístových leteckých motorech – konkrétně dvoudobých vznětových. Popsat specifika těchto motorů a rovněž popsat jejich vývoj v historickém kontextu.

Nejprve jsou uvedeny požadavky kladené na pístové letecké motory a jejich rozdělení. Následuje seznámení s principem funkce dvoudobého vznětového motoru a jeho odlišnosti od motoru čtyřdobého a motoru zážehového. Dále se práce zabývá historickým vývojem dvoudobých vznětových leteckých motorů v kontextu s vývojem pístových leteckých motorů obecně. Uvádí konstrukční řešení nejznámějšího dvoudobého vznětového leteckého motoru Jumo 205 a obecně porovnává motory dvoudobé vznětové s jejich konkurenty – motory čtyřdobými zážehovými.

Na závěr jsou uvedeny soudobé konstrukce a nastíněn možný vývoj tohoto typu motoru.

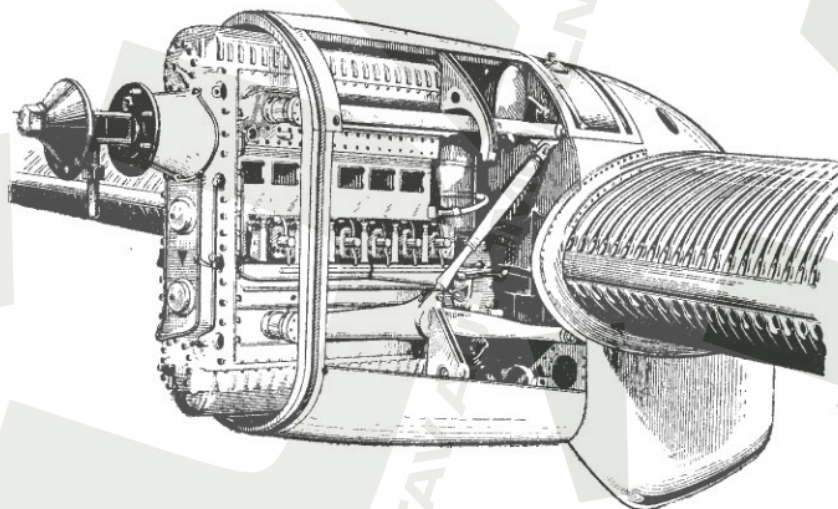
2. Požadavky kladené na pístové letecké motory

Jak jest uvedeno v knize „Letadlové motory“ od autorů Kocába a Adamce - nejdůležitější požadavky určující konstrukci pístového letadlového motoru jsou [1]:

- a) dostatečný výkon motoru
- b) výškovost podle účelu letounu
- c) malá hmotnost
- d) co největší hospodárnost
- e) malé rozměry
- f) provozní spolehlivost při dostatečně dlouhé životnosti
- g) vyvážení
- h) snadný provoz a obsluha
- i) jednoduchost výroby

Příklady požadavků týkajících se rozměrů pístových leteckých motorů [6]:

- Průměrné čelní plochy hvězdicových motorů by měly být v rozmezí cca 1,2 m² až 1,7 m²
- Průměrné čelní plochy V motorů by měly být v rozmezí 0,6 m² až 0,8 m² (uvedeno bez chladičů)



Obr. 1 Umístění motoru JUMO 205 na křídle letadla [5]

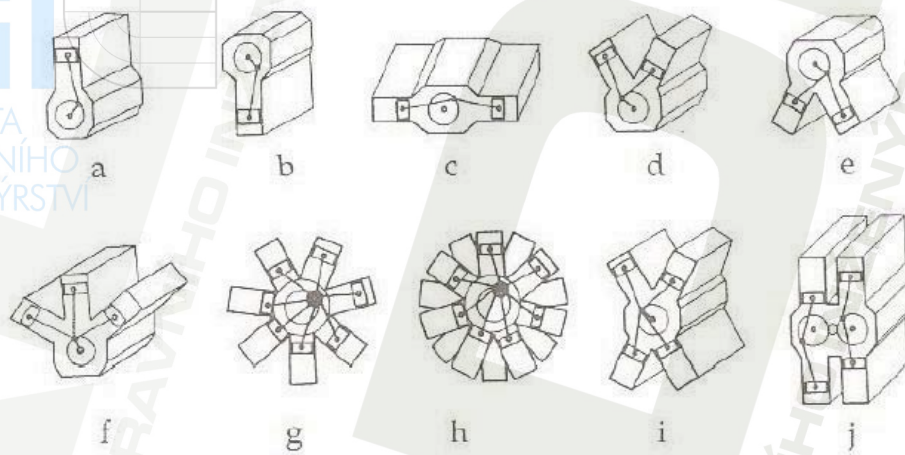
3. Rozdělení pístových leteckých motorů

Kniha „Letačové motory“ dále uvádí následující rozdělení pístových motorů letadel dle těchto hledisek [1]:

1. Druh paliva:
 - a) motory na lehké palivo – motory zážehové
 - b) motory na těžké palivo – motory vznětové
2. Pracovní oběh:
 - a) motory čtyřdobé
 - b) motory dvoudobé
3. Uspořádání válců:
 - a) motory řadové
 - jednořadové stojaté
 - jednořadové visuté (invertní)
 - dvouřadové stojaté (motor V)
 - dvouřadové visuté
 - dvouřadové s protilehlými válci (ploché)
 - třířadové (motor W)
 - čtyřřadové (motor H nebo X)
 - b) motory hvězdicové
 - jednohvězdicové
 - několikahvězdicové
4. Počet válců
5. Způsob chlazení:
 - a) motory chlazené vzduchem
 - b) motory chlazené kapalinou
6. Změna výkonu s výškou:
 - a) motory výškové
 - b) motory nevýškové
7. Účel a výkon:
 - a) motory malého výkonu
 - b) motory středního výkonu
 - c) motory velkého výkonu

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Na následujícím obrázku (obr. 2) jsou zobrazeny uspořádání válců, jež jsou uvedeny v předchozím textu.



a – jednořadový stojatý

b – jednořadový invertní

c – dvouřadový s protilehlými válci

d – dvouřadový stojatý

e – dvouřadový invertní

f – třířadový (motor W)

g – jednohvězdicový

h – dvouhvězdicový

i – čtyřřadový (motor X)

j – čtyřřadový (motor H)

Obr. 2 Uspořádání válců letadlových pístových spalovacích motorů [1]



4. Teorie dvoudobých vznětových leteckých motorů

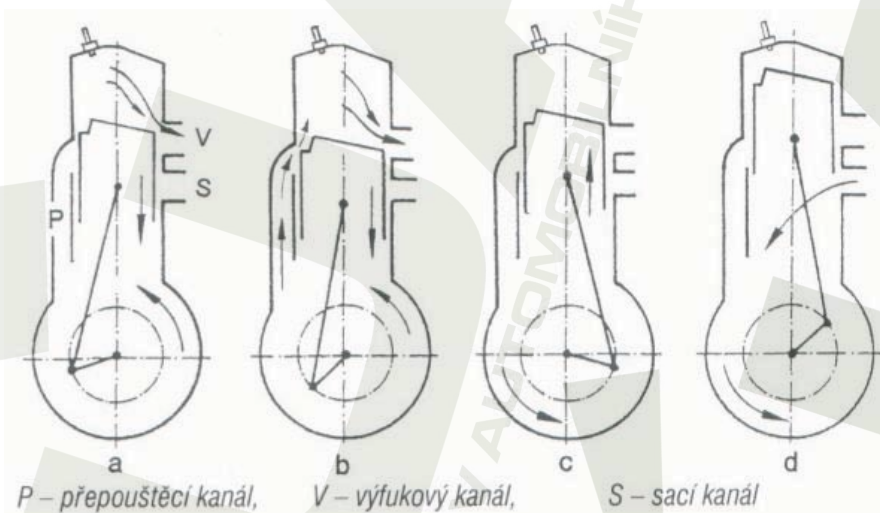
4.1 Princip funkce dvoudobého vznětového motoru

U dvoudobého motoru proběhne pracovní oběh během dvou zdvihů pístu tj. během jednoho otočení klikového hřídele. Jako palivo slouží nafta. Tyto motory se staví jako přeplňované. Válec je opatřen jedním nebo více výfukovými kanály, plnění válce čerstvým vzduchem se uskutečňuje plnicími kanály. Nafta se do válce vstříkuje tryskami. [7]

4.1.1 Pracovní oběh dvoudobého motoru zážehového (benzinového)

Pro komplexní pochopení rozdílů dvoudobého vznětového motoru od dvoudobého zážehového motoru nejdříve popíšeme pracovní oběh motoru dvoudobého zážehového.

Pracovní oběh dvoudobého motoru proběhne během jednoho otočení klikového hřídele, tj. v průběhu dvou zdvihů pístu. Dvoudobý motor oproti motorům čtyřdobým nemá ventily ani obvyklé rozvody. Stlačení čerstvé náplně se uskutečňuje v klikové skříni, viz. obr. 3. Činnost ventilů je nahrazena pístem a jednotlivými kanály, což je u dvoudobých motorů obvyklé. [1]



Obr. 3 Schéma práce dvoudobého zážehového spalovacího motoru tříkanálového [1]



Na obr. 3 je vidět, jak se působením spalín píst pohybuje z horní do dolní úvrati. Nad pístem dochází k rozpínání spalín, jejich tlak a teplota klesají. Probíhá **expanzní zdvih** a koná se práce. V okamžiku, kdy horní hrana pístu odkryje výfukový kanál začíná pochod plnění válce. Spaliny mají vysoký tlak, a proto unikají výfukovým kanálem z válce ven. Nastává fáze **výfuk** (obr. 3a). Tato fáze trvá do okamžiku, než se otevře přepouštěcí kanál, jímž začne vtékat čerstvá náplň a dojde k **výplachu válce** (obr. 3b), během výplachu jsou oba kanály otevřeny a trvá do okamžiku uzavření přepouštěcího kanálu, tj. i v době **kompresního zdvihu**. Po uzavření přepouštěcího kanálu unikne část čerstvé náplně z válce kanálem výfukovým, dokud není uzavřen (**dodatečné vyprazdňování válce**). Potom nastává **stlačování** (obr. 3c). Před dosažením horní úvrati se zažehne svíčka a dojde k zapálení náplně (směs paliva - benzínu se vzduchem). Tlak spalín způsobí pohyb pístu dolů, tj. **expanzní zdvih**. Před dosažením dolní úvrati se otevře výfukový, potom přepouštěcí kanál a cyklus se opakuje.

V klikové skříně vzniká podtlak a nastává sání (obr. 3d), kdy náplň proudí sacím kanálem otevřeným spodní hranou pístu do skříně.

Aby se co nejvíce omezil únik čerstvé náplně do výfukového kanálu, jsou používány u některých pístů tzv. deflektory, nebo jsou používány písty s plochým dnem. [1]

Rovněž, aby k těmto ztrátám nedocházelo, uzavírá se u některých konstrukcí motorů nejdříve kanál výfukový a teprve potom přepouštěcí – **nesymetrický rozvod**. [1]

4.1.2 Vznětový motor

Do válce při výplachu válce (nebo sání - u čtyřdobých) přichází pouze čistý vzduch, ten se při kompresi zahřívá a před horní úvrati se do prostoru válce vstříkne vysokotlakým palivovým čerpadlem palivo – nafta. Palivo se v zahřátém vzduchu (nad zápalnou teplotu) samo vznítí.

Vznětový motor má lepší tepelnou účinnost. [1]

U těchto motorů bývá vysoký kompresní poměr ($\epsilon = 13$ až 18), díky tomu je teplota vzduchu ve válci na konci komprese dostatečná při příslušném tlaku pro včasné vznícení paliva. Nebezpečí detonací, které by při takto velkých kompresních poměrech vznikaly, nehrozí díky tomu, že je válec plněn jen čistým vzduchem a ne směsí paliva se vzduchem, tedy po dobu komprese není palivo ve válci přítomno. [4]

Ve vznětovém motoru by při současném vznícení většího množství paliva mohlo vzniknout rázové namáhání. Při postupné dodávce paliva do válce se rázové namáhání zvětšuje úměrně s prodlevou vznícení. *Prodleva vznícení* je tak velmi důležitým činitelem, který má vliv na spalování paliva od začátku vstřiku paliva do válce. Čím větší je prodleva vznícení, tím více paliva se „nashromáždí“ ve válci k začátku vznícení a tím více bude stoupat tlak plynů při spalování – motor bude pracovat „tvrději“, nastane výrazné rázové namáhání. Tento tvrdý běh je mnohdy nesprávně nazýván jako detonace. [4]

Měkkého průběhu spalovacího procesu lze docílit zmenšením prodlevy vznícení. Tohoto zkrácení prodlevy vznícení se dosahuje různými způsoby. Například zvýšením teploty vzduchu v okamžiku vstřiku paliva – zvětšením kompresního poměru nebo žhavicí svíčkou (žhavicím vláknem). Dále použitím paliv nižší teploty vznícení nebo zmenšením rozměrů kapiček paliva vstřikovaného do spalovacího prostoru – rychlejší prohřátí a lepší promíšení se vzduchem. [4]

Vstřík paliva do válce vznětového motoru probíhá obvykle s předstihem před horní úvratí 10° až 40° ke konci komprese. Velikost předstihu vstřiku se výrazně projevuje na průběhu pracovního oběhu. Čím blíže k horní úvratí začíná vstřík paliva, tím větší množství paliva se díky delšímu trvání dodávky paliva do válce a prodlevy vznícení spaluje až po horní úvratí během expanze, což zhoršuje účinnost motoru.

Tedy větší předstih účinnost motoru zlepšuje, ale stoupá při tom maximální spalovací tlak. Příliš velký předstih vstřiku vede k prudkému poklesu účinnosti a výkonu motoru, protože způsobuje maximální zvětšení tlaku plynů ještě při pohybu pístu k horní úvratí. [4]

Relativně dokonalého spálení paliva vstříknutého do válce na konci kompresního zdvihu lze i při horším rozprášení dosáhnout díky poměrně velkému přebytku vzduchu ve spalovacím prostoru. Proto je u letadlových naftových motorů součinitel přebytku vzduchu při jmenovitém výkonu cca 1,5 až 1,8. Pokud součinitel přebytku vzduchu klesá pod tyto hodnoty za jinak stejných podmínek, pak se prudce zhoršuje dokonalost spalování (směs dohořívá ještě během výfuku), motor se přehřívá a klesá jeho účinnost, výkon i životnost. [4]

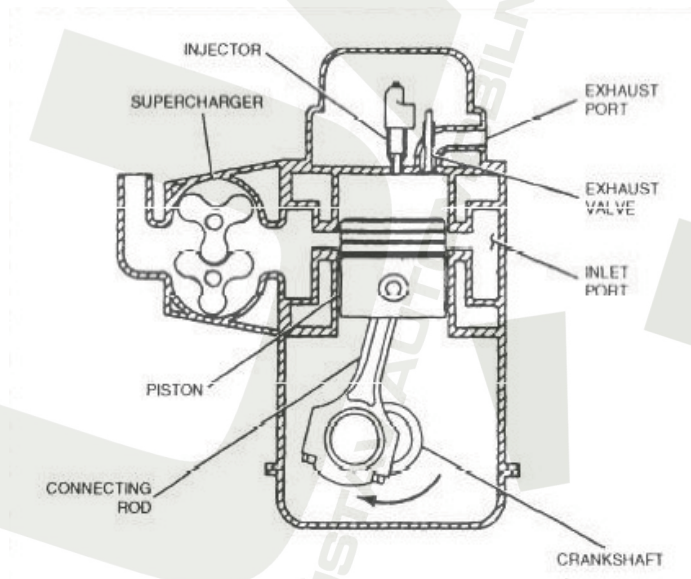
4.1.3 Pracovní oběh dvoudobého motoru vznětového (naftového)

Tyto motory jsou obvykle dvoukanálové, tzn. nejsou plněny z klikové skříně jsou vyplachovány díky dmychadlu připojenému na plnicí kanály. [1]

Díky tomu též tolik nezatěžují životní prostředí – dvoudobé vznětové motory nespalují směs paliva, vzduchu a oleje jako motory dvoudobé zážehové, které musí spalovat směs paliva a oleje, kvůli zajištění mazání klikové skříně pod pístem. V tomto případě jsou ložiska klikového hřídele mazána stejně jako u čtyřdobého motoru v uzavřeném okruhu. [1]

Jak již bylo podobně řečeno v 4.1.2 - od čtyřdobých motorů se pracovní oběh dvoudobého motoru vznětového liší způsobem výměny náplně. Zatímco u čtyřdobého motoru probíhá výfuk zplodin spalování z válce a jeho naplňování vzduchem postupně za sebou během dvou zdvihů pístu, probíhají u dvoudobého motoru tyto pochody během menší části expanzního a kompresního zdvihu (při poloze pístu kolem dolní úvratí), přičemž větší část probíhá současně – společný pochod výměny náplně válce (tzv. výplach válce). [4]

Obr. 4 popisuje dvoudobý vznětový motor s ventilem pro výfuk, kde je: supercharger – dmychadlo, piston – píst, connecting rod – ojnice, crankshaft – kliková hřídel, injector – vstřikovací tryska, exhaust port – výfukový otvor, exhaust valve – výfukový ventil, inlet port – plnicí kanál.

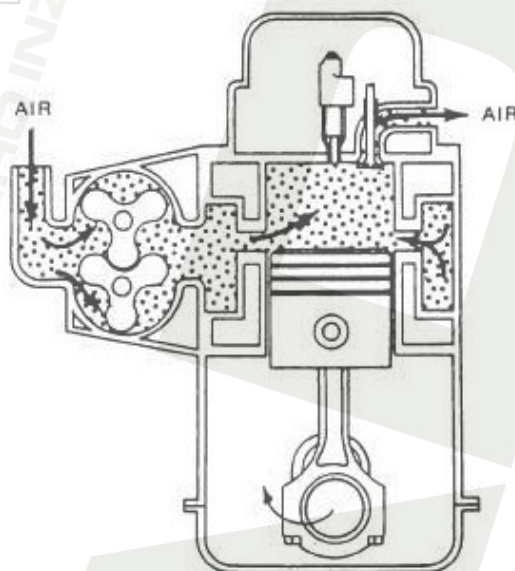


Obr. 4 Dvoudobý vznětový motor s ventilem pro výfuk [9]

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

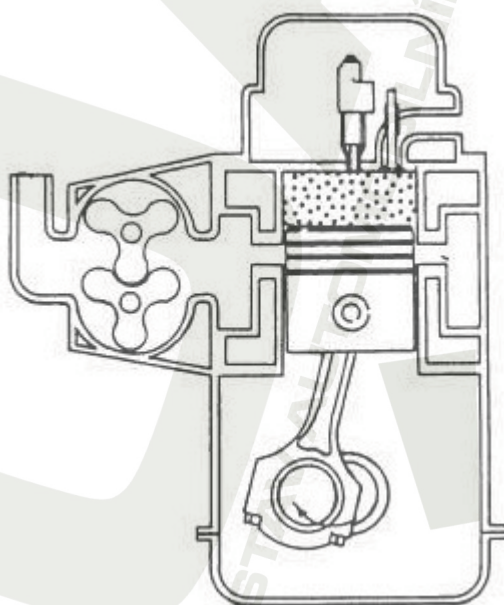
Pracovní oběh dvoudobého motoru vznětového má tedy podobný průběh jako pracovní oběh motoru dvoudobého zážehového. Na následujících obrázcích je znázorněn průběh pracovního oběhu dvoudobého motoru vznětového s ventilem pro výfuk.

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ



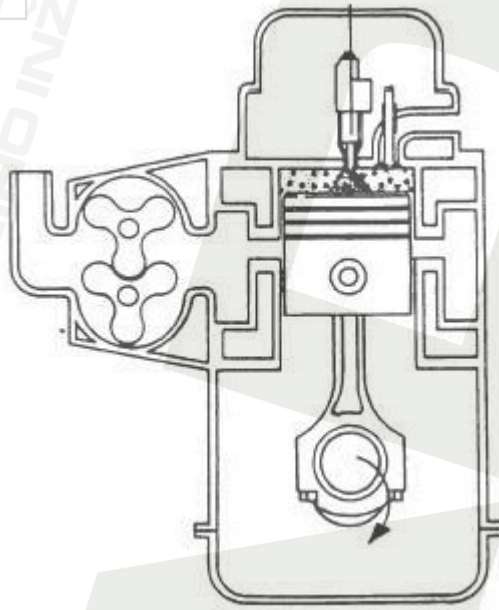
Obr. 5 Výplach válce [10]

Na obr. 5 je píst v dolní úvrti, probíhá **výplach válce** – do prostoru válce vstupuje plnicím kanálem z dmychadla čerstvý vzduch a vytlačuje spaliny skrze otevřený výfukový ventil.



Obr. 6 Kompresní zdvih [10]

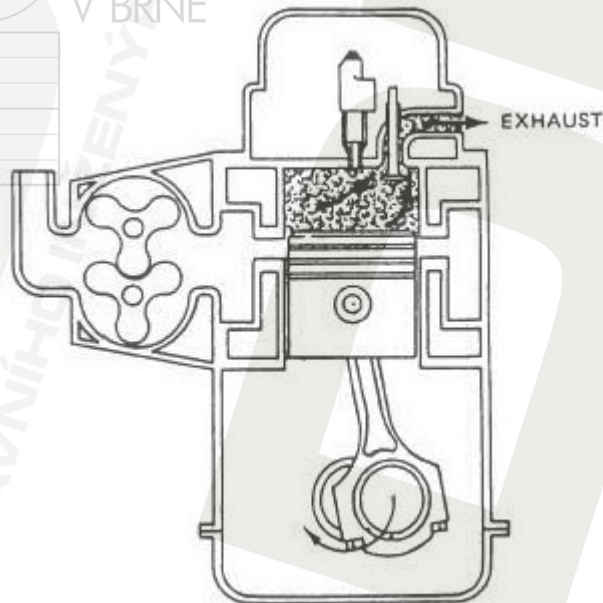
Na obr. 6 se píst pohybuje z dolní úvrati směrem k horní úvrati, probíhá **kompresní zdvih** – píst uzavřel plnicí kanál, výfukový ventil je taktéž uzavřen a vzduch ve válci je stlačován a tím i zahříván.



Obr. 7 vstřík paliva (nafty) - vznícení [10]

Na obr.7 je píst v horní úvrati a dochází k **vstříku paliva a vznícení**. Těsně před dosažením horní úvrati je do vzduchu stlačeného a zahřátého nad zápalnou hodnotu vstříknuto vstříkovací tryskou palivo (nafta), které se vznítí a dojde k hoření směsi paliva se vzduchem.

Je konána práce - chemická energie paliva se již přeměňuje na tepelnou a tlakovou při působení rozpínajících se zplodin hoření na píst, který ji transformuje na mechanickou – píst se pohybuje z horní úvrati k dolní a skrze pístní skupinu se přeměňuje získaný translační pohyb pístu na odebíraný kroutcí moment z klikového hřídele motoru.



Obr. 8 Volný výfuk [10]

Na obr. 8 následuje **volný výfuk**. Píst se pohybuje pod tlakem spalin k dolní úvratí a začne otevírat plnicí kanál. Těsně před tím se ale už otevřel výfukový ventil, kterým již začínají unikat spaliny.

Na obr. 9 je zobrazen diagram časování tohoto dvoudobého vznětového motoru. Bod TDC (Top Dead Centre) představuje HORNÍ ÚVRAŤ, bod BDC (Bottom Dead Centre) je DOLNÍ ÚVRAŤ.

Úhly jednotlivých bodů před horní úvratí (TDC) tj. od bodu TDC proti smyslu otáčení hodinových ručiček jsou přibližně:

- pro bod 2 – 10°
- pro bod 1 – 110°
- pro bod 6 – 140°

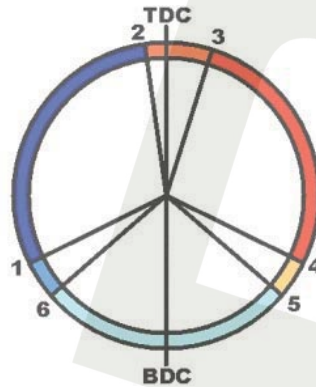
Úhly jednotlivých bodů následujících po horní úvratí (TDC) tj. od bodu TDC ve smyslu otáčení hodinových ručiček jsou přibližně:

- pro bod 3 – 12°
- pro bod 4 – 110°
- pro bod 5 – 140°

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

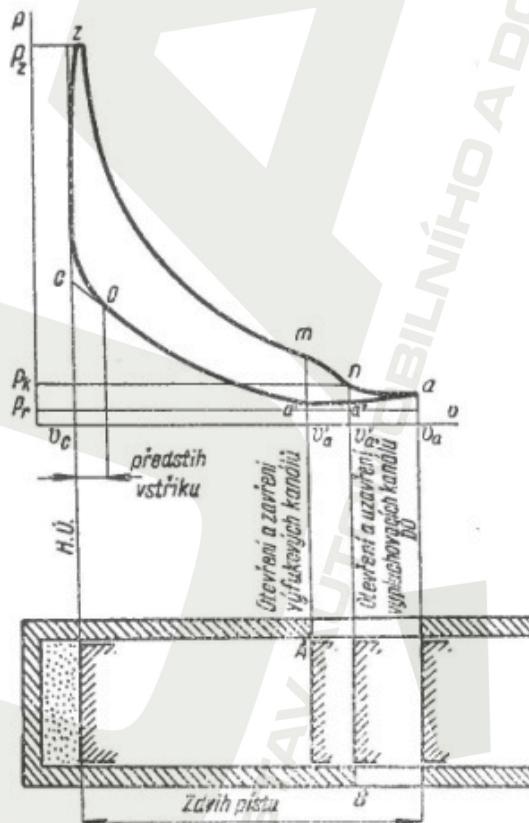
Mezi jednotlivými body probíhá:

1-2 kompresní zdvih; 2-3 vstřik paliva (nafty) – vznícení; 3-4 expanzní zdvih;
4-5 volný výfuk; 5-6 výplach válce; 6-1 oblast uzavřeného výfukového kanálu a otevřeného plnicího.



Obr. 9 Diagram časování dvoudobého vznětového motoru [8]

Na následujícím obrázku je pro představu zobrazen indikátorový diagram dvoudobého vznětového motoru. Tento motor má, jak vidno, výplachovací kanál a kanál výfuku ve stěně válce.



Obr. 10 Indikátorový diagram dvoudobého vznětového motoru [4]

4.2 Konstrukční zvláštnosti dvoudobého vznětového motoru

Dvoudobé vznětové motory mají různá konstrukční uspořádání, lišící se uspořádáním válců i rozvodovým ústrojím. [4]

Tyto motory mají poměrně malý objem vzduchu na konci komprese, kvůli velkému kompresnímu poměru. Dále tyto motory mají rychlejší vzestup tlaku oproti zážehovým motorům a větší maximální tlak, což vede k většímu namáhání hlavních částí klikového ústrojí, pístní skupiny a bloku motoru. Proto se tyto části konstruují mohutnější, a to vede k větším hmotnostem, s čímž souvisí vznik větších setrvačných sil a tedy i větší namáhání ložisek, klikových čepů atd. Na druhou stranu mají výfukové plyny nižší teplotu a i rozložení teploty v hlavě válce je rovnoměrnější. [4]

Podmínky, za kterých pracuje píst, jsou nepříznivější, než u zážehových motorů, nehledě k nižší teplotě spalin. Je to způsobeno zvláštními okolnostmi, za kterých tyto písty pracují. Zejména to je větší hustota plynů v horní úvrati (větší kompresní poměr), to zvětšuje přestup tepla do pístu během spalování. Taktéž tu máme relativně velkou vůli mezi pístem a válcem, což zhoršuje odvod tepla z pístu. Větší deformace válce a pístu, vznikající tlakem plynů, to umožňuje větší pronikání plynů do skříně a tím tedy opět ohřev pístu. Často také tvarem dna pístu, jehož zvětšený povrch je ve styku s plynem ve válci – opět větší zahřívání pístu. [4]

Toto velké tepelné namáhání pístů a pístních kroužků vznětových leteckých motorů omezovalo jejich životnost a možnost zvětšovat výkon. [4]

Poměrně velká spotřeba vzduchu na jednotku efektivního výkonu způsobuje, že velká část výkonu motoru se spotřebuje pro kompresor, proto je vhodné používat turbokompresory, které mají nižší spotřebu díky využití energie spalin výfuku. [4]

Výkon spouštěcího zařízení vznětových motorů musí být větší, protože zvláště při nízkých teplotách okolního vzduchu je spouštění vznětového motoru obtížnější, což je dáno větší hodnotou krouticího momentu potřebného pro protočení motoru (vlivem většího kompresního poměru), tak i nutností dosáhnout při spuštění poměrně velkého počtu otáček, aby na konci komprese byla teplota vzduchu dostatečná k samovznícení paliva. Při spouštění stlačeným vzduchem je potřeba, aby tlak i

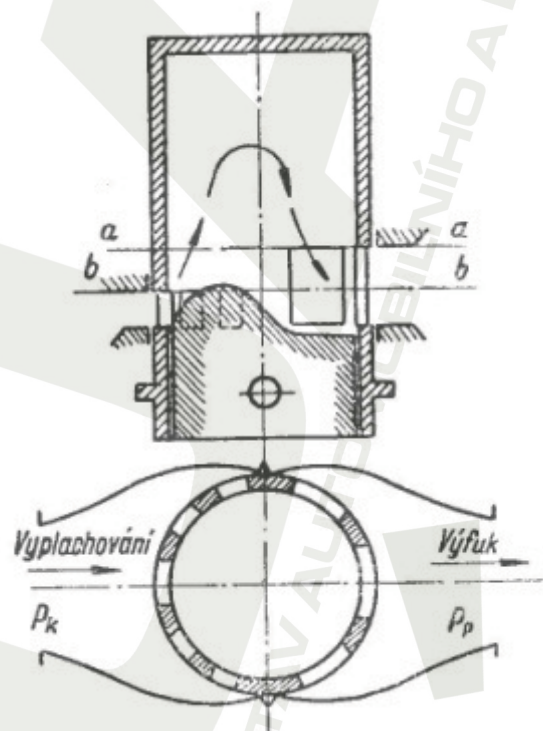
množství vzduchu byly větší než u zážehových motorů. První vznícení paliva usnadňují rovněž žhavicí svíčky. [4]

Ostatní části vznětových motorů – pohony, agregáty, pomocná ústrojí atd. se svou činností ani konstrukcí neliší od obdobných částí zážehových motorů, vyjma palivových soustav. [4]

4.2.1 Vratné vyplachování

Vratné vyplachování je takový způsob plnění (a zároveň výfuku), kdy výfukové a vyplachovací kanály jsou umístěny v řadě ve spodní části válce, čímž je vyplachovací vzduch nucen konat ve válci vratný pohyb. [4]

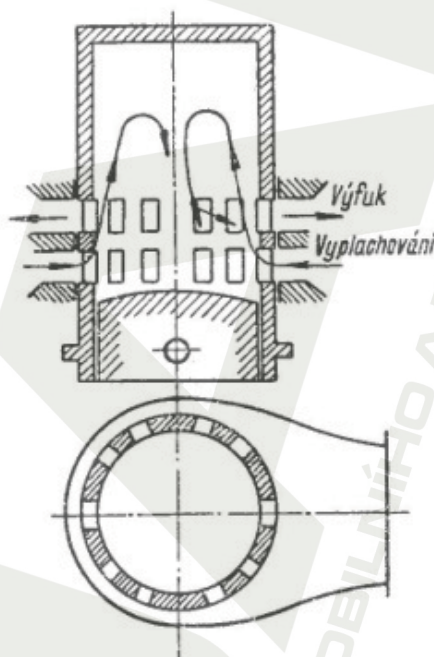
Na obr. 11 je nejjednodušší způsob vratného vyplachování. Při tomto vyplachování jsou na jedné straně válce umístěny vyšší výfukové kanály, spojené se společným výfukovým potrubím. Na druhé straně jsou nižší vyplachovací kanály spojené s přívodem vyplachovacího vzduchu, který se dodává plnicím kompresorem (dmychadlem). [4]



Obr. 11 Schéma vratného šterbinového vyplachování [4]

Píst na obr. 11 je opatřen nálitkem, aby se celý objem válce lépe vypláchl a aby se zamezilo přímému průtoku čerstvého vzduchu do výfukového kanálu, aniž by se vypláchl horní část válce. Ale i přesto ve válci zůstane cca 15% až 25% spalin. [4]

Dalším způsobem vratného vyplachování je tzv. *vyplachování fontánové*, jež je na následujícím obrázku – obr. 12. V tomto případě nejsou výfukové kanály umístěny na protilehlé straně proti kanálům vyplachovacím ve spod válce, ale nad nimi. Zároveň jsou jednotlivé kanály rozmístěny po celém obvodu válce. Vyplachování probíhá stejně jako u předchozího typu. Výhodou fontánového oproti předchozímu je rovnoměrnější tepelné namáhání pístu, který se u předchozího typu vyplachování na jedné straně ohřívá výfukovými plyny a na druhé je ochlazován vyplachovacím vzduchem. [4]



Obr. 12 Schéma vratného vyplachování tzv. „fontánového“ [4]

Hlavní výhodou dvoudobých vznětových motorů s vratným vyplachováním je jejich konstrukční jednoduchost, protože tyto motory nepotřebují zvláštní rozvodové ústrojí. Činnost tohoto ústrojí vykonává sám píst, který otevírá a zavírá jednotlivé kanály. [4]

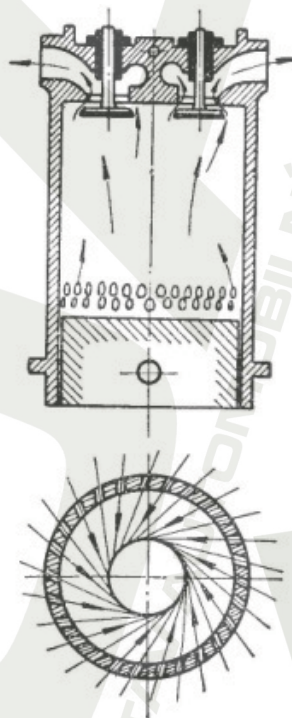
Nevýhodou těchto motorů je malý litrový výkon, vznikající jak nedokonalým odstraněním spalin z válce (což zmenšuje objemovou účinnost), tak i nemožnost přeplňování. To zapříčiňuje jejich velkou měrnou váhu, a proto se tyto motory nehodí pro letadla. [4]

4.2.2 Motory se souproutým vyplachováním a ventily

Oproti vratnému vyplachování je mnohem dokonalejší souprouté vyplachování, při němž jsou ventily v hlavě (obr.13). U tohoto způsobu vyplachování válce motoru jsou obvykle vyplachovací kanály dole po obvodu válce. Výfukové ventily jsou v hlavě válce. [4]

Jak uvádí Maslennikov s Rapiortem ve své knize „Letadlové pístové motory“ – souprouté vyplachování s ventily odstraňuje dva hlavní nedostatky vratného vyplachování [4]:

- proud vyplachovacího vzduchu se nepohybuje vratně, ale přímo, tím se dosáhne dokonalejšího vypláchnutí válce od spalin.
- otvírání a zavírání výfukových ventilů nezávisí na otvírání a zavírání vyplachovacích kanálů, takže lze uzavřít výfukové ventily dříve, než píst zakryje vyplachovací kanály. Proto je v tomto případě možné zvýšit tlak ve válci v okamžiku začátku komprese, tedy je možné motor přepřlohat.



Obr. 13 Schéma souproutého vyplachování s ventily [4]

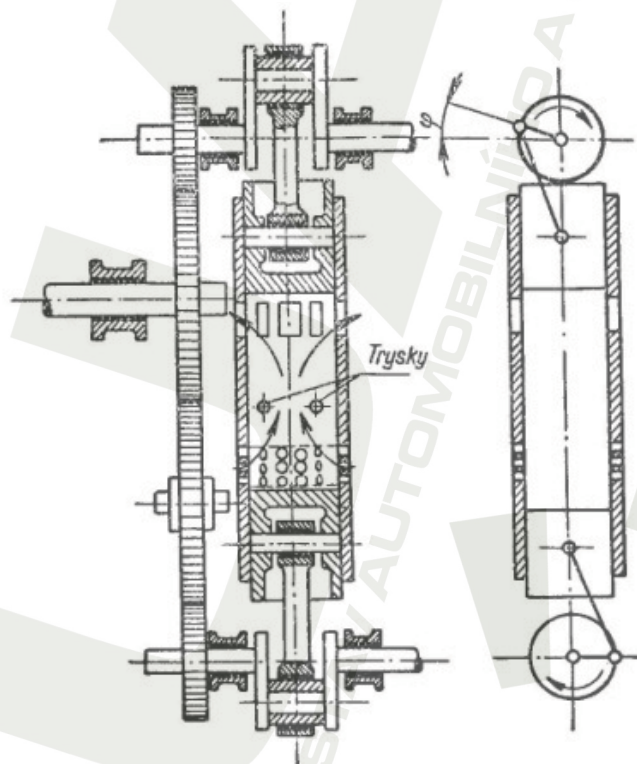
Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Tento způsob vyplachování umožňuje zvětšit výkon motoru zvětšením vyplachovací tlaku, což je důležité pro letecké motory velkých výkonů. Další výhodou souproutého vyplachování s ventily, při uspořádání vyplachovacích kanálů ve stěně válce, je možnost vytvořit intenzivní vířivý pohyb plnicího vzduchu ve válci. Důležitou konstrukční výhodou je menší tepelné namáhání pístu vzhledem k omývání jeho dna i horní části jeho pláště chladným vyplachovacím vzduchem. [4]

Oproti vratnému vyplachování je relativním nedostatkem souproutého vyplachování s ventily složitější konstrukce motoru, protože tento typ motoru má ventilové rozvody. Kinematické podmínky práce ventilových rozvodů jsou u dvoudobých motorů nepříznivější než u motorů čtyřdobých, protože se ventily otevírají u motorů dvoudobých dvakrát častěji a rovněž rychlosti zdvihu ventilu jsou vyšší. Tím vznikají větší setrvačné síly a tím více jsou namáhány rozvodová ústrojí. [4]

4.2.3 Motory se souproutým vyplachováním a s protiběžnými písty

Nejpoužívanějším konceptem leteckého dvoudobého vznětového motoru je motor se souproutým vyplachováním a s protiběžnými písty viz. obr. 14. [4]



Obr. 14 Schéma souproutého vyplachování s protiběžnými písty [4]

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Ve válci se proti sobě pohybují dva písty spojené ojnicemi s klikovými hřídeli, uloženými na obou stranách válce. Kliky jsou seřizeny tak, aby se písty pohybovaly protiběžně, to znamená, že se k sobě ve stejném okamžiku přibližují nebo se od sebe oddalují. Pracovní prostor válce je mezi dny obou pístů, jeho objem se mění s polohou těchto protiběžných pístů. Jeden z pístů řídí otevírání a zavírání výfukových kanálů a druhý kanálů vyplachovacích. Při tomto způsobu vyplachování nastává souproudeé vyplachování, díky čemuž se spaliny z válce dokonale odstraňují. Aby po vhodně zvoleném začátku výfuku nastal dostatečně velký pokles tlaku od okamžiku otevření vyplachovacích kanálů, musí se výfukové kanály otevírat o trochu dříve. Aby toto bylo zajištěno jsou výfukové kanály umístěny blíže středu válce, než kanály vyplachovací. [4]

Avšak ani v tomto případě nemůže být motor přeplňován. Proto aby přeplňování motoru bylo možné, natáčejí se kliky hřídelů proti sobě (o úhel 8° až 15°), takže píst otevírající výfukový kanál dosahuje své úvratí dříve než píst zakrývající vyplachovací kanály (obr. 14). V tomto případě jsou výfukové a vyplachovací kanály přibližně stejně daleko od vnitřních úvratí protiběžných pístů. Díky tomu se výfukové kanály otevírají a zavírají dříve než vyplachovací kanály, tak nastává předstih výfuku a motor je možné přeplňovat. [4]

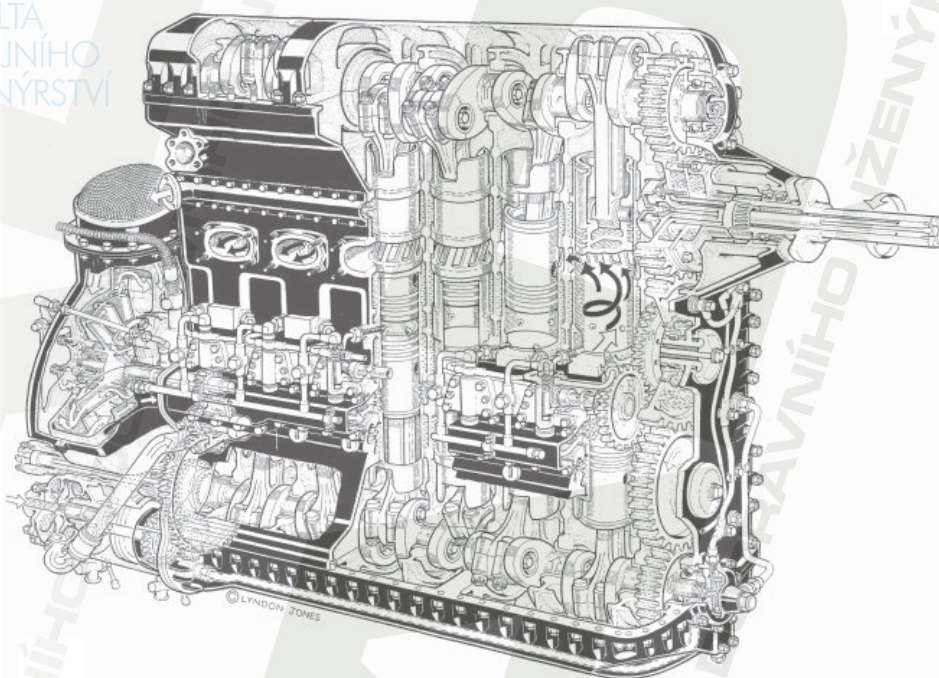
U tohoto typu motoru jsou vyplachovací kanály vytvořeny z mnoha otvorů malého průměru a jejich osy jsou skloněny vzhledem k průměru válce, čímž vzniká ve válci intenzivní víření vyplachovacího vzduchu. [4]

Největší výhodou motoru s protiběžnými písty je dokonalé vyplachování válce, dále dobré tvoření směsi, menší tepelné ztráty odvodem tepla chladicí kapalinou (nejsou zde žádné hlavy válců, které by bylo potřeba chladit), a to, že zde není žádné rozvodové ústrojí. [4]

Nevýhodou těchto motorů je nepříznivé namáhání pístů, jejichž dna a boční stěny jsou při odkrývání výfukových kanálů omývány výfukovými plyny (spalinami). Kvůli velkému tepelnému namáhání pístů musí být jejich konstrukce složitější a těžší. [4]

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Na následujícím obrázku (obr.15) je zobrazen dvoudobý vznětový letecký motor se souproudým vyplachováním a s protiběžnými písty JUNKERS JUMO 205D. Tomuto ohromnému motoru bude věnována samostatná kapitola.



Obr. 15 JUNKERS JUMO 205D [11]

5. Historický přehled

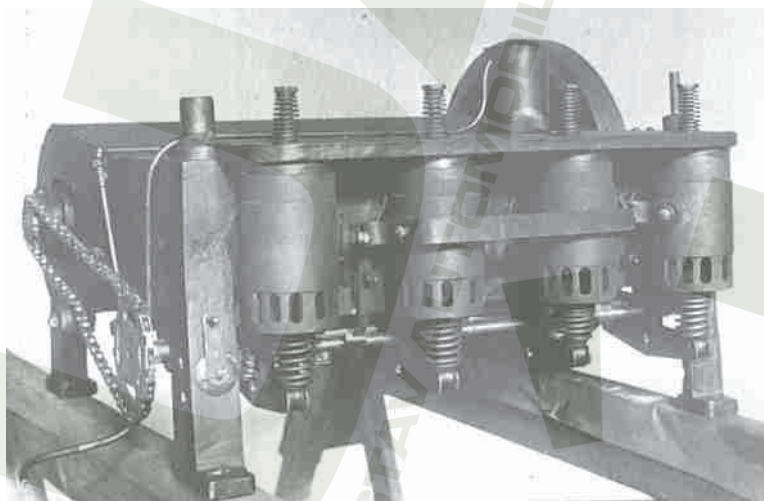
5.1 Historický přehled vývoje letadlových pístových motorů obecně

Teprve v minulém století se díky rozvoji přírodních věd podařilo zdokonalit tepelné stroje tak, že byly zkonstruovány první motory použitelné v letectví.

První motorový let letadla těžšího než vzduch uskutečnili bratři Wilbur a Orville Wrightové 17.12. 1903 v USA. Letadlo jejich konstrukce „Flyer I“ bylo poháněno benzinovým motorem o výkonu pouhých 8,8kW a hmotnosti přibližně 100kg. [1]



Obr. 16 Flyer I [12]



Obr. 17 Motor letadla Flyer I [13]

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

V následujících letech nastal v oblasti letadlových motorů prudký vývoj. Nově vznikaly letadlové pístové motory chlazené kapalinou, nebo vzduchem (např. motor Anzani – s ním Blériot roku 1909 přelétá jako první Lamanšský kanál). [1]

V letech před první světovou válkou, a po ní, vzniklo mnoho pístových motorů s různým uspořádáním válců, ale jednalo se hlavně o motory čtyřdobé a zážehové. Výkon motorů i jejich spolehlivost rostly, ale hmotnost motoru připadající na jednotku výkonu klesala.

V letech 1909 až 1912 se zvětšila doba letu až trojnásobně na zhruba dvanáct hodin a dosažená rychlost letu činila $170\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. [1]

Z důvodů lepšího chlazení vzduchem vznikla koncepce rotačního hvězdicového motoru. Jeho válce rotují zároveň s pevně připevněnou vrtulí. Do výkonu 110kW mají výhodu bezproblémového chlazení. Se zvyšujícím se výkonem a vahou jejich výhody ustupují do pozadí. Velká rotující hmota vyvoluje značný gyroskopický moment, který zhoršuje letové vlastnosti. Konec války znamenal odchod rotačních motorů. V roce 1918 se už chystaly nové pevné hvězdicové motory s výkony až 300kW. [14]



Obr.18 Motor Clerget [14]

Meziválečné období patří motoru Hispano Suiza, jedná se o vodou chlazený osmiválec s válci do „V“ používající již lehké kovy. V licenci se vyráběl i v Československé republice a byl používán i v našich letadlech. [1]



Obr. 19 Motor Hispano Suiza A [14]

V období před druhou světovou válkou dozrává koncepce hvězdicových vzduchem chlazených motorů s pevnými válci.

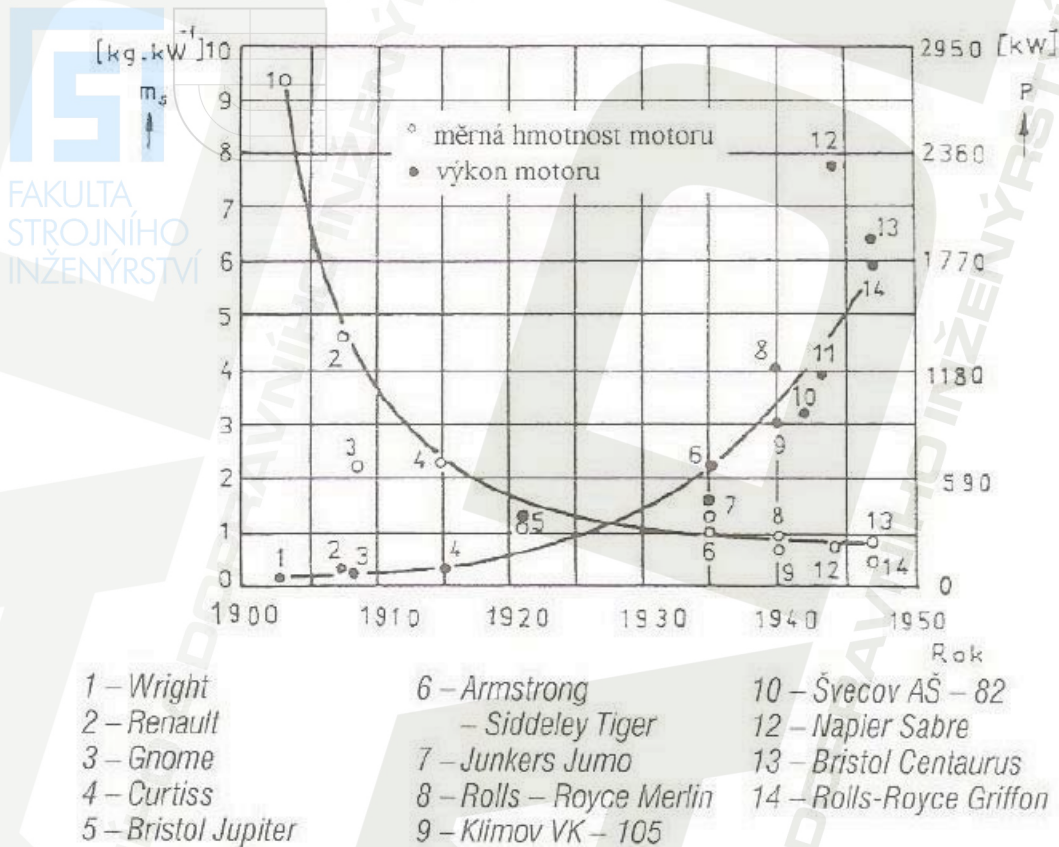
Motory této koncepce jsou již relativně lehké, zároveň výkonné a spolehlivé, což umožňuje rychlý rozvoj civilní letecké přepravy.

V tomto období se objevují v konstrukci letadlových motorů nové prvky. Zavádějí se výškové motory opatřené odstředivým kompresorem. Vlivem zvýšení otáček motorů se rovněž zavádějí reduktory. Začínají se používat stavitelné vrtule. Výkon motorů v druhé polovině třicátých let již překračuje 750kW. [1]

Během 2. světové války, i po jejím konci, rostly výkony letadlových pístových motorů, jak vzduchem, tak kapalinou chlazených, až nejsilnější letadlové pístové motory dosahovaly výkonu 2950kW.

Poté končí éra vysoce výkonných pístových letadlových motorů a nastupují motory letadlové lopatkové proudové.

V dnešní době se používání pístových letadlových motorů omezilo na lehká letadla, jež vyžadují menší výkony. [1]



Obr. 20 Vývoj letadlových pístových motorů [1]

5.2 Historie dvoudobých vznětových leteckých motorů

Ačkoliv jich není mnoho, tak i přesto některé z nejvíce pozoruhodných leteckých motorů, které kdy byly sestrojeny, byly právě motory dvoudobé vznětové. [3]

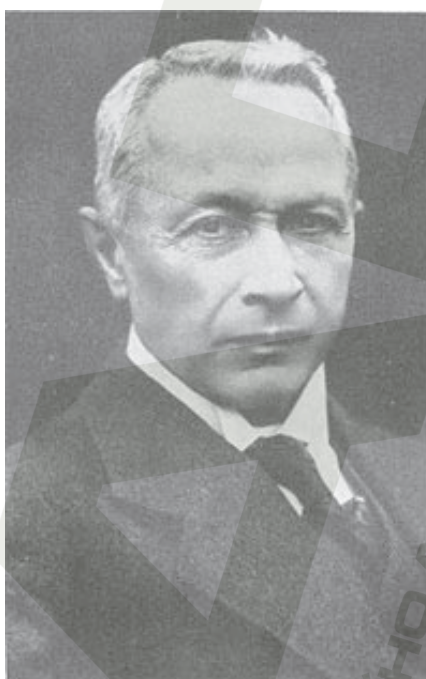
Podle dostupných zdrojů byl započat vývoj vůbec prvního dvoudobého vznětového leteckého motoru ve dvacátých letech minulého století v Německu doktorem Hugo Junkersem, jehož koncepce konstrukce byla pro tento typ motoru klíčová a i dnes se jeví jako velmi vhodná – motor se souprůdým vyplachováním a s protiběžnými písty.

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

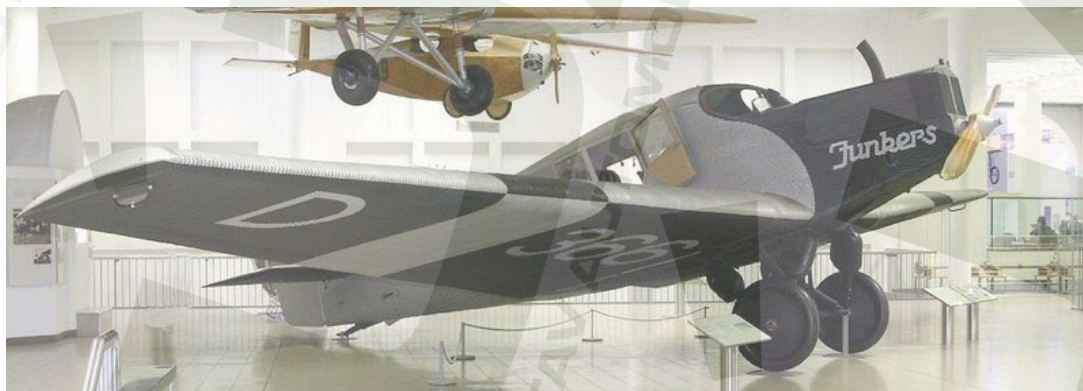
Nejprve bych si dovolil zmínku o tomto konstruktérovi:

Hugo Junkers (03.03.1859 – 05.03.1935)

Byl to německý technik a konstruktér letadel. Vystudoval Technical University of Berlin. Na počátku kariéry experimentoval s motory. Nejvíce slávy mu přineslo konstruování letadel a jejich motorů. Založil vlastní továrnu a mimo jiné vyrobil první celokovový osobní dopravní letoun Junkers F-13 a nebo velmi známý letoun Junkers Ju 52. [16]



Obr. 21 Hugo Junkers [17]



Obr. 22 Junkers F13 [18]



U všech těchto typů motorů (Junkers) je další zvláštností, která zvyšuje jeho váhu a zaviňuje složitější konstrukci, že v jednom bloku válců jsou dva klikové hřídele. Tyto hřídele jsou mezi sebou a navíc s hřídelem vrtule kinematicky vázány pomocí složitého a těžkého převodu ozubených kol – tento převod je zároveň reduktorem. [4]

5.2.2 Junkers Fo4 / Jumo 4 / Jumo 204

Motor s označením Fo4 je dalším vývojovým stupněm motoru Fo3. Byl vyvinut v průběhu roku 1928. Namísto pěti válců má již válců šest. Tedy máme tu další dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty a vertikálně řazenými válci. [20]

Fo4 byl prvním dvoudobým vznětovým motorem, který byl montován na letadla. První let s tímto motorem se uskutečnil 30. srpna 1929 s letounem Junkers F24 (Junkers W41). [20]

Motor Fo4 [20]:

- dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty
- 6 válců (vertikálně řazený v jedné řadě)
- max. výkon je 552kW (751ks)

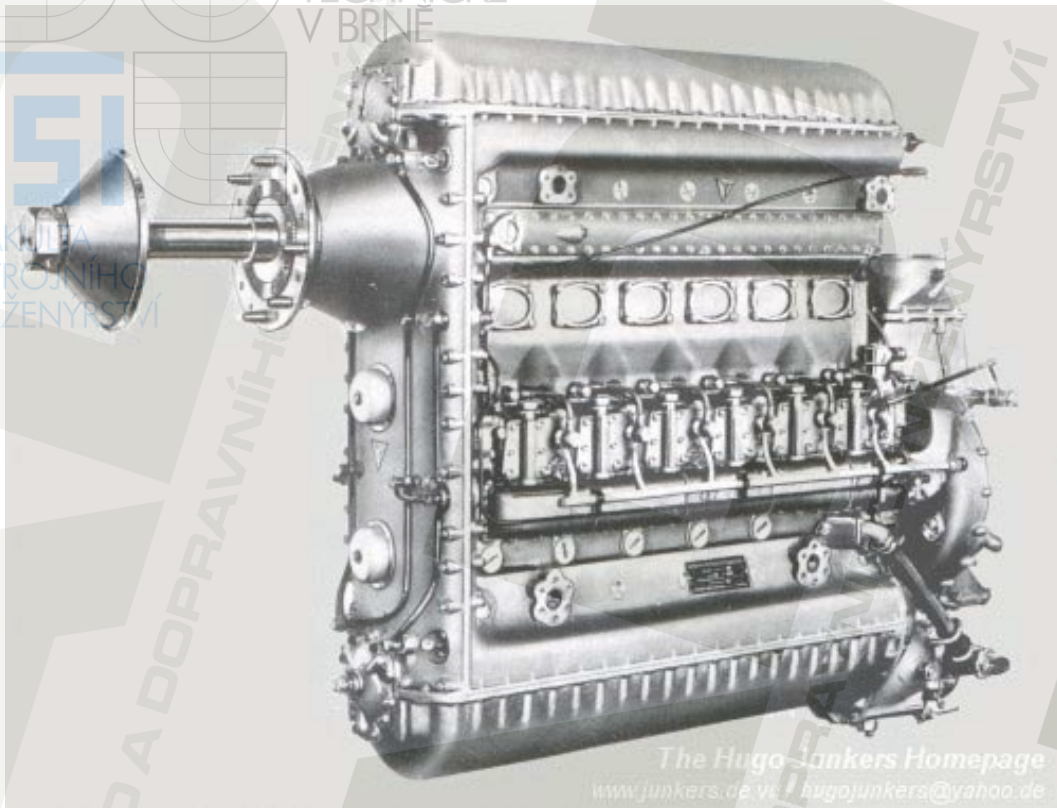
Motor získal certifikaci roku 1930 ve druhém řízení po několika provedených úpravách, ale právě kvůli těmto úpravám nepatrně ztratil na výkonu. [20]

Roku 1931 se změnilo označení motoru „Fo4“ na „Jumo 4“ (motor Fo4 lze taky nalézt pod označením „SL1“). Je to v podstatě stejný motor, jen s nepatrnými změnami a o trochu menším výkonem. [20]

Motor Jumo 4 [20]:

- dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty
- 6 válců (vertikálně řazený v jedné řadě)
- max. výkon je 530kW (721ks)

Tento motor vyráběla pod licencí i československá firma Walter pod označením **Walter Jumo 4**.



The Hugo Junkers Homepage
www.junkers.de / hugojunkers@yahoo.de

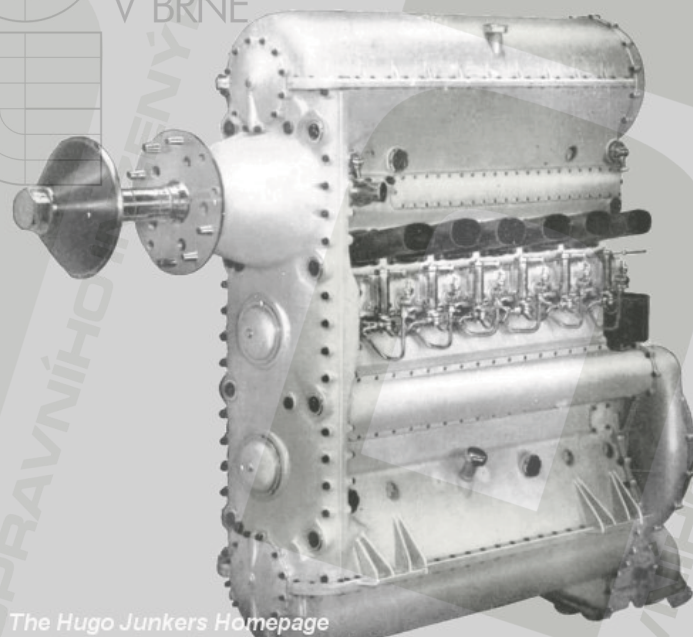
Obr. 24 Junkers Jumo 4 [20]

Posledním vývojovým stupněm této řady motorů byl motor Jumo 204. Ve srovnání s motorem Jumo 4 dostaly písty motoru Jumo 204 koruny z „tepelně odolné“ oceli a díky tomu měl motor menší tepelné ztráty – vyšší výkon. [20]

Motor Jumo 204 [20]:

- dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty
- 6 válců (vertikálně řazený v jedné řadě)
- max. výkon je 552kW (751ks)

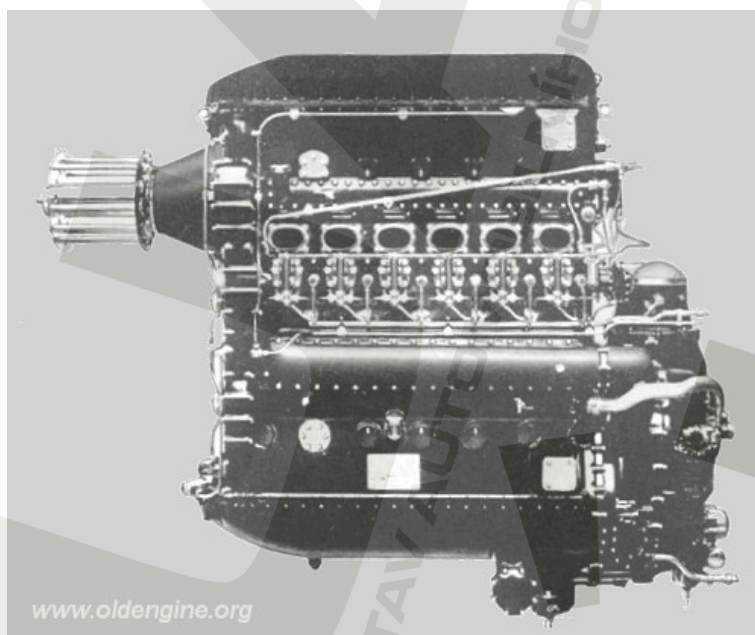
Byly nabízeny tři různé varianty motoru – Jumo 204A/B/C, které se lišily vrtulemi (jejich převody). Tímto motorem byla vybavena nákladní letadla F24 a G38. Výroba motoru Jumo 204 se zastavila až roku 1935, kdy byla nahrazena motory nové řady Jumo 205. [20]



The Hugo Junkers Homepage
www.junkers.de.vu / hugojunkers@yahoo.de

Obr. 25 Junkers Jumo 204 [20]

Motor Jumo 204 byl také od roku 1935 vyráběn v licenci v Beardmore v Anglii jako **Napier Culverin** firmou „Napier & son“. V menším množství byl vyráběn rovněž s licencí i ve Francii firmou „Lilloise“. [20]



www.oldengine.org

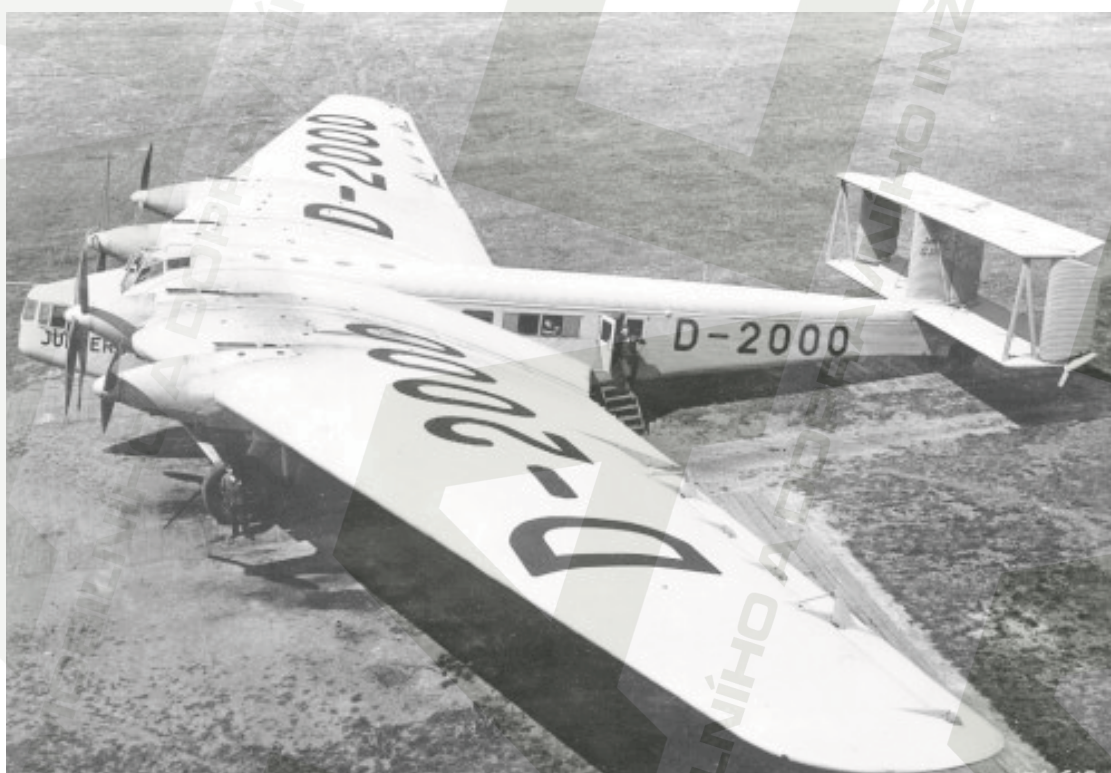
Obr. 26 Napier Culverin [20]

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Britská firma „Napier & son“ rovněž pod licencí vyvíjela menší verzi motoru Jumo 204 pod názvem **Napier Cutlass**, ale zůstala jen u prototypu. [21]

Letadla, která létala s těmito motory [20]:

- motor *Junkers Fo4* – letoun *Junkers W41*
- motor *Jumo 4 / Jumo 204* – letouny *Junkers F24*, *Junkers Ju52*, *Junkers G38*
- motor *Napier Culverin* – letoun *Blackburn Flying Boat*



Obr. 27 Junkers G38 (prototyp) [22]

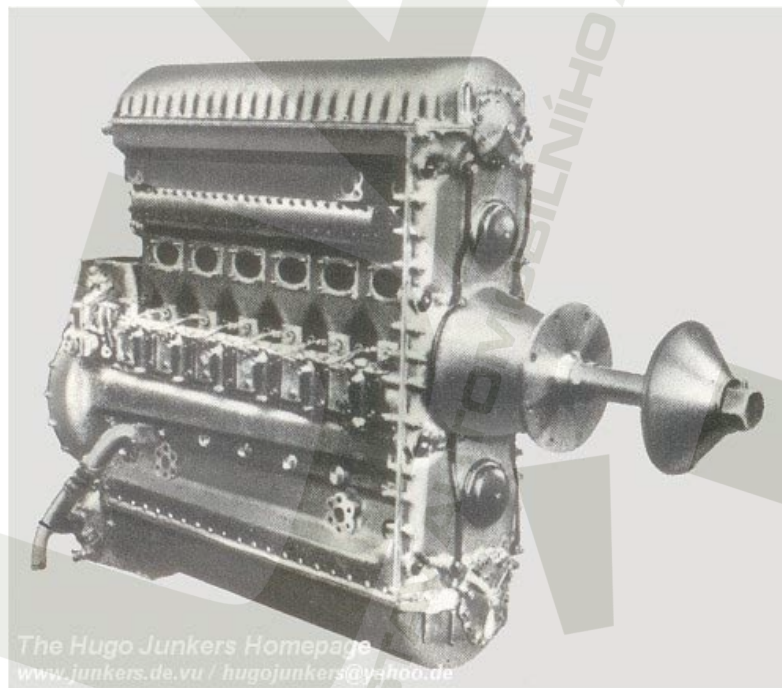
5.2.3 Junkers Jumo 5 / Jumo 205

Hlavním problémem motoru Jumo 204 byla jeho velikost, byl příliš velkým motorem pro většinu letadel na počátku třicátých let minulého století. Proto v roce 1932 započal vývoj motoru Jumo 205, ten se stal menším derivátem svého předchůdce motoru Jumo 204. Měl stejné vnější obrysy, ale menší hmotnost. Stal se jedním z mála nejúspěšnějších vznětových leteckých motorů na světě a byl použit u mnoha německých letadlech postavených v třicátých a čtyřicátých letech minulého století. [23]

Motor získal osvědčení v prosinci roku 1933. První testy byly provedeny s letounem Focke-Wulf A17 Moewe. Byly vyvinuty tři typy motoru s označením Jumo 5A,B a C, které se od sebe liší vrtulemi (jejich převody). Všechny verze motoru jsou kapalinou chlazené. [23]

Motor Jumo 5 [23]:

- dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty
- 6 válců (vertikálně řazený v jedné řadě)
- max. výkon je 404kW (550ks)



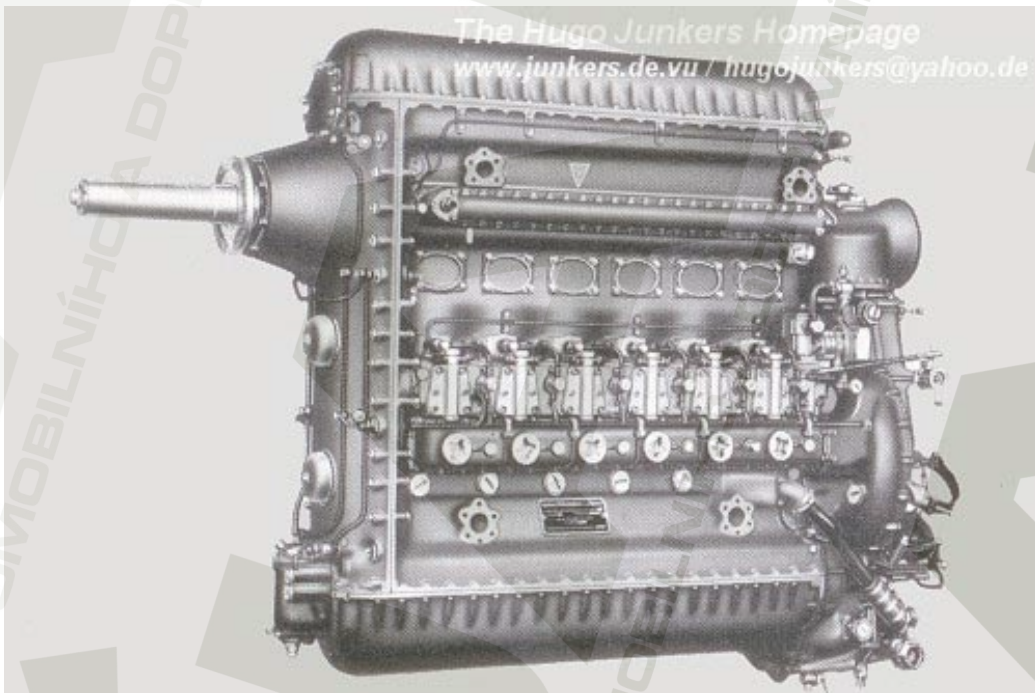
Obr. 28 Junkers Jumo 5 [23]

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

V roce 1934 byl motor Jumo 5 přestavěn jako Jumo 205. Motory označené Jumo 205A, 205B, 205C, vycházely ze svých předchůdců: Jumo 5A, Jumo 5B a Jumo 5C. Tyto motory nabídly pouze několik technických zlepšení. Jumo 205C-4 byl trochu výkonnější (max. 450kW). Motory Jumo 205A a 205B byly použity pouze jako experimentální. Motor Jumo 205C byl vyráběn sériově. [23]

Motor Jumo 205A,B,C [23]:

- dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty
- 6 válců (vertikálně řazený v jedné řadě)
- max. výkon je 441kW (600ks)



Obr. 29 Junkers Jumo 205C [23]

Následoval další vývojový krok – motor Jumo 205D. Pomocí zvýšení otáček motoru se podařilo zvýšit výkon o přibližně 200kW. Dále se vyvinuly dvě odvozené varianty tohoto motoru – Jumo 205D-1 a Jumo 205D-2. Motor Jumo 205D byl vyráběn na základě licence firmami v Anglii „Napier“ a ve Francii „Lilloise“, které už vyráběli licencovaný motor Fo4. [23]



Motor Jumo 205D [23]:

- dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty
- 6 válců (vertikálně řazeny v jedné řadě)
- max. výkon je 647kW (880ks)

Další motor Jumo 205E byl v porovnání s D-sérií méně výkonný. Byly sníženy otáčky a tak klesl výkon. Opět byly vyráběny dvě série Jumo 205Ea a 205Eb. Tento motor byl použit u letounu Do26. [23]

Motor Jumo 205E [23]:

- dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty
- 6 válců (vertikálně řazeny v jedné řadě)
- max. výkon je 515kW (700ks)

Posledním vývojovým krokem byl Jumo 205G. Motorů tohoto typu bylo vyrobeno jen několik málo kusů. [23]

Motor Jumo 205G [23]:

- dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty
- 6 válců (vertikálně řazeny v jedné řadě)
- max. výkon je 515kW (700ks)

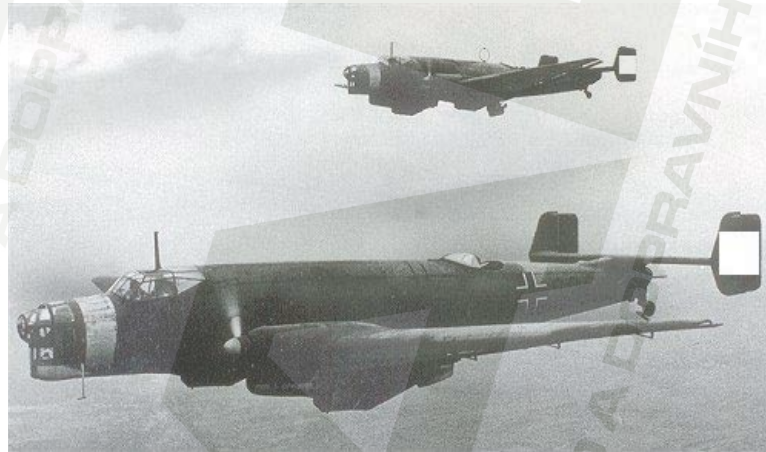
Ještě před začátkem 2. světové války bylo vyrobeno přibližně 900 kusů motoru Jumo 205. Tento motor je stále nejúspěšnějším dvoudobým vznětovým motorem na světě. Většina motorů Jumo 205 byla namontována na „transatlantické létající čluny“ společnosti Lufthansa (letouny Do18 a Do26). Motor byl pro tyto dlouhé trasy vhodný, protože byl velmi úsporný co se týká nízké spotřeby paliva. Používání motoru Jumo 205 ve vojenských letadlech, jako je Ju86, až tak úspěšné nebylo – pokud tyto letouny létaly po dlouhou dobu na hranici výkonnostního limitu, tak docházelo k častým poruchám. [23]

Tyto dvoudobé vznětové motory našly své uplatnění dokonce i v námořnictvu a byly jimi vybaveny některé čluny. [23]

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Letadla, která létala s motory Jumo 5 / Jumo 205 [23]:

- Focke Wulf A17c
- Junkers Ju86 A,B,C,K1,Z1 a D
- Junkers Ju52 3mho
- Dornier Do 18 D,E,G,H,N
- Dornier Do 24
- Dornier Do 26
- Heinkel He 120
- Blohm & Voss BV138 A,B,C
- Blohm & Voss BV139



Obr. 30 Junkers Ju86-A Bomber [24]



Obr. 31 Dornier Do-26 [25]



5.2.4 Junkers Jumo 206

Jumo 206 byl zamýšlen jako náhrada za motor Jumo 204 a byl založen na motoru Jumo 205. Poměr „vrtání/zdvih“ motoru Jumo 206 se snížil oproti motoru Jumo 205 o 20% a zároveň se zvýšil objem. Vývoj byl zahájen na přelomu let 1936 a 1937. Bylo vyrobeno několik prototypů tohoto motoru, ale jeho další vývoj byl roku 1940 zastaven a pokračovalo se v rámci nového pojetí jako Jumo 208. [26]

Motor Jumo 206 [26]:

- dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty
- 6 válců (vertikálně řazený v jedné řadě)
- max. výkon je 882kW (1200ks)

Letadlo, které létalo s motorem *Jumo 206* [26]:

- Junkers Ju52 3mho (jen experimentální lety)

5.2.5 Junkers Jumo 207

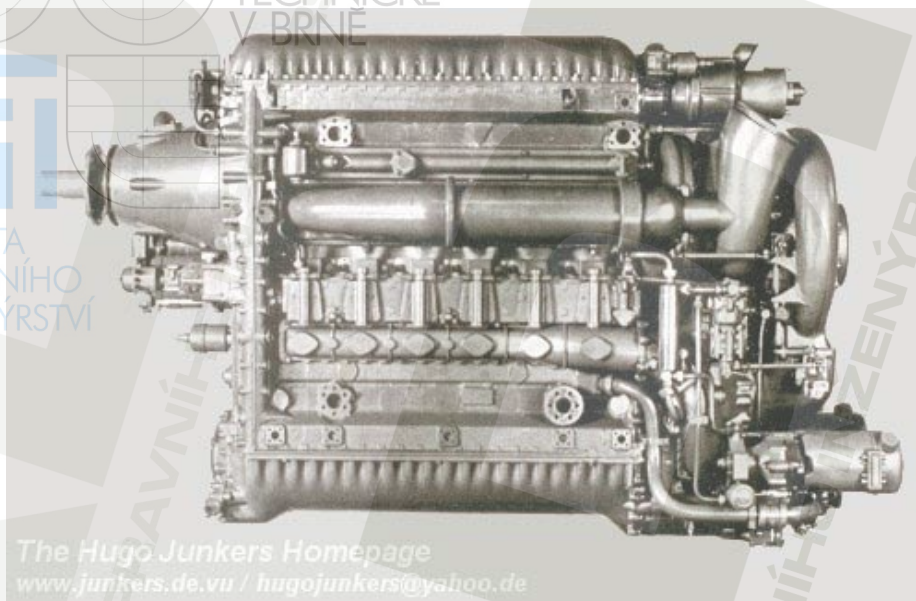
Dalším pokračováním motoru Jumo 205 je motor Jumo 207, který byl vyvíjen pro vyšší letové hladiny (nadmořské výšky). Vývoj byl zahájen roku 1939. Oproti motoru Jumo 205 má nový motor v řadě dva odstředivé kompresory (dmychadla) a mezichladič. První z těchto kompresorů je poháněn výfukovou turbínou. Rozměry válců a vnitřní rozměry jsou stejné jako u motoru Jumo 205. [27]

Od tohoto motoru byly vyvinuty čtyři série – Jumo 207A až D. Dne 17.09.1940 bylo s prototypem motoru Jumo 207A v letounu Ju86P dosaženo výšky 10 000m. [27]

Motor Jumo 207A [27]:

- dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty
- 6 válců (vertikálně řazený v jedné řadě)
- max. výkon je 647kW (880ks)

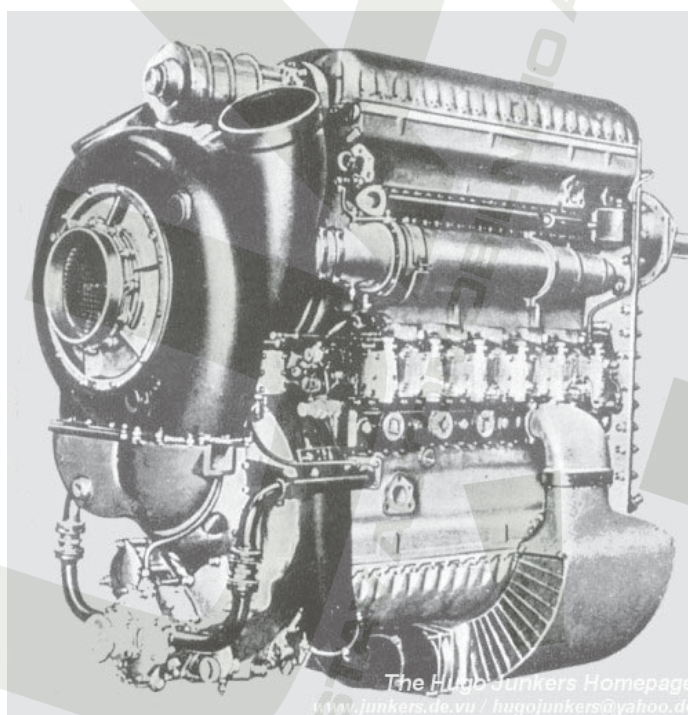
Jednotlivé série (A,B,C,D) se od sebe liší vrtulemi (jejich převody). Dále: série B-1 nebyla postavena, B-2 je základní řada série B, B-3 má větší kompresor a GM1-vstřikovač. Motor Jumo 207B byl používán v letounu Ju86R od roku 1942 a dovoluje letounu operovat ve výšce 12 000m. [27]



Obr. 32 Jumo 207 [27]

Motor Jumo 207B,C [27]:

- dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty
- 6 válců (vertikálně řazeny v jedné řadě)
- max. výkon je 735kW (1000ks)



Obr. 33 Jumo 207-B3 [27]

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

C-série byla navržena pro krátkodobé maximální výkony, zatímco D-série pro delší trvání maximálního výkonu motoru. Oba motory byly k dispozici od roku 1944. [27]

Motor Jumo 207D [27]:

- dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty
- 6 válců (vertikálně řazeny v jedné řadě)
- max. výkon je 735kW (1000ks)

Letadla, která létala s motory *Jumo 207* [27]:

- Junkers Ju86P a R
- Blohm & Voss BV222 C-0



Obr. 34 Blohm & Voss BV222 [28]

5.2.6 Junkers Jumo 208

Motor Jumo 208 navazoval na svého předchůdce Jumo 207 a byl dalším vývojovým stupněm motoru Jumo 206. Vývoj tohoto motoru začal roku 1939 pro použití v letounu Junkers Ju90 a pokračoval až do roku 1942. Bylo sestrojeno pouze dvanáct testovacích motorů. Sériová výroba zahájena nebyla. Testy motoru probíhaly na letounu Ju 52, kde byl umístěn jako prostřední motor. [29]

Motor Jumo 208A,B [29]:

- dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty
- 6 válců (vertikálně řazeny v jedné řadě)
- max. výkon je 1100kW (1500ks)

Pro pokusné účely byla provedena studie sloučení dvou motorů Jumo 208 do jednoho celku, tak aby byl vytvořen dvanáctiválec s válci ve dvou řadách. Tomuto dvojitému motoru Jumo 208 se říkalo „Jumo 218“, ale nikdy nebyl vyroben ani jeho prototyp. [29]

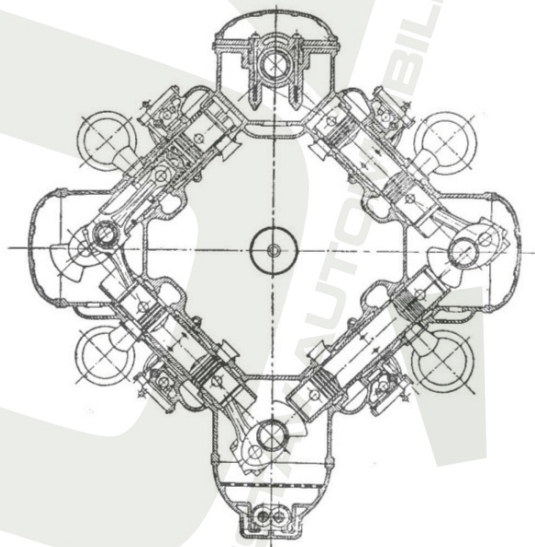
Letadla, která létala s motorem *Jumo 208* [29]:

- Junkers Ju86 R
- Junkers Ju52
- Junkers Ju90

5.2.7 Junkers Jumo 223 / Jumo 224

Jumo 223 byl dvoudobý vznětový letecký kapalinou chlazený motor. Navazuje na motor Jumo 207. [30]

Tento motor má několik bloků válců, jež jsou uspořádány do čtverce. V tomto případě se počet klikových hřídelů „zmenšil“ tak, že by připadl jeden klikový hřídel na jeden válec v bloku. [30]

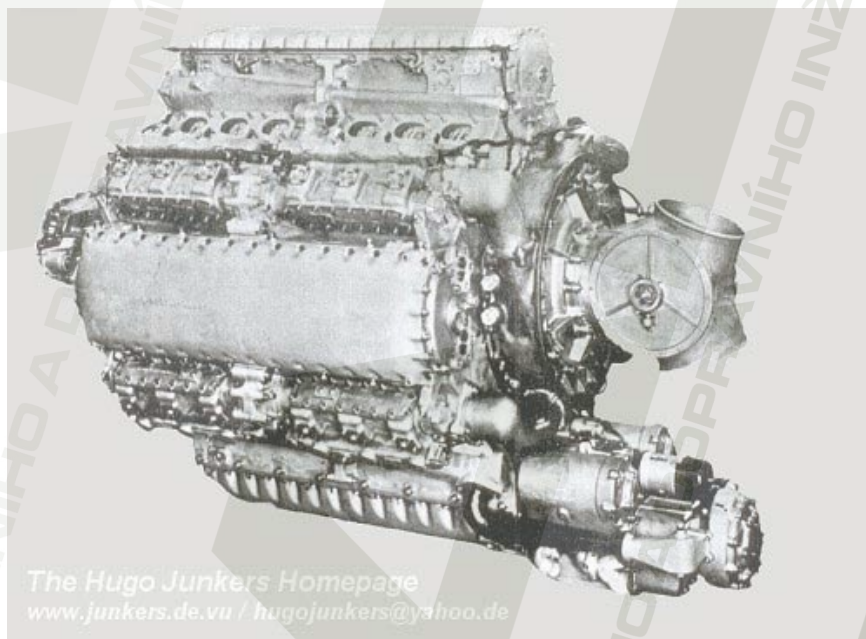


Obr. 35 Koncepce uspořádání válců A. A. Agatova [4]

Vývoj motoru Jumo 223 začal už roku 1939, ale až po konci 2. světové války byly uskutečněny první testy. [30]

Motor Jumo 223 [30]:

- dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty
- 24 válců (vertikálně řazeny ve čtyřech řadách)
- max. výkon je 1620kW (2200ks)



Obr. 36 Jumo 223 [30]

Dalším vývojovým stupněm motoru Jumo 223 byl motor Jumo 224, jehož válce měly základ v motoru Jumo 207B. Jeho vývoj byl zahájen roku 1943, ale ještě téhož roku došlo k změně priorit, jimiž se stal vývoj proudového motoru, a tak byl vývoj motoru Jumo 224 značně omezen. Objem motoru Jumo 224 byl oproti motoru Jumo 223 mnohem větší. Na konci 2. světové války byl tento motor připraven na své první zkoušky. [30]

Motor Jumo 224 [30]:

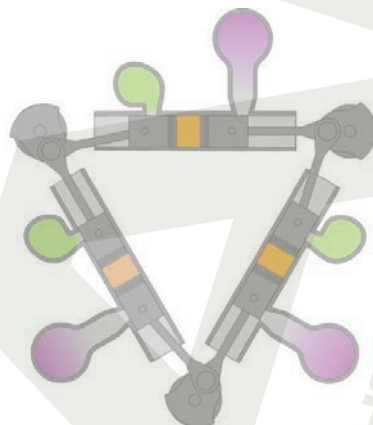
- dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty
- 24 válců (vertikálně řazeny ve čtyřech řadách)
- max. výkon je 2650kW (3600ks)

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

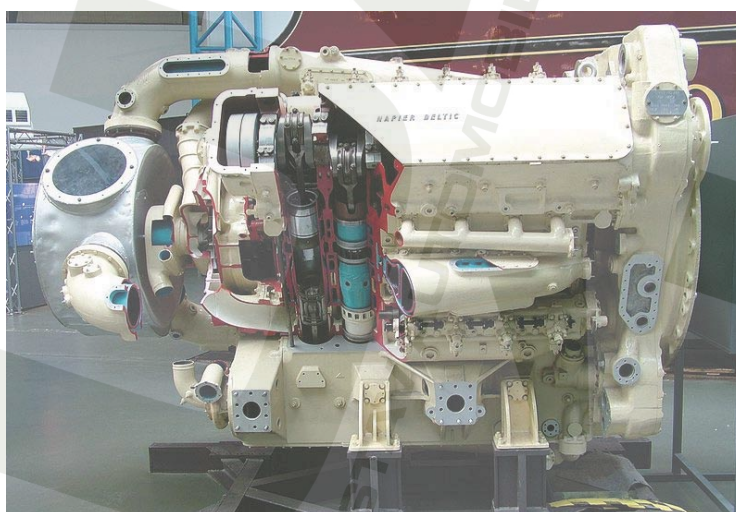
Ve vývoji tohoto motoru po 2. světové válce pokračovali Rusové. Zodpovědný za tento pozdější vývoj byl Gerlach, jenž byl bývalým inženýrem firmy Junkers. [30]

Není známo na kterých letadlech byly tyto motory využity. Některé zdroje uvádí jen letoun Junkers Ju52. [30]

Za zmínku ještě stojí britský dvoudobý vznětový motor s protiběžnými písty a souproudým vyplachováním **Napier Deltic** firmy „Napier & son“, který vychází právě z řady Jumo 223. Liší se uspořádáním válců – Napier Deltic má blok válců v trojúhelníkovém uspořádání tvořeném třemi válci a třemi hřídeli viz. obr. 37. Největší uplatnění nakonec našel jako pohonná jednotka lokomotiv (obr. 38). Jeho obrázek v plném rozlišení naleznete v příloze (příloha 3). [31]



Obr. 37 Uspořádání válců motoru Napier Deltic [31]



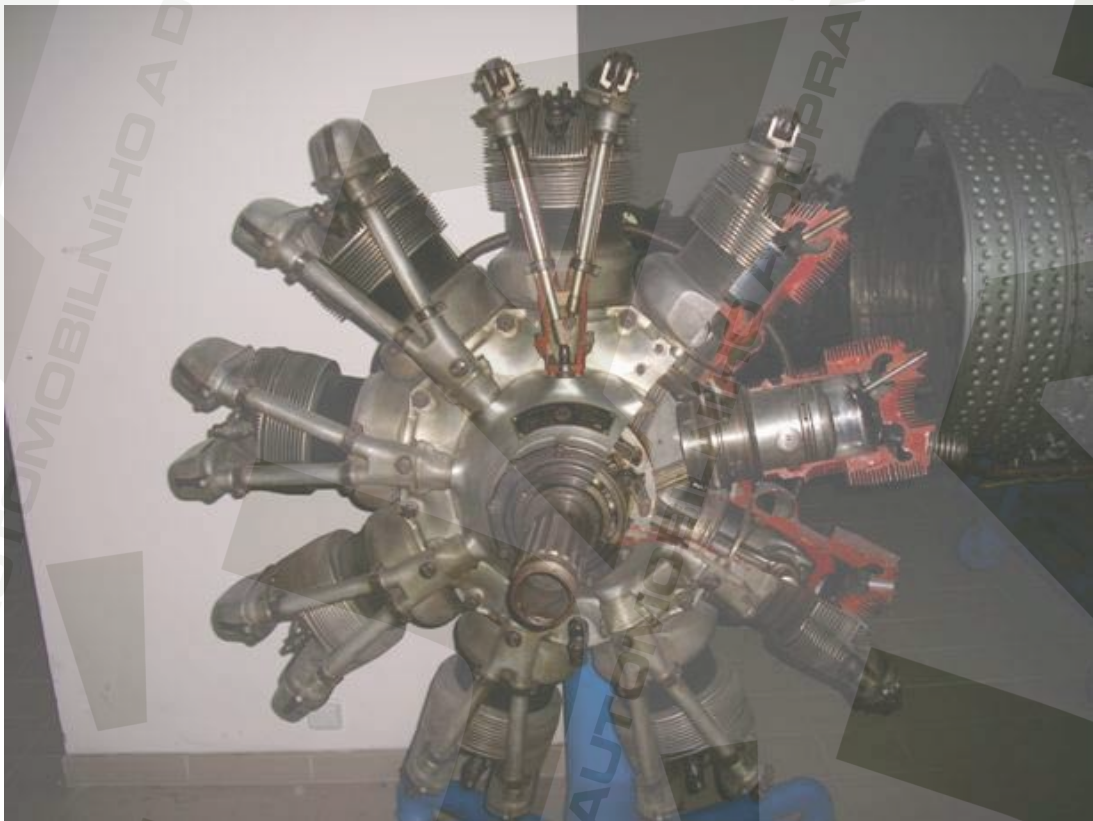
Obr. 38 Motor Napier Deltic [31]

5.2.8 ZOD-260

Jedná se o dvoudobý vznětový letecký motor vzduchem chlazený a s válci uspořádanými do hvězdice. Vyvinula ho Československá zbrojovka v Brně na počátku třicátých let minulého století pod vedením Ing. Odstrčila. ZOD-260 byl dalším vývojovým stupněm motoru ZOD-240A, z kterého by vyvinut. [32]

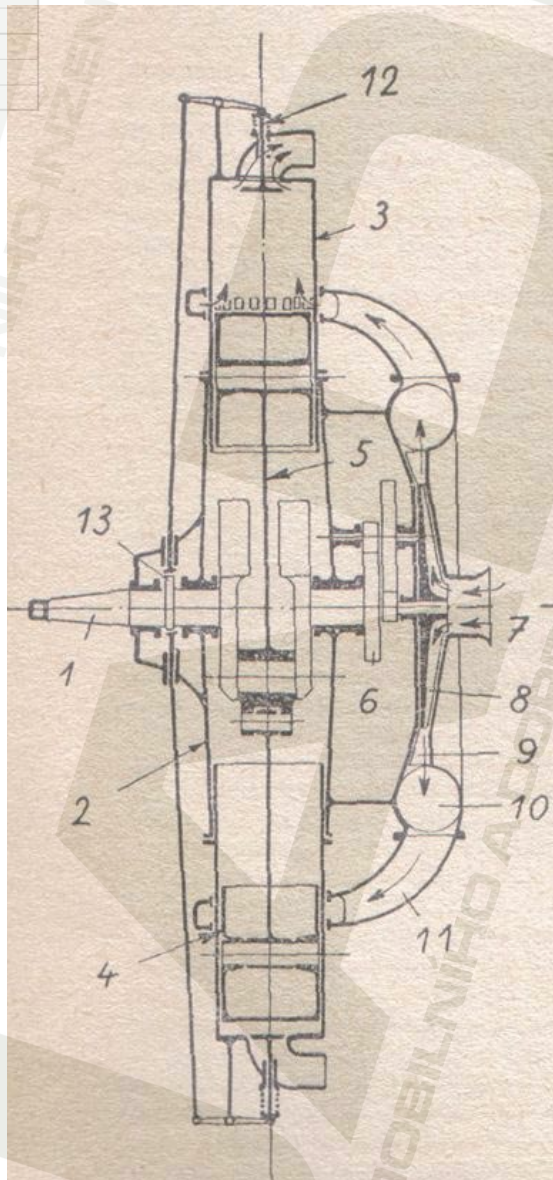
Parametry motoru [32]:

- dvoudobý vznětový letecký motor
- 9 válců, hvězdicové uspořádání
- chlazený vzduchem
- vrtání x zdvih – 120mm x 130mm
- max. výkon – 221kW (300ks)



Obr. 39 Motor ZOD-260 [32]

Motor ZOD 260 nebyl nikdy zařazen do hromadné sériové výroby. Byl zkoušen v letadlech předválečných Československých aerolinií. [32]



Obr. 40 Schéma motoru ZOD-260 [32]

Popis:

Vzduch je nasáván sáním (7), potom vstupuje do kompresoru (8). Difuzor (9), sběrač (10). Stlačený vzduch je veden nátrubky (11) do válců motoru, do kterých vstupuje skrze otvory otevírané a zavírané pístem. V hlavě každého válce jsou dva ventily (12). Rozvod (13). Motor nemá reduktor. Kompresor motoru je jednostupňový. [32]

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Letadla, která létala s motorem ZOD-260 [32]:

- Avia-Fokker F-VII
- Aero A-211

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ



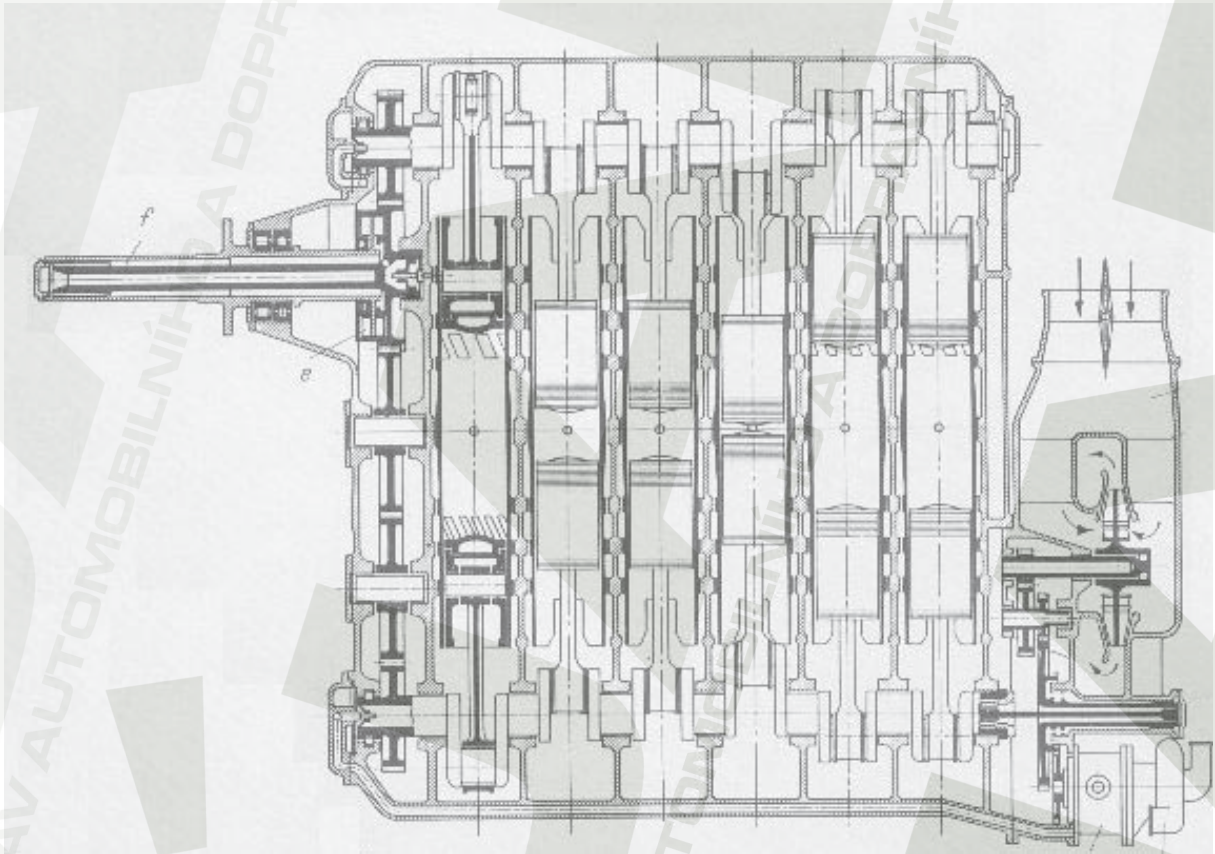
Obr. 41 Avia-Fokker F-VII [33]



6. Konstrukční řešení motoru Junkers Jumo 205

Motor Jumo 205 je nejznámějším a nejpoužívanějším dvoudobým vznětovým leteckým motorem. Historii jeho vývoje se věnuje kapitola 5.2, zde se budeme soustředit na jeho konstrukční řešení, z něhož vycházejí mnohé následující typy dvoudobých vznětových leteckých motorů.

Pro zopakování je třeba na začátek uvést, že se jedná o dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty a sou proudným vyplachováním. Má celkem 6 vertikálně řazených válců v jedné řadě, 12 pístů a 2 klikové hřídele. [35]



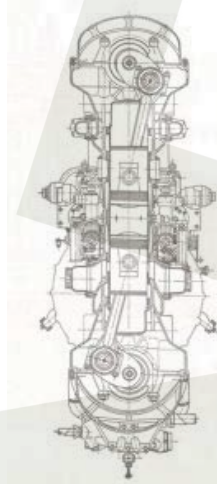
Obr. 42 Podélný řez motorem Jumo 205 [45]

Jak vidno, motor nemá hlavy válců, spalovací prostor je mezi dny protiběžných pístů. V levé části obr. 42 je výstupní hřídel motoru, který je určen pro osazení vrtulí. Tento hřídel je uložen ve dvou valivých ložiscích. Z jeho druhé strany je osazen ozubeným kolem, které skrze soustavu soukolí (reduktor) přenáší kroutící moment od klikových

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

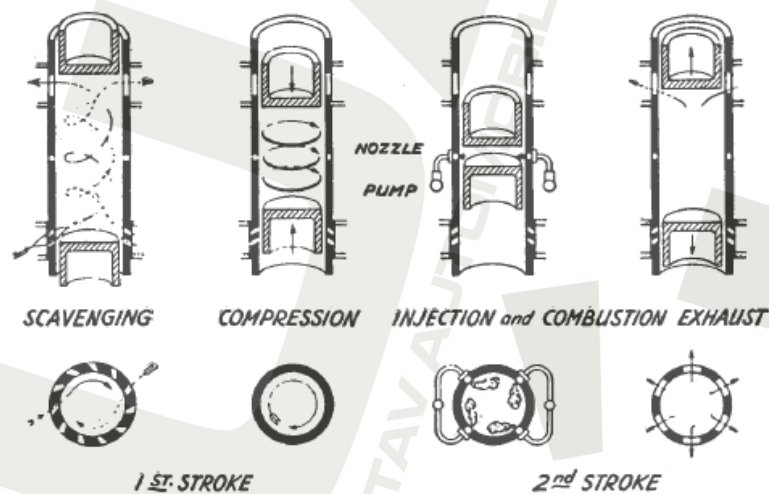
hřídelů. Těchto ozubených kol je celkem 5, z toho každý klikový hřídel je osazen jedním. Je zřejmé, že tento typ motoru má nevýhodu ve vyšší hmotnosti dané dvěma klikovými hřídelemi připadajícími na jeden válec a rovněž převodem ozubenými koly (reduktorem). [35]

Každá kliková hřídel je uložena v osmi kluzných ložiscích. Hřídele jsou nad sebou v ose motoru. [35]



Obr. 43 Příčný řez motorem Jumo 205 [35]

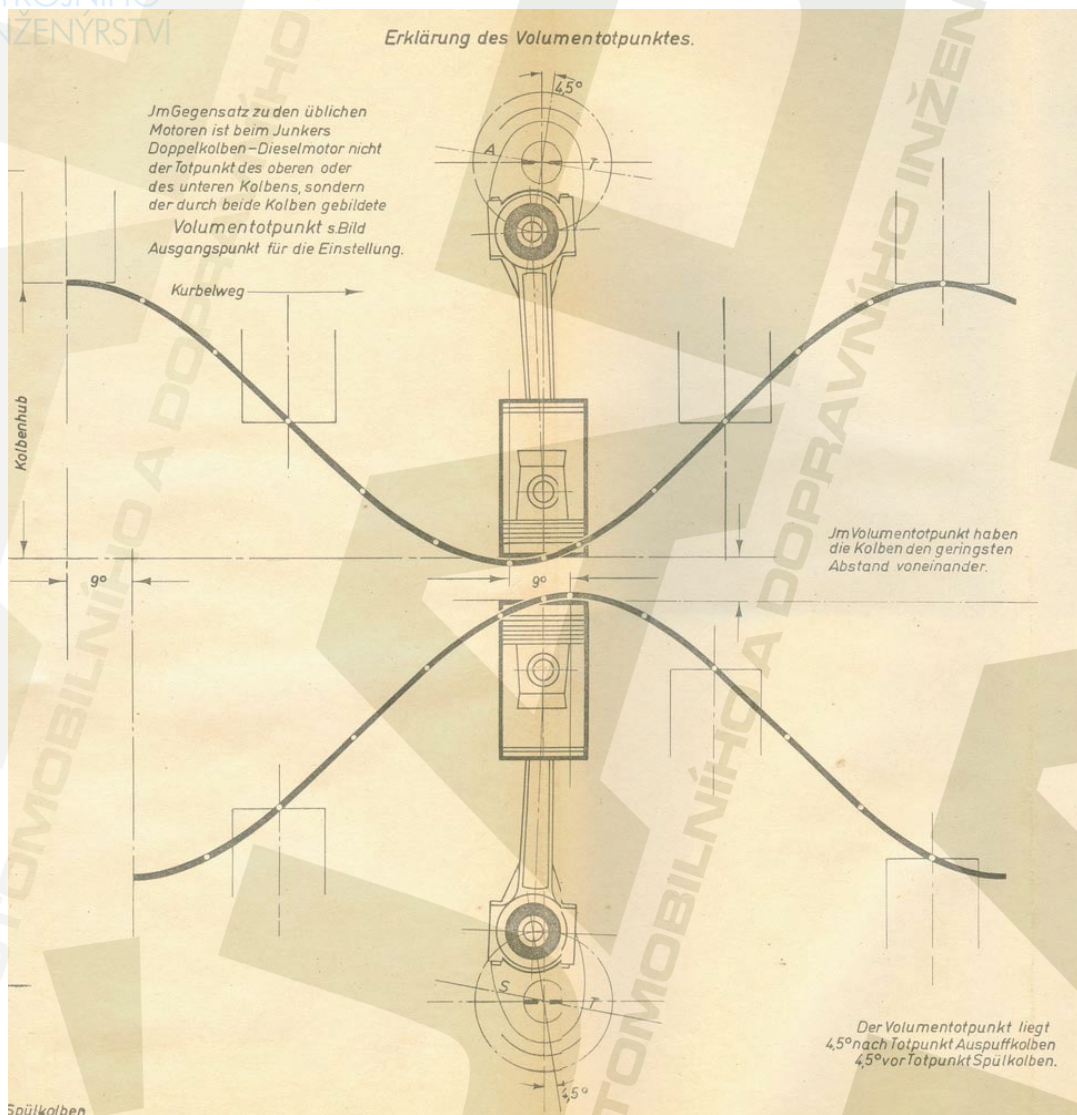
Jak již bylo řečeno, v každém válci se proti sobě pohybují dva písty. V každém časovém okamžiku se vůči sobě buď přibližují, nebo se od sebe oddalují. Jeden z pístů svým pohybem řídí otevírání a zavírání vyplachovacích kanálů, druhý kanálů výfukových (souprůdné vyplachování viz. kapitola 4.2.3). [35]



Obr. 44 Pracovní oběh motoru Jumo 205 [34]

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Aby bylo možné přeplňovat motor, jsou kanály umístěny symetricky. A to, že jsou výfukové kanály otevírány a zavírány (- což je právě důležité pro přeplňování) o něco dříve než vyplachovací, je zajištěno navzájem pootočenými klikami. Jejich schéma je na obr. 45. Pootočení klik vůči sobě je 9° , (každá je pootočená o $4,5^\circ$ - v dolní úvrati). [35]

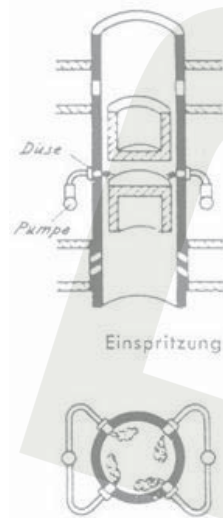


Obr. 45 Pohyb válců motoru Jumo 205 [35]

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

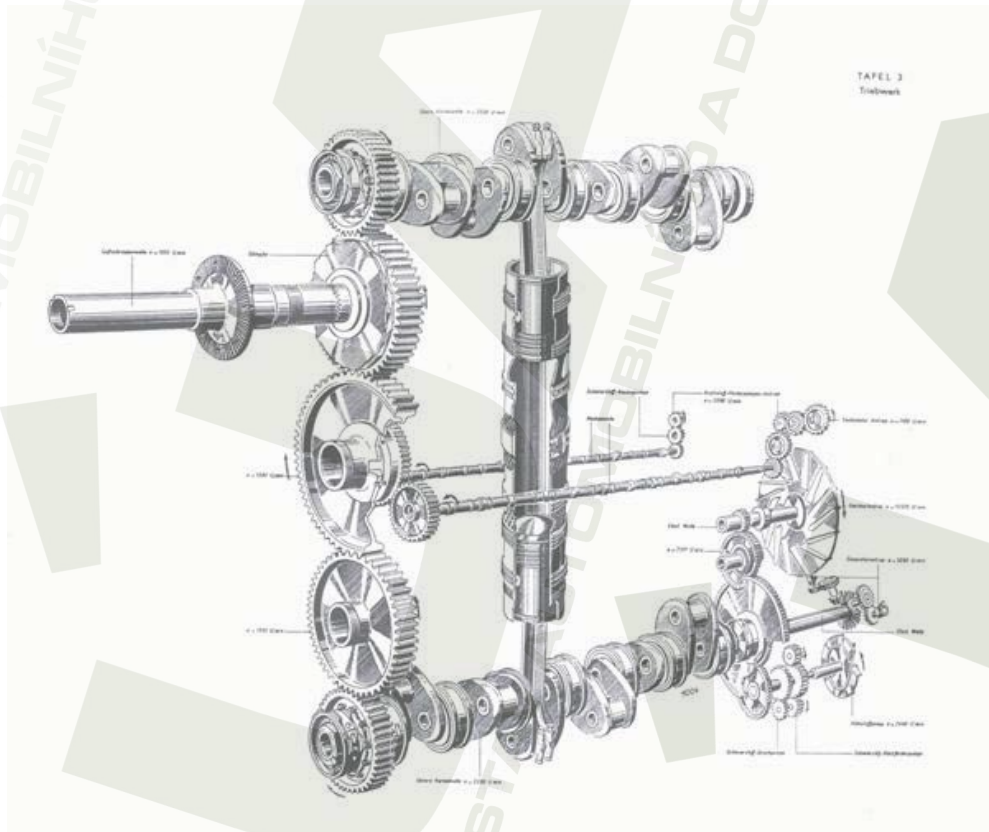
Vstřikování nafty do prostoru válce zajišťují dvě vstřikovací čerpadla s tryskami (každé čerpadlo má dvě vstřikovací trysky), viz. obr. 46. [35]

ISI
FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

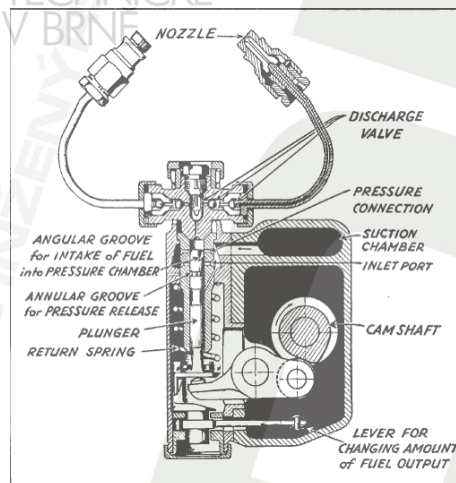


Obr. 46 Vstřikování pliva (Jumo 205) [35]

Na následujícím obrázku (obr.47) je zobrazena uprostřed motoru vačková hřídel, která řídí vstřikovací čerpadla. [35]

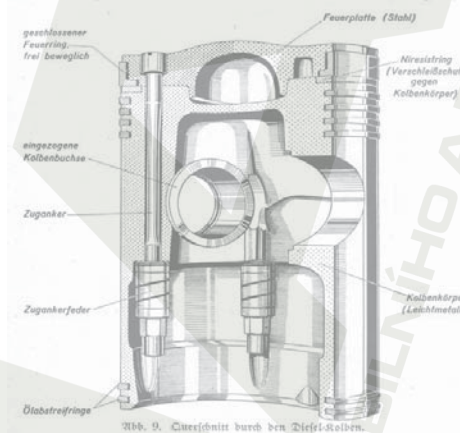


Obr. 47 Vačková hřídel řídící vstřikovací čerpadla (Jumo 205) [35]



Obr. 48 Vstřikovací čerpadlo (Jumo 205) [34]

Písty jsou u tohoto motoru v porovnání s jinými značně specifické. Je to zapříčiněno výrazně odlišnými tepelnými a tlakovými poměry u vznětových motorů. [35]



Obr. 49 Píst (Jumo 205) [35]

Koruna pístu je z „tepelně odolné“ oceli, díky níž měl motor menší tepelné ztráty. [20]

Píst má 4 pístní kroužky v horní části (na obr.49) plus další kroužek průřezu L v koruně a další 2 pístní kroužky v dolní části. [35]

Na obr. 42 je vpravo vidět kompresor motoru. Jedná se o jednodušový jednorýchlostní odstředivý kompresor s mechanickou vazbou od klikového hřídele. Schéma a umístění oběžného kola lze vidět na obr. 47. [35]



Ústav automobilního a dopravního inženýrství

TECHNICKÉ

Chlazení motoru je kapalinové s nuceným oběhem. [35]

Parametry tohoto motoru jsou uvedeny v příloze (příloha 1). V příloze rovněž naleznete jeho podrobný náčrtek (příloha 2).

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ



7. Porovnání motorů

Kapitolou „Porovnání motorů“ je myšleno porovnání leteckých motorů dvoudobých vznětových s motory stejně výkonnými čtyřdobými zážehovými.

Rozdíl mezi těmito motory je zřejmý z kapitoly 4.1. Dvoudobý motor by měl teoreticky, díky tomu, že má dvojnásobný počet pracovních zdvihů než čtyřdobý motor za jinak stejných podmínek, mít objemový výkon dvakrát větší než motor čtyřdobý. Ale vlivem kratší doby na výměnu náplní válce, kratšího činného zdvihu, horší plnicí účinnosti apod., je tento výkon pouze 1,6 až 1,8krát větší.

Výhodou dvoudobých motorů je větší objemový výkon, menší měrná hmotnost, menší nároky na údržbu, rovnoměrnější průběh točivého momentu.

Nevýhodou je nižší hospodárnost ve spotřebě paliva a oleje, nepravidelný chod při nízkých otáčkách, větší hluk a větší množství škodlivých emisí. [1]

Porovnání vznětový/zážehový: u vznětových motorů se oceňoval bezpečnější provoz (z požárního hlediska), jednodušší ovládání, odpadnutí karburátoru a zapalovacího systému, ale naproti tomu byla potřeba vstřikovacího čerpadla. Letadlo má při stejném objemu nádrže větší dolet, než letadlo se zážehovým motorem. Výhodou je nižší cena nafty a nižší provozní náklady.

Nevýhodou je menší měrný výkon, menší schopnost krátkodobého přetížení. Vznětové motory se v letectví neuplatnili ve větším rozsahu taky proto, že jejich vývoj nestačil prudkému vývoji motorů zážehových. Vyřešení jejich problémů nebylo věnováno tak veliké úsilí. V současné době rozvoje automobilových vznětových motorů se k nim opět navracíme a jejich problémy jsou řešeny s použitím nových materiálů a technologií. [1]

Čtyřdobé zážehové letecké motory se uplatnily v celém spektru možností využití v letectví – od malých lehkých letounů po velká dopravní letadla.

Motory dvoudobé vznětové nacházely uplatnění hlavně u letadel větších konstrukcí – dopravních letadel, létajících člunů, během 2. světové války i bombardérů.

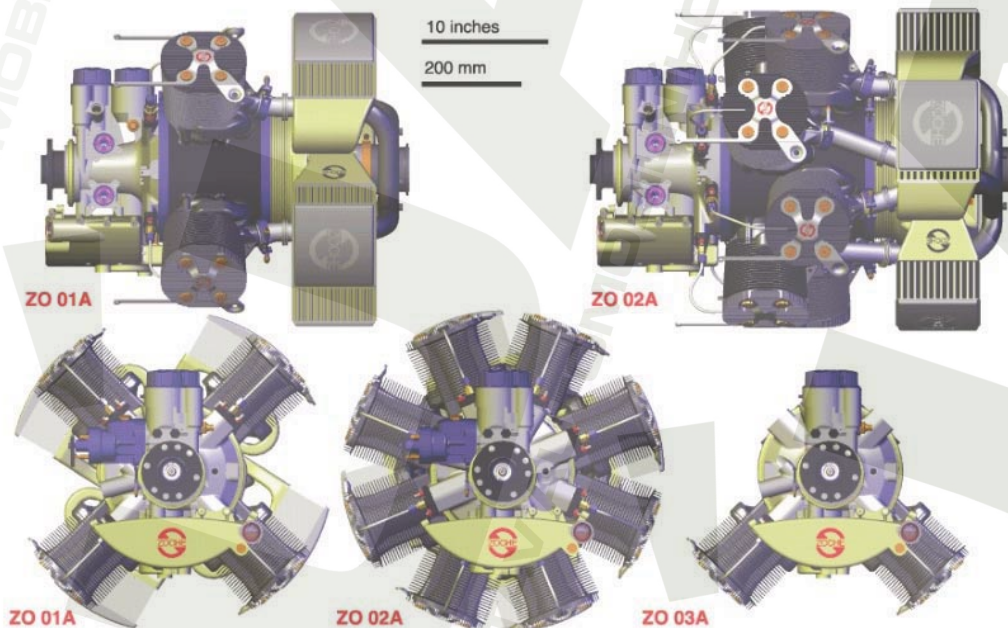
Jedinou tehdejší výjimkou byl malý a relativně lehký československý motor ZOD-260.

8. Soudobé konstrukce

V posledních letech se objevuje čím dál tím více zmínek o vývoji nových *dvoudobých vznětových leteckých motorů*. Je to dáno tím, že s rozvojem technologií je dnes možné snáze odstranit problémy, s kterými se potýkaly tyto motory na konci čtyřicátých let minulého století a rovněž úspěchem vznětových motorů u automobilů. Jedná se většinou o malé motory malých výkonů. Na následujících stránkách si uvedeme příklady některých z nich a k nim informace, které byly uveřejněny a podařilo se je dohledat.

Zoche ZO 02 [36]:

- německý dvoudobý vznětový letecký motor
- vzduchem chlazený, přeplňovaný
- válce uspořádány do hvězdice
- přímé vstřikování paliva a mezistupňové chlazení
- jeho výhodou oproti motorům s protiběžnými písty je malá hmotnost, menší čelní plocha
- nízké emise CO₂. Díky modernímu vysokotlakému vstřikování je redukována tvorba sazí



Obr. 50 Zoche ZO [37]

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

	ZO 01A	ZO 02A	ZO 03A
Power at 2,500 rpm	110 kW • 150 hp	220 kW • 300 hp	51 kW • 70 hp
Displacement	2.66 liter • 162.6 cu inches	5.33 liter • 325.3 cu inches	1.33 liter • 81.3 cu inches
Height	555 mm • 21.8 inches	648 mm • 25.5 inches	405 mm • 15.9 inches
Width	555 mm • 21.8 inches	648 mm • 25.5 inches	555 mm • 21.8 inches
Diameter including cooling ducts	648 mm • 25.5 inches	648 mm • 25.5 inches	
Length	725 mm • 28.5 inches	835 mm • 32.9 inches	725 mm • 28.5 inches
Weight	84 kg • 185 lbs	123 kg • 271 lbs	55 kg • 121 lbs
Bore / Stroke	95 / 94 mm • 3.74 / 3.70 inches	95 / 94 mm • 3.74 / 3.70 inches	95 / 94 mm • 3.74 / 3.70 inches
Piston Speed at 2,500 rpm	7.83 m/sec • 1,540 fpm	7.83 m/sec • 1,540 fpm	7.83 m/sec • 1,540 fpm
Compression Ratio	17 : 1	17 : 1	17 : 1
Intake Manifold Pressure	3 bar abs • 87 inch Hg	3 bar abs • 87 inch Hg	3 bar abs • 87 inch Hg
Intake Manifold Temperature	80°C • 176°F	80°C • 176°F	80°C • 176°F
Pressure Lubrication	5 bar • 72 psi	5 bar • 72 psi	5 bar • 72 psi
Max Power BSFC	225 g/kWh • .365 lb/hp hr	225 g/kWh • .365 lb/hp hr	235 g/kWh • .381 lb/hp hr
Cruise (75%) BSFC	212 g/kWh • .346 lb/hp hr	212 g/kWh • .346 lb/hp hr	220 g/kWh • .357 lb/hp hr
Cruise (75%) Consumption	21.1 l/hr • 5.57 gal/hr	42.1 l/hr • 11.13 gal/hr	10.1 l/hr • 2.68 gal/hr
Fuels	Diesel Fuel # 2, Jet Fuel JP 4, JP 5, JP 8, Jet A	Diesel Fuel # 2, Jet Fuel JP 4, JP 5, JP 8, Jet A	Diesel Fuel # 2, Jet Fuel JP 4, JP 5, JP 8, Jet A

Tab. 1 Zoche ZO [37]

Dair-100 [38]:

- britský dvoudobý vznětový letecký motor s protiběžnými písty
- dvouválec
- kapalinou chlazený
- výkon 73kW (100ks)

NUMBER OF CYLINDERS.....	2
NUMBER OF PISTONS.....	4
NUMBER OF INJECTORS.....	4
BORE.....	80mm
STROKE.....	90mm
DISPLACEMENT.....	1810cc
COMPRESSION RATIO.....	18 : 1
DRY SUMP CAPACITY.....	5 Litres
FUEL GRADE.....	AVTUR / DIESEL
ENGINE MOUNTS.....	4 POINT
DRY WEIGHT.....	92.7 Kg
INJECTION SYSTEM.....	DIRECT
CONTROL.....	SINGLE LEVER
RATED RPM (Propellor).....	2500
POWER.....	100 HP
ALTERNATOR.....	12V / 20a (Optional 12V / 60a)
STARTER	12 volt
PROPELLOR FLANGE.....	SAE 1 / ARP

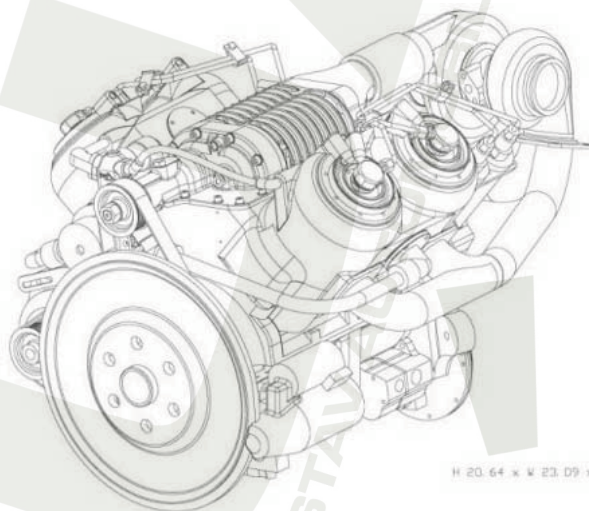
Tab. 2 Dair-100 [39]



Obr. 51 Dair-100 [38]

Delta Hawk [40]:

- tato americká společnost vyvíjí stejnojmenný lehký dvoudobý vznětový letecký motor
- kapalinou chlazený, přeplňovaný
- válce do „V“
- vyvíjeno několik typů lišících se od sebe výkonem (V4, V8,...)
- max. výkon: V4 – 150kW (200ks), V8 – 336kW 450ks
- nově se vyvíjí dvouválcový motor pro ultra-lehká sportovní letadla a UAV

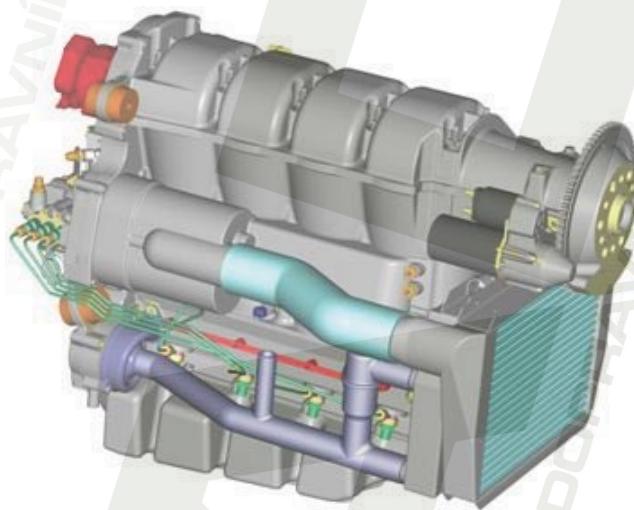


Obr. 52 Delta Hawk V4 [40]

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

WAM -160 [41]:

- britský dvoudobý vznětový letecký motor
- kapalinou chlazený, přepřehovaný
- třetí vývojová řada navazující na motory VAM 110 a VAM 120
- 4 válce (viz. obr. 53)
- max. výkon 120kW (160ks)



Obr. 53 WAM-160 [41]

GAP Diesel engine [43]:

- dvoudobý vznětový letecký motor vyvíjený americkou NASA
- kapalinou chlazený
- cílem vývoje tohoto motoru je velmi lehký, tichý motor s nízkou spotřebou
- výkon 150kW (200ks)



Obr. 54 Motor GAP [42]

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Pod označením **FR-TI1/580** se skrývá projekt vývoje nového dvoudobého vznětového motoru, na kterém spolupracuje i naše fakulta (FSI VUT v Brně). Projektu se účastní firmy: Explat, SM TECH, OPROX; univerzity: VUT a ČVUT.

Jedná se o projekt výzkumu a vývoje prototypu dvoudobého vznětového motoru s protiběžnými písty pro letecké i neletecké využití. Tento projekt je podporován Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR. Výsledky výzkumu a vývoje jsou očekávány do konce roku 2012. [44]

V současnosti jsou informace o tomto projektu chráněny, ale v blízké době se s tímto českým dvoudobým vznětovým leteckým motorem s protiběžnými písty setkáme.

Předpokládám, že v blízké budoucnosti se dostaví více úspěchů ve vývoji těchto motorů. Bude odstraněna většina jejich nevýhod, se kterými se jejich konstruktéři v minulém století na konci čtyřicátých let nedokázali vypořádat a o dvoudobé vznětové letecké motory bude větší zájem.

9. Závěr

V tomto pojednání o dvoudobých vznětových leteckých motorech jsme se seznámili s principem jejich funkce a konstrukčními zvláštnostmi. Byl zpracován historický přehled nejznámějších z nich a sestavena přehledná tabulka, která je umístěna v příloze (příloha 1). Dále jsme si ukázali konstrukční řešení konkrétního motoru – Jumo 205, který je vůbec nejznámějším motorem tohoto typu. Kapitola 7 uvádí porovnání dvoudobých vznětových leteckých motorů s jejich konkurenčním protějškem – motory čtyřdobými zážehovými. Ke konci této práce jsou uvedeny vybrané soudobé konstrukce a je nastíněn možný vývoj tohoto typu motoru.

Vývoj vůbec prvního dvoudobého vznětového leteckého motoru započal německý technik Dr. Hugo Junkers na počátku dvacátých let minulého století a rovněž se zasloužil o jeho největší vývoj. U těchto motorů přišel s konceptem motoru s protiběžnými písty a souproudým vyplachováním. Na motory, které vyráběla jeho firma Junkers navazovaly v dalších letech ostatní firmy, ať už vyráběly motory letecké, nebo pro jiné účely využití (tyto motory se často uplatnily v lokomotivách, lodích, nebo dokonce tancích).

Bohužel, ale těmto motorům nebyla věnována, co se týká vývoje, taková pozornost, a tak nestačily vývoji motorů čtyřdobých zážehových. Proto, když se koncem čtyřicátých let minulého století obrátila pozornost konstruktérů leteckých motorů k vývoji motorů proudových, ustal vývoj dvoudobých vznětových leteckých motorů úplně. Našla se zmínka o výjimce v tehdejší SSSR, kde se po 2. světové válce navazovalo na motory Junkers, ale tento vývoj ustal jen o něco později, motor se zřejmě neprosadil.

Až v posledních letech, se díky rozvoji technologií a úspěchům vznětových motorů u automobilů, opět rozjíždí vývoj dvoudobých vznětových leteckých motorů. Je to umožněno novými technologiemi, pomocí kterých lze odstranit většinu nevýhod a problémů, s kterými se tyto motory potýkaly na konci čtyřicátých let minulého století.

V těchto motorech, jejich výhodách, je velký potenciál. Až se dnešní konstruktéři vypořádají s odstraněním většiny jejich nevýhod a problémů, budou tyto motory uplatněny stejně, jako jsou dnes uplatněny letecké pístové motory čtyřdobé zážehové, tj. u menších letadel, malých sportovních letadel, ultralightů, nebo letounů UAV.



10. Seznam použité literatury a zdrojů

[1] KOCÁB, J., ADAMEC, J. Letadlové motory. KANT, První vydání, Praha, 2000. ISBN 80-902914-0-6.

[2] PIRAULT, J-P., FLINT, M. Opposed Piston Engines – Evolution, Use and Future Applications. Society of Automotive Engineers, Inc., First edition, 2009. ISBN 978-0-7680-1800-4.

[3] BLAIR, G. The Basic Design of Two-Stroke Engines. Society of Automotive Engineers, Inc., First edition, 1990. ISBN 1-56091-008-9.

[4] MASLENNIKOV, M. M., RAPIPORT, M. S. Letadlové pístové motory. Moskva, 1951.

[5] MELKUMOV, T. M. Letadlové dieselové motory. Moskva, 1940.

[6] *Pístové letecké motory*. Ve *Palba.cz* [on-line]. 19.02.2009 [cit. 2010-2-20]. Dostupný z WWW:

<<http://www.palba.cz/viewtopic.php?t=3027&postdays=0&postorder=asc&start=60>>.

[7] *Dvoudobý spalovací motor vznětový*. Ve *Wikipedia: otevřená encyklopedie* [online]. 11. 02. 2010 [cit. 2010-04-20].

Dostupný z WWW:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Dvoudob%C3%BD_spalovac%C3%AD_motor_vzn%C4%9Btov%C3%BD>.

[8] *Marinediesels.info: Warsash Maritime Academy* [online]. 23.11.2006 [cit. 2010-03-12].

Dostupný z WWW:

<http://www.marinediesels.info/Basics/the_2_stroke_engine_explanation.htm>.

[9] *Engine Mechanics*. Ve *Tpub.com* [online]. 14.03.2010 [cit. 2010-03-14].

Dostupný z WWW:

<http://www.tpub.com/content/engine/14081/css/14081_22.htm>.

[10] *Engine Mechanics*. Ve *Tpub.com* [online]. 14.03.2010 [cit. 2010-03-14].

Dostupný z WWW:

<http://www.tpub.com/content/engine/14081/css/14081_23.htm>.

[11] *Association de Sauvetage Créatif du Savoir Aérotechnique* [online]. 09.04.2006 [cit. 2010-02-23].

Dostupný z WWW:

<<http://inter.action.free.fr/images/affiches/junkers-jumo.gif>>.

[12] *Historic milestones in aerospace*. Ve *Aerospaceweb.org* [online]. 14.12.2003 [cit. 2010-03-25].

Dostupný z WWW:

<<http://www.aerospaceweb.org/question/history/q0154.shtml>>.

[13] *Avstop.com: Aviation online magazine* [online]. 20.04.2010 [cit. 2010-04-24].

Dostupný z WWW:

<<http://avstop.com/news/engine.html>>.

[14] *Historie a současnost letectví* [online]. 04.06.2008 [cit. 2010-04-24].

Dostupný z WWW:

<<http://historieletectvi.xf.cz/letadla.htm>>.

[15] *Enginehistory.org: Aircraft Engines Historical Society* [online]. 10.08.2005

[cit. 2010-05-17].

Dostupný z WWW:

<<http://www.enginehistory.org/Diesels/CH1.pdf>>.

[16] *German Aviation History: The Hugo Junkers* [online]. 01.03.1996

[cit. 2010-05-17].

Dostupný z WWW:

<<http://www.junkers.de.vu/>>.

[17] *Hugo Junkers*. Ve *Wikipedia: otevřená encyklopedie* [online]. 06. 05. 2010

[cit. 2010-05-17].

Dostupný z WWW:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Hugo_Junkers>.

[18] *Junkers F13*. Ve *Wikipedia: otevřená encyklopedie* [online]. 14. 05. 2010

[cit. 2010-05-17].

Dostupný z WWW:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Junkers_F_13>.

[19] *German Aviation History: The Hugo Junkers* [online]. 20.07.2008

[cit. 2010-05-17].

Dostupný z WWW:

<http://hugojunkers.pytalhost.com/ju_fo3_a1.htm>.

[20] *German Aviation History: The Hugo Junkers* [online]. 20.07.2008

[cit. 2010-05-17].

Dostupný z WWW:

<http://hugojunkers.pytalhost.com/ju_jumo204_a1.htm>.

[21] *Napierheritage.org.uk* [online]. 17.05.2010 [cit. 2010-05-17].

Dostupný z WWW:

<<http://www.napierheritage.org.uk/spip.php?article100446>>.



[22] *German Aviation History: The Hugo Junkers* [online]. 20.07.2008 [cit. 2010-05-17].

Dostupný z WWW:

< http://hugojunkers.pytalhost.com/ju_g38_a1.htm>.

[23] *German Aviation History: The Hugo Junkers* [online]. 20.07.2008 [cit. 2010-05-17].

Dostupný z WWW:

< http://hugojunkers.pytalhost.com/ju_jumo205_a1.htm>.

[24] *German Aviation History: The Hugo Junkers* [online]. 20.07.2008 [cit. 2010-05-17].

Dostupný z WWW:

< http://hugojunkers.pytalhost.com/ju_ju86_a1.htm>.

[25] *Dieselpunks.blogspot.com* [online]. 30.10.2008 [cit. 2010-05-17].

Dostupný z WWW:

< http://dieselpunks.blogspot.com/2008_10_01_archive.html>.

[26] *German Aviation History: The Hugo Junkers* [online]. 20.07.2008 [cit. 2010-05-17].

Dostupný z WWW:

< http://hugojunkers.pytalhost.com/ju_jumo206_a1.htm>.

[27] *German Aviation History: The Hugo Junkers* [online]. 20.07.2008 [cit. 2010-05-17].

Dostupný z WWW:

< http://hugojunkers.pytalhost.com/ju_jumo207_a1.htm>.

[28] *Blohm & Voss BV222*. Ve *Wikipedia: otevřená encyklopedie* [online]. 20. 05. 2010 [cit. 2010-05-20].

Dostupný z WWW:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Blohm_%26_Voss_BV_222>.

[29] *German Aviation History: The Hugo Junkers* [online]. 20.07.2008 [cit. 2010-05-20].

Dostupný z WWW:

< http://hugojunkers.pytalhost.com/ju_jumo208_a1.htm>.

[30] *German Aviation History: The Hugo Junkers* [online]. 20.07.2008 [cit. 2010-05-20].

Dostupný z WWW:

< http://hugojunkers.pytalhost.com/ju_jumo223_a1.htm>.

[31] *Napier Deltic*. Ve *Wikipedia: otevřená encyklopedie* [online]. 22. 05. 2010 [cit. 2010-05-23].

Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Napier_Deltic>.



[32] Československé vznětové letecké motory ZOD-240A, ZOD 260. Ve Palba.cz [on-line]. 12.10.2009 [cit. 2010-4-23].

Dostupný z WWW:

< <http://www.palba.cz/viewtopic.php?t=3704&highlight=zod240a>>.

[33] Vrcurassow.com [online]. 19.02.2010 [cit. 2010-04-23].

Dostupný z WWW:

< <http://www.vrcurassow.com/2dvrc/sscuracao/fokplesman/timeline.html>>.

[34] Enginehistory.org: Aircraft Engines Historical Society [online].

09.08.2005 [cit. 2010-05-23].

Dostupný z WWW:

< <http://www.enginehistory.org/Diesels/CH4.pdf>>.

[35] Letecký motor Jumo 205. Ve Palba.cz [on-line]. 18.12.2008 [cit. 2010-5-23].

Dostupný z WWW:

< <http://www.palba.cz/printview.php?t=3083&start=0>>.

[36] Zoche.de: Aero-diesel [online]. 12.04.2007 [cit. 2010-05-24].

Dostupný z WWW:

< <http://www.zoche.de/>>.

[37] Zoche.de: Aero-diesel [online]. 12.04.2007 [cit. 2010-05-24].

Dostupný z WWW:

< <http://www.zoche.de/specs.html>>.

[38] Dair.co.uk: Diesel air limited [online]. 17.01.2003 [cit. 2010-05-25].

Dostupný z WWW:

< <http://www.dair.co.uk/documents/engine/engineoverview.htm> >.

[39] Dair.co.uk: Diesel air limited [online]. 10.09.2003 [cit. 2010-05-25].

Dostupný z WWW:

< <http://www.dair.co.uk/documents/engine/specs.htm>>.

[40] Deltahawkengines.com [online]. 25.05.2010 [cit. 2010-05-25].

Dostupný z WWW:

< <http://www.deltahawkengines.com/aboutdeltahawk.shtml>>.

[41] Wilksch.com: Wilks Airmotive [online]. 01.08.2005 [cit. 2010-05-25].

Dostupný z WWW:

< <http://www.wilksch.com/wam-160.html>>.

[42] NASA.gov [online]. 20.05.2008 [cit. 2010-05-25].

Dostupný z WWW:

< <http://www.nasa.gov/centers/glenn/about/fs01grc.html>>.



Ústav automobilního a dopravního inženýrství

[43] *AVweb.com: World's Premier Independent Aviation News Resource* [online]. 27.06.2000 [cit. 2010-05-25].

Dostupný z WWW:

< <http://www.avweb.com/news/reviews/182838-1.html> >.

[44] *ISVAV.cz: Informační systém výzkumu, experimentálního vývoje a inovací* [online]. 26.05.2010 [cit. 2010-05-26].

Dostupný z WWW:

< <http://www.isvav.cz/projectDetail.do?rowId=FR-T11%2F580>>.

[45] *Alexfiles99.narod.ru* [online]. 16.03.2010 [cit. 2010-05-27].

Dostupný z WWW:

< http://www.alexfiles99.narod.ru/library2/0001/jumo_205_cut_02.htm >.

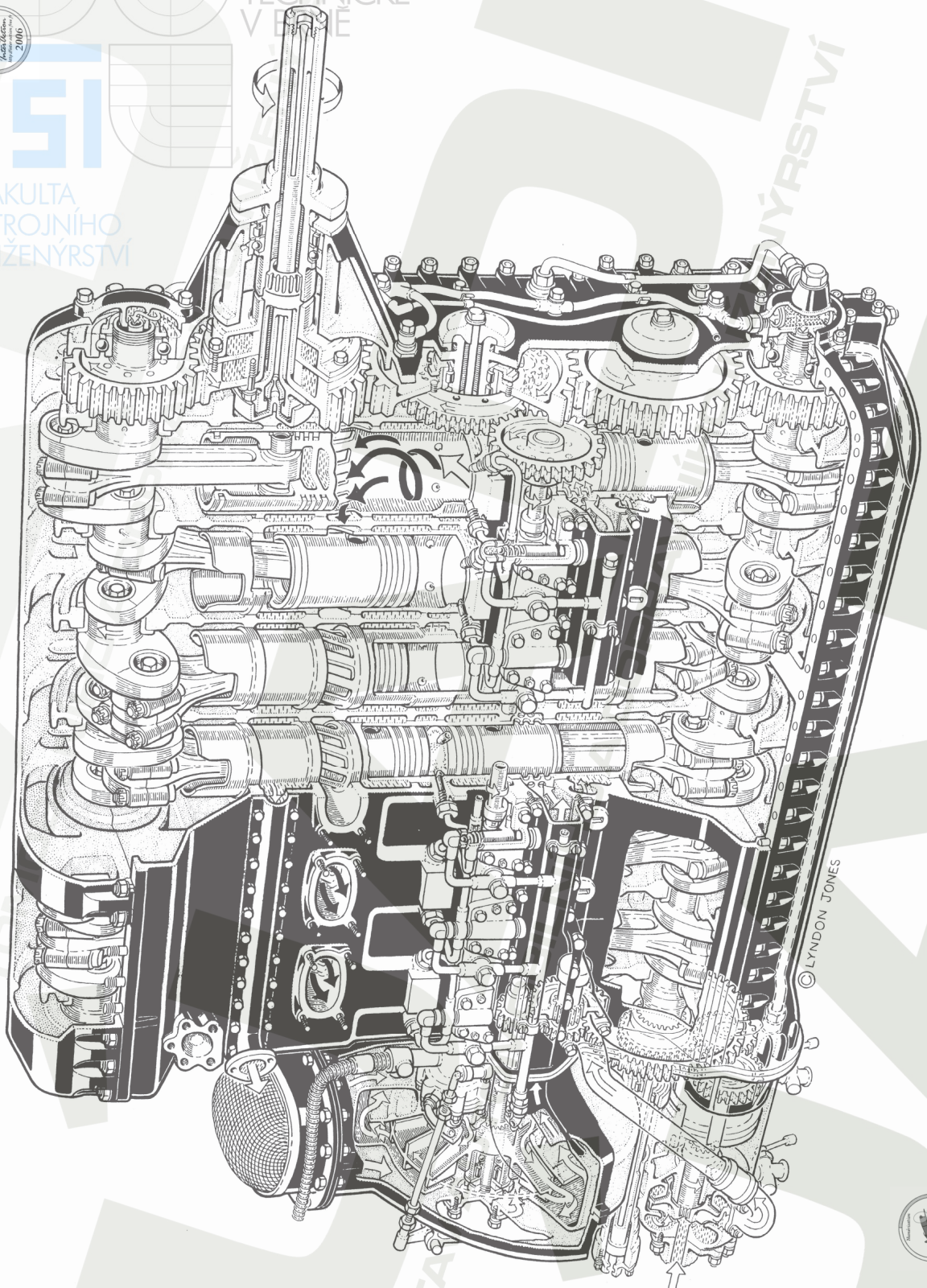


12. Přílohy

Příloha 1 Tab. historického přehledu dvoudobých vznětových leteckých motorů	67
Příloha 2 Junkers Jumo 205D	68
Příloha 3 Napier Deltic	69

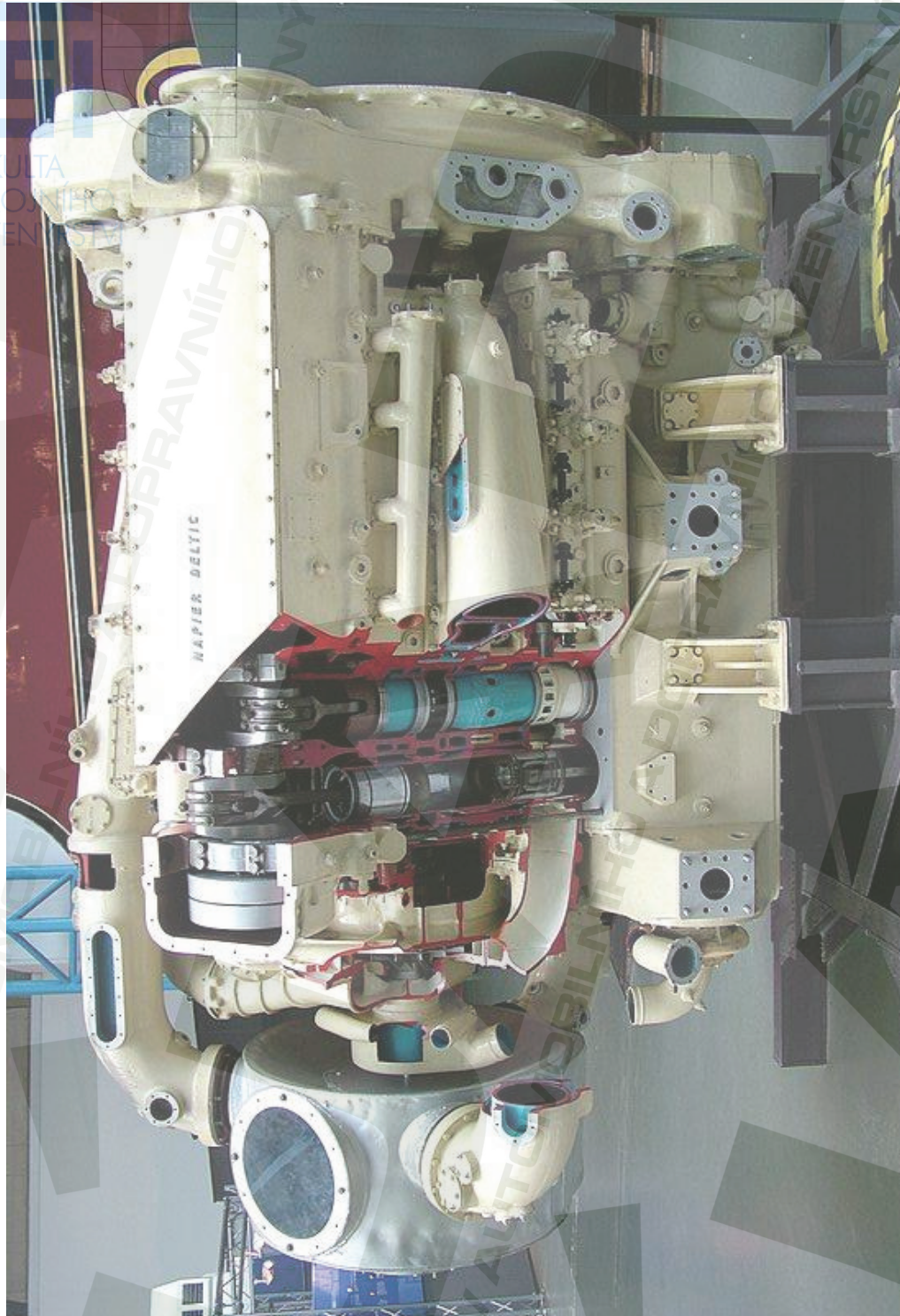
Motor	Rok	Země	Max. výkon [kW/ks]	Otáčky [min ⁻¹]	Objem [cm ³]	Počet válců	Komprese [%]	Uspořádání válců	Vrtání x zdvih [mm]	Hmotnost [kg]	Způsob chlazení
Junkers Fo3	1926	Německo	610/830	-	-	-	-	-	140	-	Chl. kapalinou
Junkers Fo4	1928	Německo	552/751	1600	28 500	6	16,6	Řadový s protiběž. písty	120x(2x210)	800	Chl. kapalinou
Junkers Jumo 4	1931	Německo	530/721	1800	28 500	6	16,6	Řadový s protiběž. písty	120x(2x210)	800	Chl. kapalinou
Junkers Jumo 204	1931	Německo	552/751	1800	28 600	6	17	Řadový s protiběž. písty	120x(2x210)	750	Chl. kapalinou
Junkers Jumo 5A,B,C	1932	Německo	404/550	2100	16 620	6	17	Řadový s protiběž. písty	105x(2x160)	510	Chl. kapalinou
Junkers Jumo 205A,B,C	1934	Německo	441/600	2200	16 620	6	17	Řadový s protiběž. písty	105x(2x160)	570	Chl. kapalinou
Junkers Jumo 205D	1934	Německo	647/880	2800	16 620	6	16,7	Řadový s protiběž. písty	105x(2x160)	595	Chl. kapalinou
Junkers Jumo 205E	-	Německo	515/700	2500	16 620	6	-	Řadový s protiběž. písty	105x(2x160)	-	Chl. kapalinou
Junkers Jumo 205G	-	Německo	515/700	-	16 620	6	-	Řadový s protiběž. písty	105x(2x160)	-	Chl. kapalinou
Junkers Jumo 206	1940	Německo	882/1200	-	35 000	6	-	Řadový s protiběž. písty	-	-	Chl. kapalinou
Junkers Jumo 207A	1939	Německo	647/880	2800	16 620	6	16,2	Řadový s protiběž. písty	105x(2x160)	805	Chl. kapalinou
Junkers Jumo 207B,C	-	Německo	735/1000	3000	16 620	6	16,2	Řadový s protiběž. písty	105x(2x160)	865	Chl. kapalinou
Junkers Jumo 207D	-	Německo	735/1000	3000	18 200	6	-	Řadový s protiběž. písty	110x(2x160)	-	Chl. kapalinou
Junkers Jumo 208A,B	1941	Německo	1100/1500	2800	25 500	6	-	Řadový s protiběž. písty	130x(2x160)	-	Chl. kapalinou
Junkers Jumo 209	-	Německo	736/1000	-	-	6	-	Řadový s protiběž. písty	-	-	Chl. kapalinou
Junkers Jumo 223	1939	Německo	1620/2200	4400	29 000	24	-	Do čtverce s prot. p.	80x(2x120)	1400	Chl. kapalinou
Junkers Jumo 224	-	Něm./SSSR	2650/3600	-	68 000	24	-	Do čtverce s prot. p.	-	-	Chl. kapalinou
Walter Jumo 4 (lic.Jumo)	1931	ČSR	530/721	1800	28 600	6	16,6	Řadový s protiběž. písty	120x(2x210)	800	Chl. kapalinou
Napier Culverin (lic.Jumo)	1933	Británie	552/751	1800	28 600	6	17	Řadový s protiběž. písty	120x(2x210)	750	Chl. kapalinou
Napier Cutlass (lic.Jumo)	1933	Británie	647/880	2800	16 620	6	16,7	Řadový s protiběž. písty	105x(2x160)	595	Chl. kapalinou
ZOD-260	1933	ČSR	221/300	1650	13 250	9	15	Hvězdicový	120x130	299	Chl. vzduchem

Příloha 1 Tab. historického přehledu dvoudobých vznětových leteckých motorů



JUNKERS JUMO 205D

Příloha 2 Junkers Jumo 205D [11]



Příloha 3 Napier Deltic [31]