

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Využití energie spalovacího motoru

Autor: **Luděk PRAŽÁK**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Ladislav NĚMEC, CSc.**

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

Jméno a příjmení: **Luděk PRAŽÁK**
Osobní číslo: **S13B0239P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Využití energie spalovacího motoru**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Cílem práce je provést srovnání spalovacího procesu dvoudobého a čtyřdobého motoru o stejném obsahu výčet a hodnocení energetických ztrát. Zhodnotit nezbytnost ztrát a vypočítat výkon využitelný pro pohyb vozidla. Vybrat vhodné motory, ke kterým je možné zjistit potřebné údaje. Srovnat množství energie, které je možné získat, a které dokážeme využít. Uvést některá konstrukční řešení, která jsou používána pro zvýšení míry účinnosti spalovacích motorů.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Představit vybrané motory, vypočítat jejich teoretický výkon a porovnat s výkonem uváděným. Vypočítat množství energie získané podle uváděné spotřeby a její využití.
2. Provést analýzu energetických ztrát obou spalovacích motorů, vzít v úvahu širší spektrum vlivů, které mají na ztráty energie vliv.
3. Na základě analýzy provést hodnocení obou motorů z hlediska předností a nedostatků.
4. Na jednom z motorů vybrat tři konstrukční prvky, které pozitivně ovlivňují hospodaření s energií a důkladně popsat jejich význam v motoru.
5. Jeden z vybraných prvků namodelovat ve 3D, nakreslit výkres podstavy a výrobní výkres jedné součásti.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

VYKOUKAL, R. *Dvoudobé motory vozidlové.* Praha: STNL, 1957

VLK, F. *Vozidlové spalovací motory.* Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2003

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jan Roubal**
Expert z praxe
Datum zadání bakalářské práce: **21. září 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2016**


Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 21. září 2015

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

Podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Doc. Ing. Ladislavu Němcovi, CSc., za odborné vedení práce a rady k samotnému zpracování práce.

Dále děkuji Ing. Janu Roubalovi za odborné konzultace a cenné připomínky k řešení této práce.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Pražák	Jméno Luděk		
STUDIJNÍ OBOR	23-35-8 „Dopravní a manipulační technika“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Němec, CSc.		Jméno Ladislav	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Využití energie spalovacího motoru			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	47	TEXTOVÁ ČÁST	43	GRAFICKÁ ČÁST	4
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Obsahem této práce je porovnání vybraných dvoudobých a čtyřdobých motorů o stejném zdvihovém objemu. Měřítkem pro porovnání motorů jsou litrový výkon, spotřeba, množství dodané energie a účinnost. Dále práce pojednává o velikosti a nutnosti ztrát při konstrukci motorů.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Dvoudobý motor, čtyřdobý motor, motor, píst, klikový hřídel, návrh, výkon.</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Pražák	Name Luděk	
FIELD OF STUDY	23-35-8 “Transport and handling machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Němec, CSc.	Name Ladislav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Use of energy from a combustion engine		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2016
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	47	TEXT PART	43	GRAPHICAL PART	4
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	A content of this thesis is the comparison of selected two-stroke and four-stroke engines of the same displacement volume. Benchmark for comparison engines are liter performances, consumption, the amount of supplied energy and efficiency. Further work is about the size of losses and need for the construction of engines.
KEY WORDS	Two - stroke engine, four - stroke engine, engine, piston, crankshaft, design and performance.

Obsah

Použitá označení.....	9
1. Úvod.....	10
2. Pracovní oběhy.....	10
2.1. Dvoudobý motor.....	10
2.2. Čtyřdobý motor.....	12
3. Představení vybraných motorů.....	14
3.1. Dvoudobé motory.....	14
3.1.1. JAWA.....	14
3.1.2. MZ.....	17
3.1.3. KTM.....	19
3.2. Čtyřdobé motory.....	20
3.2.1. BSA.....	20
3.2.2. LIFAN.....	21
3.2.3. KTM.....	22
4. Výpočty.....	23
4.1. Skutečné hodnoty – pro porovnání motorů.....	23
4.2. Teoretické hodnoty – konstrukční návrh motoru.....	29
5. Porovnání motorů.....	32
5.1. Porovnání JAWA – BSA – MZ – LIFAN.....	32
5.2. Porovnání MZ – LIFAN – KTM – KTM.....	33
5.3. Porovnání teoretických a skutečných hodnot motoru JAWA.....	34
5.4. Obecné porovnání dvoudobého a čtyřdobého motoru.....	35
6. Základní parametry ovlivňující spalování a konstrukci motorů - shrnutí.....	36
7. Konstrukční prvky a jejich význam v motoru.....	38
7.1. Klikový hřídel.....	38
7.2. Ojnice.....	39
7.3. Píst.....	39
8. Závěr.....	41
9. Seznam použité literatury.....	42
10. Seznam obrázků.....	43
11. Seznam tabulek.....	43
12. Seznam příloh.....	43

Použitá označení

c_S	$[m \cdot s^{-1}]$	střední pístová rychlost
c_{max}	$[m \cdot s^{-1}]$	maximální pístová rychlost
D	$[mm]$	vnitřní průměr válce (vrtání)
$DÚ$		dolní úvrať
E_P	$[J]$	přivedená energie palivem
E_{PSK}	$[J]$	využitelná energie (skutečná)
H_U	$[J \cdot kg^{-1}]$	dolní výhřevnost paliva
$HÚ$		horní úvrať
i_V	$[-]$	počet válců
M_P	$[l]$	spotřeba
m_{PA}	$[kg]$	hmotnost paliva nasátého během 1 cyklu motoru
m_{PAmax}	$[g \cdot kW^{-1} \cdot h^{-1}]$	porovnatelná spotřeba paliva
m_{PAmax}	$[l \cdot 100km^{-1}]$	uživatelská spotřeba paliva
m_S	$[kg]$	hmotnost nasáté palivové směsi
M_t	$[Nm]$	točivý moment motoru
M_{tt}	$[Nm]$	teoretický točivý moment motoru
n	$[ot \cdot min^{-1}]$	otáčky motoru
n_{max}	$[ot \cdot min^{-1}]$	maximální otáčky motoru
p_a	$[MPa]$	atmosférický tlak
p_e	$[MPa]$	střední efektivní tlak
P_e	$[kW]$	efektivní výkon motoru
P_l	$[kW]$	litrový výkon motoru
P_t	$[kW]$	teoretický výkon motoru
r	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná plynová konstanta
Sp	$[-]$	stechiometrický poměr
t	$[°C]$	teplota nasávaného vzduchu
T	$[K]$	teplota nasávaného vzduchu
V	$[m^3]$	objem nasáté směsi
V_C	$[cm^3]$	celkový objem
V_K	$[cm^3]$	kompresní objem
v_{max}	$[km \cdot h^{-1}]$	maximální rychlost vozidla
V_Z	$[cm^3]$	zdvihový objem
Z	$[mm]$	zdvih pístu
ε	$[-]$	kompresní poměr
λ	$[-]$	směšovací poměr
ξ	$[-]$	zdvihový poměr
ρ	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota paliva
τ	$[-]$	počet zdvihů za 1 pracovní oběh motoru
ω	$[rad \cdot s^{-1}]$	úhlová rychlost

1. Úvod

Technika se neustále vyvíjí, nejinak je tomu i u motorů. Od sestrojení prvního motoru uběhla již pěkná doba a lidstvo tento skvělý vynález neustále zlepšuje. Proto je cílem následující práce provést srovnání dvoudobých a čtyřdobých motorů mezi sebou a zároveň porovnat několik vývojových generací těchto motorů.

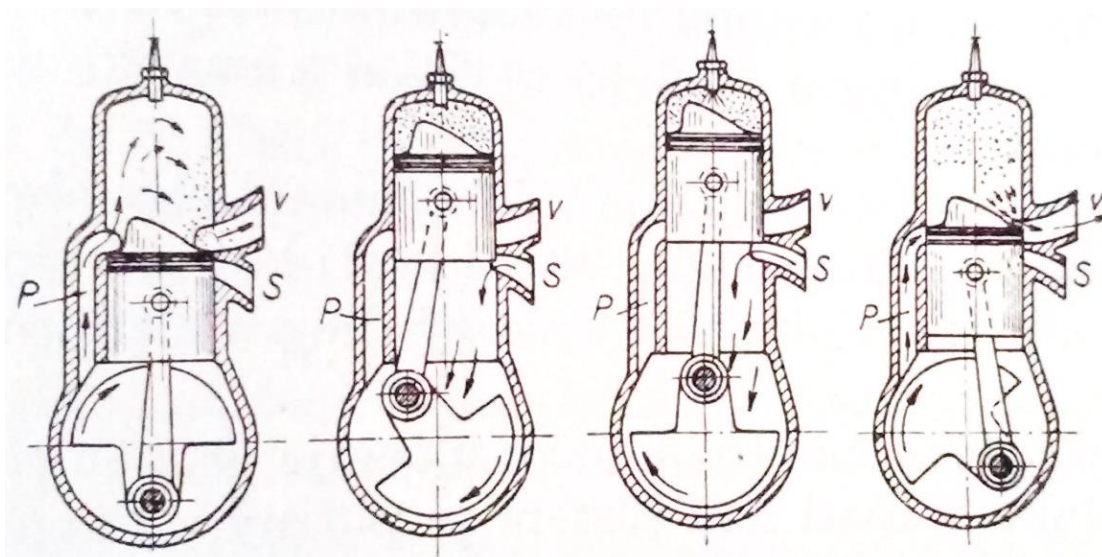
Obecně srovnáváme motory dle určitých kritérií. Nejčastěji to jsou zdvihový objem, výkon, točivý moment a v dnešní době především spotřeba.

2. Pracovní oběhy

2.1. Dvoudobý motor

Princip dvoudobého motoru je založen na provedení pracovního oběhu, tj. sání, stlačení, expanze a výfuku, za jednu otáčku klikového hřídele, tzn. za 2 pracovní zdvihy pístu. Přičemž pracovní cyklus, respektive výměna palivové směsi, probíhá nad i pod pístem a je řízena polohou pístu ve válci. Z toho vyplývá, že na činnosti dvoudobého motoru se podílí nejen píst, ale i válec a kliková skříň motoru.

Na obr. 1 je schematicky zakreslen nejjednodušší dvoudobý motor. Jedná se o tříkanálový motor s deflektorem na pístu. Sací kanál – S, přepouštěcí kanál – P a kanál výfukový – V.



Obr. 1: Pracovní oběh dvoudobého motoru [1]

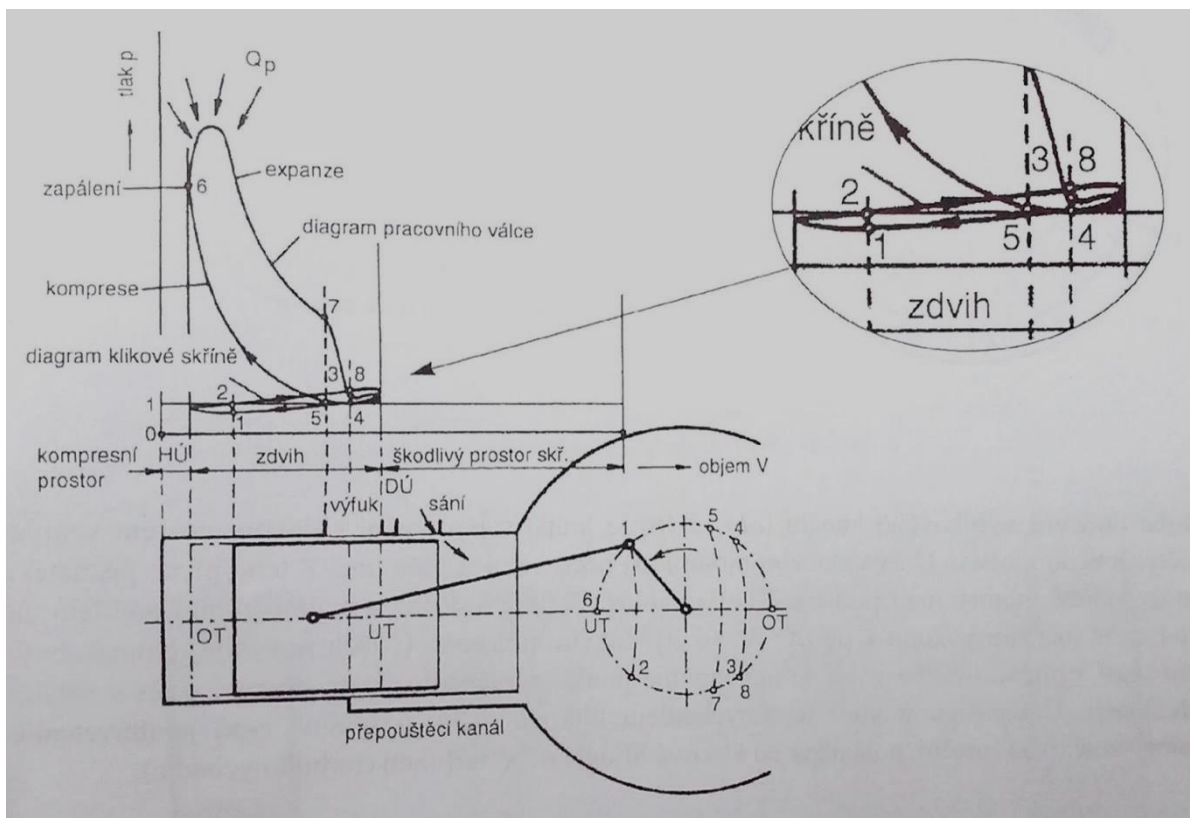
Činnost motoru na obrázku výše (obr. 1) je popsána od polohy pístu v dolní úvratí (DÚ) klikového hřídele. Do této polohy byl píst stlačen expanzí plynů, které již stačily uniknout

otevřeným výfukovým kanálem. Nyní začíná přepouštění směsi kanálem P. Směs vypláchně válec, čímž jej pomůže zbavit od zbytkových výfukových plynů. Bohužel v tomto okamžiku uniká do výfukového kanálu malé množství palivové směsi.

Při dalším natočení klikového hřídele dojde k uzavření přepouštěcího i výfukového kanálu a dochází ke stlačování pracovního média v prostoru nad pístem. Zároveň píst svým pohybem otevírá sací kanál S a vlivem podtlaku dochází k proudění palivové směsi do prostoru klikové skříně.

Když je píst v horní úvrati (HÚ) dojde k zažehnutí (pomocí svíčky) a následnému hoření stlačené směsi nad pístem. Hořením paliva vzniká tlak, který expanduje a působí na píst. Píst pohybující se z HÚ do DÚ koná práci a současně otevírá výfukový kanál. Dochází k úniku výfukových plynů mimo válec a celý cyklus se opakuje.

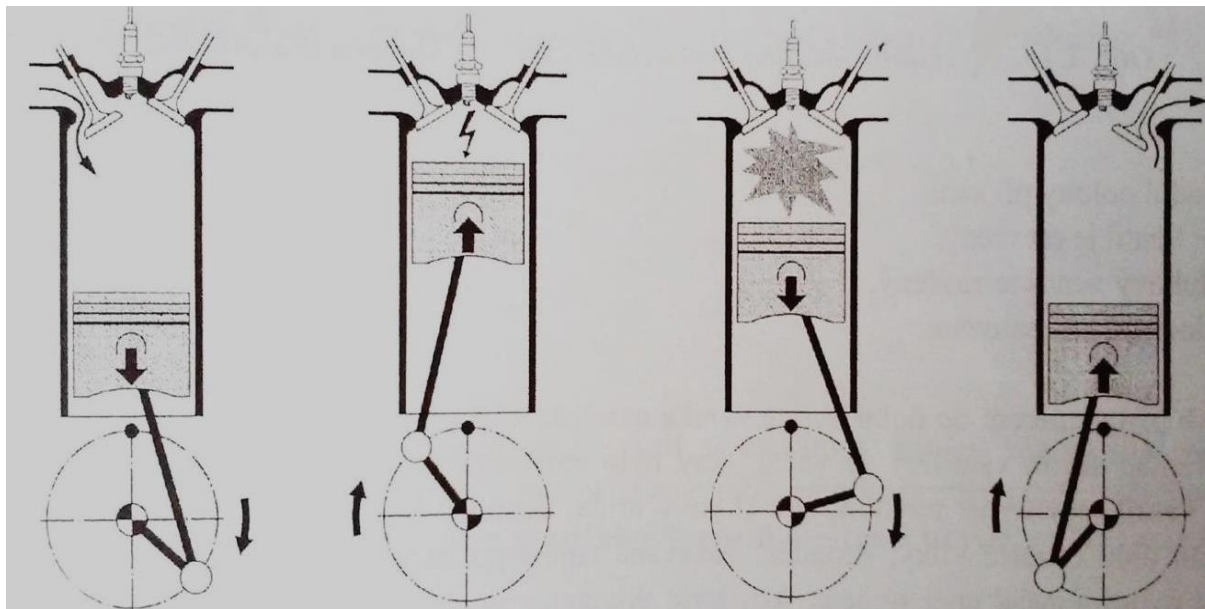
Na obr. 2 je uveden indikátorový diagram (p-V diagram) dvoudobého motoru. Pozornost bychom měli zaměřit především na diagram klikové skříně, kde vidíme, že kliková skříň spolu s pístem u dvoudobého motoru slouží jako pístové čerpadlo.



Obr. 2: Indikátorový diagram dvoudobého motoru [2]

2.2. Čtyřdobý motor

Oproti motorům dvoudobým je u motorů čtyřdobých pro vykonání celého pracovního oběhu potřeba dvou otočení klikového hřídele, čímž se uskuteční 4 pracovní zdvihy pístu. Je tedy patrné, že každá fáze pracovního cyklu (sání, stlačení, expanze, výfuk) se uskuteční při jednom zdvihu pístu. K výměně palivové náplně dochází pouze v prostoru nad pístem.

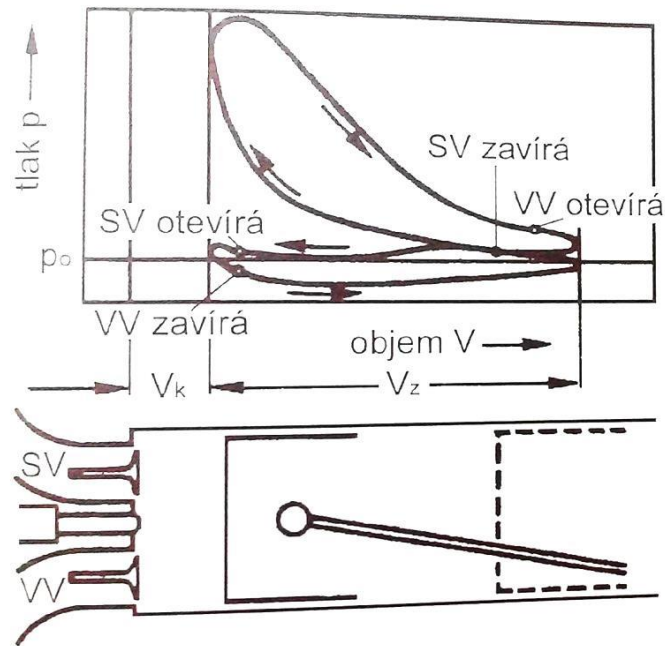


Obr. 3: Pracovní oběh čtyřdobého motoru [2]

Na obr. 3 jsou znázorněny fáze pracovního cyklu čtyřdobého motoru. Činnost začíná sáním paliva při pohybu pístu z HÚ do DÚ. Sací kanál není otevírán pístem, jako v případě dvoudobého motoru, nýbrž ventilem, který je ovládán vačkovým hřídelem spřaženým s otáčkami motoru (vačkový hřídel má otáčky poloviční).

Po nasátí směsi do válce následuje stlačení (druhé zleva). Během tohoto pohybu musíme motoru dodávat energii. To platí i pro dvoudobý motor. V HÚ dochází k zažehnutí stlačené směsi, což má za následek expanzi plynů a tedy vykonání práce. Píst se pohybuje do DÚ.

Při dalším pracovním zdvihu pístu dojde k otevření výfukového ventilu a vytlačení zplodin hoření do výfuku. Následuje opět sání a celý cyklus se opakuje.



Obr. 4: Indikátorový diagram čtyřdobého motoru [2]

Obr. 4 ilustruje p-V diagram, tzv. indikátorový diagram, čtyřdobého motoru. Na tomto diagramu je znázorněn průběh tlaku v závislosti na objemu válce při měnící se poloze pístu během jednoho pracovního cyklu motoru. Sání a výfuk jsou v diagramu reprezentovány zkratkami, sací ventil – SV, výfukový ventil – VV, kompresní poměr V_k a zdvihový objem V_z .

3. Představení vybraných motorů

Motory vybrané pro porovnání v bakalářské práci jsou všechny motocyklové o zdvihovém objemu 250 cm^3 a jako palivo je používán benzín.

3.1. Dvoudobé motory

3.1.1. JAWA

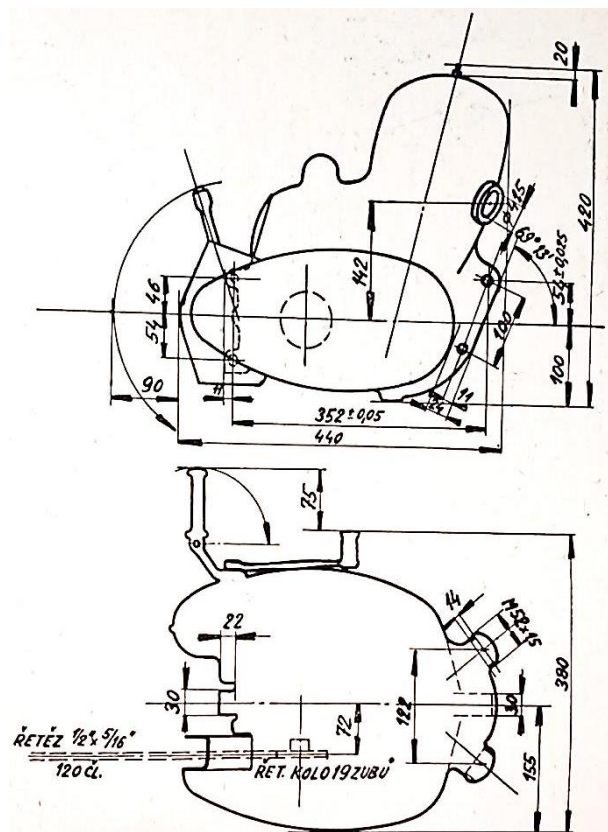
Jedná se o motor z motocyklu Jawa 250, typ 353/03. Tento motocykl se vyráběl od roku 1954 do roku 1970. Samozřejmě za tuto dobu prošel vývojem. Motocykl byl určen na každodenní ježdění s velkou životností všech jeho částí. Porovnávaný motor pochází z roku 1956.

Technické údaje motoru:

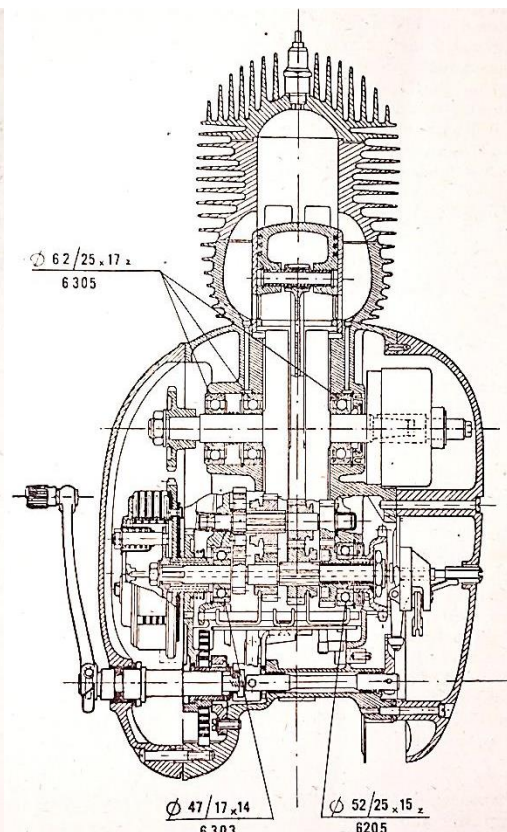
Druh motoru	dvoudobý, zážehový, vzduchem chlazený
Počet válců	$i_V = 1$
Vrtání	$D = 65 \text{ mm}$
Zdvih	$Z = 75 \text{ mm}$
Zdvihový objem	$V_Z = 248,87 \text{ cm}^3$
Kompresní poměr	$\varepsilon = 6,6 : 1$
Výkon	$P_e = 8,8 \text{ kW} / 4750 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$
Spotřeba	$M_p = 3,2 \text{ l} / 100 \text{ km} (60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1})$



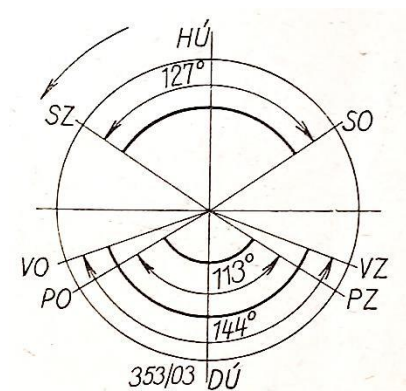
Obr. 5: Jawa 250, typ 353/03 [7]



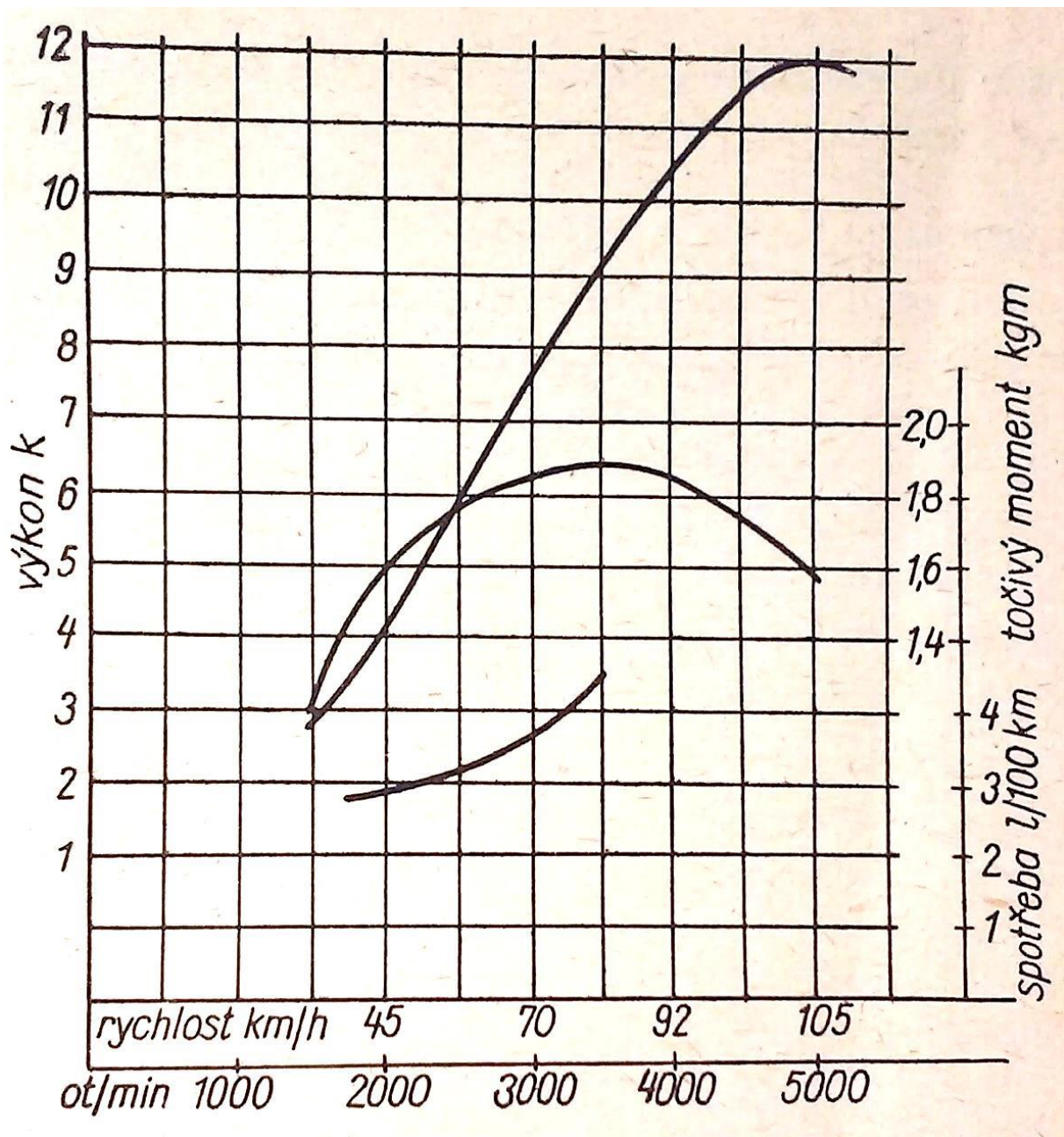
Obr. 6: Rozměrový náčrt motoru [3]



Obr. 7: Řez motorem Jawa 250, typ 353/03 [3]



Obr. 8: Rozvodový diagram motoru Jawa 250, typ 353/03 [3]



Obr. 9: Diagram výkonu, točivého momentu a spotřeby paliva. Jawa 250, typ 353/03 [3]

3.1.2. MZ

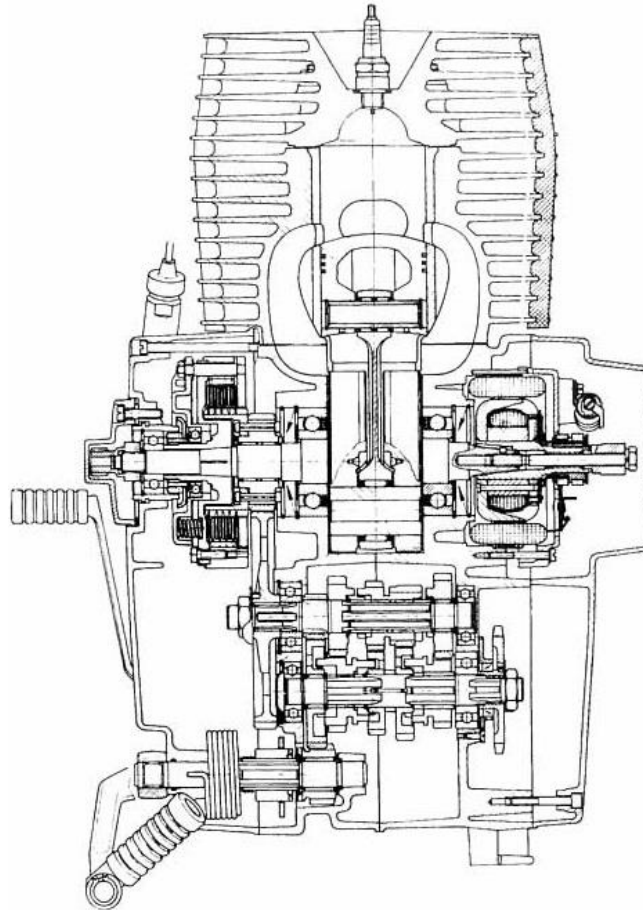
Další motor je z motocyklu MZ ETZ 251. Motocykl byl vyráběn mezi lety 1989 a 1993 a byl určen pro každodenní ježdění.

Technické údaje motoru:

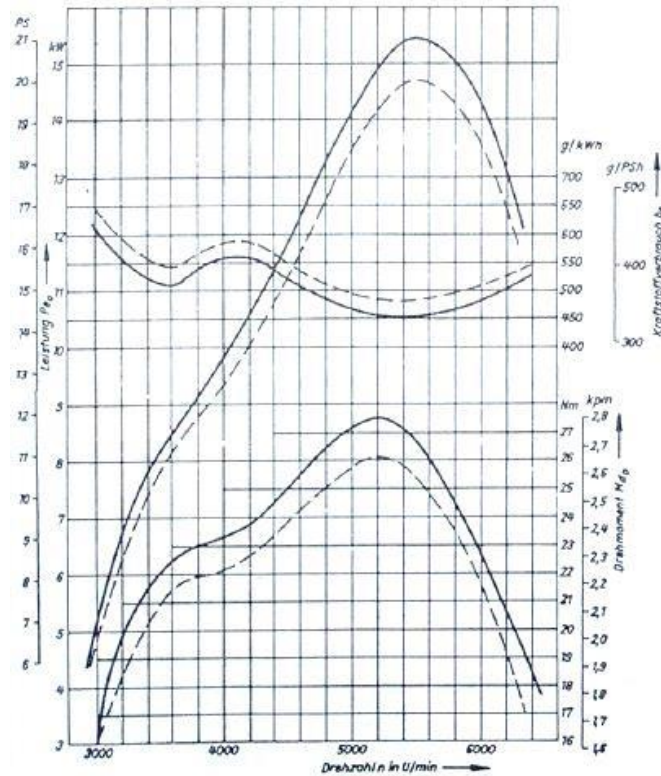
Druh motoru	dvoudobý, zážehový, vzduchem chlazený
Počet válců	$i_V = 1$
Vrtání	$D = 69 \text{ mm}$
Zdvih	$Z = 65 \text{ mm}$
Zdvihový objem	$V_Z = 243,05 \text{ cm}^3$
Kompresní poměr	$\varepsilon = 10 : 1$
Výkon	$P_e = 15,4 \text{ kW} / 5500 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$
Spotřeba	$M_p = 3,5 \div 5 \text{ l} / 60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$



Obr. 10: MZ ETZ 251 [8]



Obr. 11: Řez motorem MZ ETZ 251 [5]



Obr. 12: Diagram výkonu, točivého momentu a spotřeby paliva motoru MZ ETZ 251 [4]

3.1.3. KTM

Pro porovnání a vizualizaci směru vývoje motorů je zde uveden motor motocyklu KTM 250 SX. Jedná se o motocykl určený pro motokros, model 2016.

Technické údaje motoru:

Druh motoru	dvoudobý, zážehový, vodou chlazený
Počet válců	$i_V = 1$
Vrtání	$D = 66,4 \text{ mm}$
Zdvih	$Z = 72 \text{ mm}$
Zdvihový objem	$V_Z = 249,32 \text{ cm}^3$
Kompresní poměr	$\varepsilon = 10,6 : 1$
Výkon	$P_e = 41 \text{ kW}/8000 \text{ min}^{-1}$
Spotřeba	neuveдена

Jelikož se jedná o nový motocykl, je téměř nemožné sehnat rozvodové diagramy a další dokumentaci. Mohla by být zneužita v konkurenčním boji výrobců motocyklů.



Obr. 13: KTM 250 SX [9]

3.2. Čtyřdobé motory

3.2.1. BSA

Prvním uvedeným motocyklem s čtyřdobým motorem je britský BSA C15. Vyráběn byl mezi roky 1958 až 1967. Určen byl především pro každodenní provoz.

Technické údaje motoru:

Druh motoru	čtyřdobý OHV, zážehový, vzduchem chlazený
Počet válců	$i_V = 1$
Vrtání	$D = 67 \text{ mm}$
Zdvih	$Z = 70 \text{ mm}$
Zdvihový objem	$V_Z = 249,80 \text{ cm}^3$
Kompresní poměr	$\varepsilon = 7,5 : 1$
Výkon	$P_e = 11 \text{ kW}/5000 \text{ min}^{-1}$
Spotřeba	neuveдена



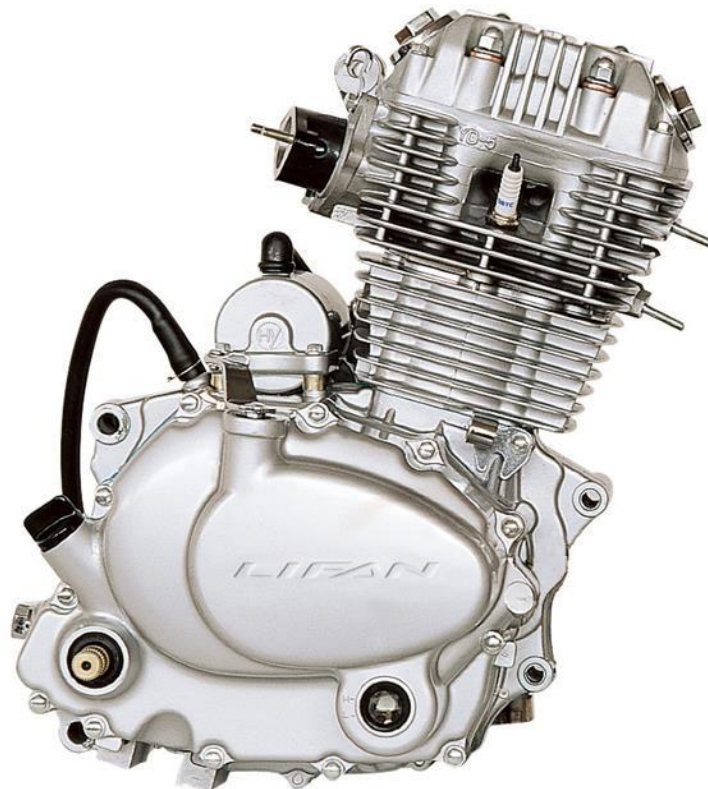
Obr. 14: BSA C 15 [10]

3.2.2. LIFAN

Dalším uvedeným motorem je čtyřdobý jednoválec Lifan, model 165FMM. Jedná se o motor čínského výrobce Lifan. Konceptuálně vychází z motorů Yamaha a Honda z roku přibližně 1995. Tento motor je určen do motocyklů na denní ježdění například do zaměstnání, proto je často označován jako „nezničitelný motor.“

Technické údaje motoru:

Druh motoru	čtyřdobý OHC, zážehový, vzduchem chlazený
Počet válců	$i_V = 1$
Vrtání	$D = 65,5 \text{ mm}$
Zdvih	$Z = 66,2 \text{ mm}$
Zdvihový objem	$V_Z = 223,06 \text{ cm}^3$
Kompresní poměr	$\varepsilon = 9,1 : 1$
Výkon	$P_e = 12,5 \text{ kW}/7500 \text{ min}^{-1}$
Spotřeba	$m_p = 354 \text{ g} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$



Obr. 15: Motor Lifan 165 FMM [11]

3.2.3. KTM

Jako poslední je uveden motor motocyklu KTM 250 SX-F, model 2016. Motocykl je určen pro motokros. Jelikož se jedná o nový motocykl určený pro závodní využití nelze zjistit spotřebu ani jiné potřebné údaje.

Technické údaje motoru:

Druh motoru	čtyřdobý DOHC, zážehový, vodou chlazený
Počet válců	$i_V = 1$
Vrtání	$D = 78 \text{ mm}$
Zdvih	$Z = 52,3 \text{ mm}$
Zdvihový objem	$V_Z = 249,91 \text{ cm}^3$
Kompresní poměr	$\varepsilon = 14,4 : 1$
Výkon	$P_e = 34 \text{ kW}/14000 \text{ min}^{-1}$
Spotřeba	neuveдена



Obr. 16: KTM 250 SX-F [12]

4. Výpočty

Výpočty jsou ukázkově provedeny pro motor Jawa 250, typ 353/03. O tomto motoru je možné zjistit nejvíce informací. Pro ostatní motory platí stejné vzorce.

Technické údaje motoru:

Druh motoru	dvoudobý, zážehový, vzduchem chlazený
Počet válců	$i_V = 1$
Vrtání	$D = 65 \text{ mm}$
Zdvih	$Z = 75 \text{ mm}$
Zdvihový objem	$V_Z = 248,87 \text{ cm}^3$
Kompresní poměr	$\varepsilon = 6,6 : 1$
Výkon	$P_e = 8,8 \text{ kW}/4750 \text{ min}^{-1}$
Spotřeba	$M_P = 3,2 \text{ l} / 100\text{km} (60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1})$

4.1. Skutečné hodnoty – pro porovnání motorů

Zdvihový objem

Zdvihový objem je dán parametry válce – vrtáním a zdvihem.

$$V_Z = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot Z$$

$$V_Z = \frac{\pi \cdot 65^2}{4} \cdot 75 = 248873 \text{ mm}^3 = 248,87 \text{ cm}^3$$

Kompresní objem

Kompresní objem je dán kompresním poměrem a jedná se o objem spalovacího prostoru v hlavě, případně v pístu motoru. Do tohoto objemu je stlačován objem zdvihový.

$$V_K = \frac{V_Z}{\varepsilon - 1}$$

$$V_K = \frac{248,87}{6,6 - 1} = 44,44 \text{ cm}^3$$

Celkový objem

Celkový objem motoru je dán součtem objemů zdvihového a kompresního.

$$V_C = V_Z + V_K$$
$$V_C = 248,87 + 44,44 = 293,31 \text{ cm}^3$$

Zdvihový poměr

Jedná se o podíl zdvihu a průměru válce. Určuje provozní a konstrukční vlastnosti motoru.

$$\xi = \frac{Z}{D}$$
$$\xi = \frac{75}{65} = 1,15$$

Litrový výkon

Chceme-li porovnávat různé motory z hlediska výkonu, je nutné určit výkon na jednotku objemu. Nejčastěji uváděný výkon pro porovnávání je výkon litrový. Díky tomuto přepočtu můžeme porovnat motory různých konstrukcí a objemů.

$$P_l = \frac{P_e \cdot 1000}{V_Z \cdot i_V}$$
$$P_l = \frac{8,8 \cdot 1000}{248,87 \cdot 1} = 35,36 \text{ kW} \cdot \text{dm}^{-3} = 35,36 \text{ kW} \cdot \text{l}^{-1}$$

Točivý moment motoru

Jedním z výkonových parametrů motoru je točivý moment. Ten určíme z efektivního výkonu a otáček.

$$M_t = \frac{P_e}{\omega} = \frac{P_e}{2 \cdot \pi \cdot n}$$
$$M_t = \frac{8,8 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot \frac{4750}{60}} = 17,7 \text{ Nm}$$

Střední pístová rychlost

Důležitým parametrem pro vzájemné porovnání především z hlediska životnosti motoru je střední pístová rychlost. Jedná se o součin otáček a dráhy pístu za jedno otočení klikového hřídele.

$$c_s = 2 \cdot Z \cdot \frac{n}{60}$$
$$c_s = 2 \cdot \frac{75}{1000} \cdot \frac{4750}{60} = 11,88 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Střední efektivní tlak

Důležitým parametrem při konstrukci motorů je střední efektivní tlak plynů konajících práci. Výkon motoru přímo úměrně závisí právě na středním efektivním tlaku, to znamená, že zvýšíme-li střední efektivní tlak, vzroste i výkon motoru.

$$p_e = \frac{60 \cdot \tau \cdot P_e}{V_z \cdot n \cdot 2 \cdot i_v}$$
$$p_e = \frac{2 \cdot 60 \cdot 8,8 \cdot 10^3}{248,87 \cdot 10^{-6} \cdot 4750 \cdot 2 \cdot 1} = 446645 \text{ Pa} = 0,45 \text{ MPa}$$

Spotřeba paliva

Uvažujme následující hodnoty:

Atmosférický tlak	$p = p_a = 100000 \text{ Pa}$
Teplota vzduchu	$t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
Měrná plynová konstanta	$r = 287,04 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Stechiometrický poměr	$Sp = 14,7$
Směšovací poměr	$\lambda = 0,95$
Hustota paliva	$\rho = 710 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Dalším ze srovnávaných výkonových parametrů je spotřeba paliva. Pro její stanovení musíme nejprve určit hmotnost nasáté směsi během jednoho cyklu. To provedeme úpravou stavové rovnice pro ideální plyn.

$$p \cdot V = m \cdot r \cdot T$$

$$m = \frac{p \cdot V}{r \cdot T}$$

Kde m je hmotnost nasáté směsi [kg], p je tlak nasáté směsi [Pa], V je objem nasáté směsi [m^3], r je univerzální plynová konstanta [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] a T je teplota vstupní směsi [K].

$$m_s = \frac{p_a \cdot V_C}{r \cdot T}$$

$$m_s = \frac{100000 \cdot 293,31 \cdot 10^{-6}}{287,04 \cdot (273,15 + 20)} = 3,49 \cdot 10^{-4} \text{ kg} = 0,349 \text{ g}$$

Nyní z hmotnosti nasáté směsi určíme hmotnost paliva. Pro tento účel nám poslouží stechiometrický poměr. To je poměr vzduchu a paliva, při kterém dochází k nejlepšímu spalování palivové směsi. Předpokládáme, že motor pracuje s mírně bohatou směsí, tzn. ve směsi je více paliva, než udává stechiometrický poměr.

$$m_{PA} = \frac{m_s}{1 + \lambda \cdot Sp}$$

$$m_{PA} = \frac{3,49 \cdot 10^{-4}}{1 + 0,95 \cdot 14,7} = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ kg} = 0,023 \text{ g}$$

Získanou hmotnost paliva převedeme na porovnatelné hodnoty spotřeby tak, jako v případě výkonu. U všech motorů budeme porovnávat spotřebu při maximálních otáčkách a maximálním výkonu.

$$m_{PAmax} = \frac{m_{PA} \cdot n \cdot 60}{P_e}$$

$$m_{PAmax} = \frac{0,023 \cdot 4750 \cdot 60}{8,8} = 754,37 \text{ g} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$$

Pro uživatelsky lepší porovnatelnost je uveden i orientační výpočet spotřeby paliva na 100 kilometrů jízdy. Do tohoto výpočtu je nutné dosadit rychlost vozidla. Jsou uvažovány maximální otáčky, maximální výkon a také maximální rychlost vozidla.

$$m_{PAmax} \left[\frac{l}{100 \text{ km}} \right] = \frac{10^5 \cdot m_{PAmax} [\text{kg} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \cdot P_e}{v_{max} \cdot \rho}$$

$$m_{PAmax} \left[\frac{l}{100 \text{ km}} \right] = \frac{10^5 \cdot 0,75437 \cdot 8,8}{105 \cdot 710} = 8,7 \frac{l}{100 \text{ km}}$$

Pozn.: U ostatních motorů, respektive motocyklů, bylo nutné odhadnout maximální rychlost, protože tento údaj výrobce neuvádí.

Množství přivedené energie

Z potřebného množství paliva na 1 oběh můžeme určit i množství přivedené energie palivem:

$$E_P = m_{PA} \cdot H_U,$$

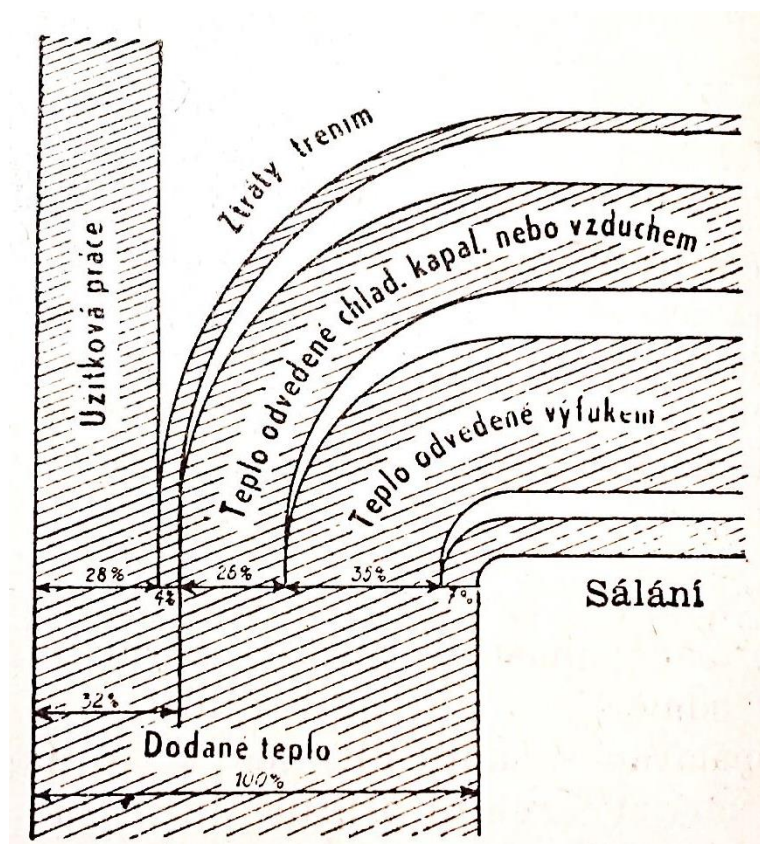
kde E_P je přivedená energie (teplo) [J], m_{PA} je hmotnost přivedeného paliva za 1 pracovní cyklus [kg] a H_U je dolní výhřevnost použitého paliva [$J \cdot kg^{-1}$].

$$E_P = 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot 44 \cdot 10^6 = 1012 J$$

Nyní jsme vypočítali množství dodané energie za jeden spalovací cyklus motoru. Pro činnou práci motoru jsme schopni využít přibližně 25 % této energie, tj. níž než dolní hranice využitelnosti tepelné energie (viz Sankvayův diagram - obr. 17.). Důvodem je především ztrátový rozvod dvoudobého motoru, nutnost překonání mechanických ztrát a také vysoká úroveň tepla ztraceného výfukem a chlazením. Výsledkem je skutečná hodnota využití energie:

$$E_{PSK} = 0,25 \cdot E_P$$

$$E_{PSK} = 0,25 \cdot 1012 = 253 J$$



Obr. 17: Energetická bilance obecného pístového spalovacího motoru [13]

Vypočtené hodnoty pro ostatní porovnávané motory jsou počítány dle stejných vzorců. Přehled výsledků viz tabulka 1.

Tabulka 1: Porovnávané hodnoty motorů

Typ motorů		Dvoudobé			Čtyřdobé		
Výrobce		Jawa	MZ	KTM	BSA	Lifan	KTM
Motor - typ		353/03	ETZ 251	250 SX	C15	165 FMM	250 SX-F
Rok		1956	1985	2016	1962	2000	2016
Rozvod		Píst	Píst	Membrána	OHV	OHC	DOHC
Chladičí médium		Vzduch	Vzduch	Voda	Vzduch	Vzduch	Voda
Počet válců	$i_v [-]$	1	1	1	1	1	1
Počet zdvihů za oběh	$\tau [-]$	2			4		
Vrtání	D [mm]	65,0	69,0	66,4	67,0	65,5	78,0
Zdvih	Z [mm]	75,0	65,0	72,0	70,0	66,2	52,3
Výkon	P_e [kW]	8,8	15,4	41,0	11,0	12,5	34,0
Otáčky	n [ot/min]	4750	5500	8000	5000	7500	14000
Kompresní poměr x:1	$\epsilon [-]$	6,6	10,0	10,6	7,5	9,1	14,4
Zdvihový objem	V_z [cm ³]	248,87	243,05	249,32	246,80	223,06	249,91
Kompresní objem	V_k [cm ³]	44,44	27,01	25,97	37,97	27,54	18,65
Celkový objem	V_c [cm ³]	293,31	270,06	275,29	284,76	250,60	268,56
Zdvihový poměr	$\xi [-]$	1,15	0,94	1,08	1,04	1,01	0,67
Litrový výkon	P_l [kW/dm ³]	35,36	63,36	164,45	44,57	56,04	136,05
Střední efektivní tlak	p_e [Mpa]	0,45	0,69	1,23	1,07	0,90	1,17
Střední pístová rychlost	c_s [m/s]	11,88	11,92	19,20	11,67	16,55	24,41
Točivý moment	M_t [Nm]	17,7	26,7	48,9	21,0	15,9	23,2
Hmotnost nasáté směsi	m_s [g]	0,349	0,321	0,327	0,338	0,298	0,319
Hmotnost paliva	m_{pA} [g]	0,023	0,021	0,022	0,023	0,020	0,021
Spotřeba paliva při max. otáčkách	m_{pAmax} [g/(kW*h)]	754,4	459,6	255,9	308,4	358,2	263,5
	m_{pAmax} [l/100km]	8,7	7,5	11,1	4,6	6,1	9,4
Přivedená energie	E_p [J]	1024,9	943,6	961,9	995,0	875,6	938,4
Využitá energie (25%)	E_{psk} [J]	256,2	235,9	240,5	248,8	218,9	234,6

Pozn.: Tabulka 1 ve větším měřítku je přílohou bakalářské práce.

4.2. Teoretické hodnoty – konstrukční návrh motoru

Před začátkem konstruování motorů je nutné určit základní konstrukční rozměry a výkonové parametry. Proto se nyní pokusíme určit základní (teoretické) konstrukční parametry motoru Jawa 250, typ 353/03.

Zdvihový objem, zdvihový poměr

Prvotním požadavkem je určení „kubatury“ a vlastností motoru. Zdvihový objem a vlastnosti motoru jsou dány pracovními parametry válce – vrtáním a zdvihem. Při počátečním určování těchto rozměrů (vnitřní průměr válce a zdvih pístu) vycházíme z rovnic pro zdvihový objem a zdvihový poměr.

Zvolené vlastnosti budou respektovat rozměry motoru Jawa 250. Bude se jednat o jednoválcový dlouhozdvihový, tzv. nadčtvercový motor.

Rozměry:

Počet válců	$i_V = 1$
Počet zdvihů za oběh	$\tau = 2$
Vrtání	$D = 65 \text{ mm}$
Zdvih	$Z = 75 \text{ mm}$
Zdvihový objem	$V_Z = 248,87 \text{ cm}^3$
Maximální otáčky	$n_{max} = 4750 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$
Kompresní poměr	$\varepsilon = 6,6 : 1$

Ověření zdvihového objemu:

$$V_Z = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot Z$$
$$V_Z = \frac{\pi \cdot 65^2}{4} \cdot 75 = 248873 \text{ mm}^3 = 248,87 \text{ cm}^3$$

Ověření zdvihového poměru:

$$\xi = \frac{Z}{D}$$
$$\xi = \frac{75}{65} = 1,15 > 1 \Rightarrow \text{nadčtvercový motor}$$

Pozn.: Při návrhu nového motoru jsou tyto rovnice použity opačně. To znamená, že jsou z nich vypočteny rozměry D, Z .

Kompresní objem

Kompresní objem je udán kompresním poměrem, který je závislý především na antidetonačních vlastnostech paliva a typu motoru. Pro sériově vyráběné motory jsou hodnoty kompresního poměru relativně nízké, díky tomu se pak motor snáze startuje, je pružnější a má větší životnost. Na zřetel musíme také vzít dostupné materiály a technologie výroby pístů, válců a hlav válců.

Uvedený kompresní poměr pro motor $\varepsilon = 6,6 : 1$ může být z dnešního pohledu směšný, ale v roce 1956 byl standartní benzín s oktanovým číslem 70. Ze stanoveného kompresního poměru určíme objem spalovacího prostoru motoru.

$$\varepsilon = \frac{V_C}{V_K} = \frac{V_Z + V_K}{V_K}$$
$$V_K = \frac{V_Z}{\varepsilon - 1}$$
$$V_K = \frac{248,87}{6,6 - 1} = 44,44 \text{ cm}^3$$

Celkový objem

Celkový objem motoru je dán součtem objemů zdvihového a kompresního.

$$V_C = V_Z + V_K$$
$$V_C = 248,87 + 44,44 = 293,31 \text{ cm}^3$$

Střední pístová rychlost

Důležitým parametrem pro ověření je střední pístová rychlost. Tato rychlost ovlivňuje především životnost válce a pístních kroužků a také hlučnost motoru. Střední pístová rychlost by neměla u dvoudobých motocyklových motorů překročit hodnotu $c_{max} = 19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [2].

$$c_S = 2 \cdot Z \cdot \frac{n}{60}$$
$$c_S = 2 \cdot \frac{75}{1000} \cdot \frac{4750}{60} = 11,88 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$c_S < c_{max}$$

Teoretický výkon

Cílem každého konstruktéra v oblasti motorů je zvýšení výkonu a snížení spotřeby motoru. Námí navrhovaný motor bude teoreticky disponovat výkonem vypočteným níže.

Můžeme předpokládat následující hodnoty:

$p_e = 0,6 \text{ MPa}$... Jedná se o motor s nízkou kompresí a velkou životností.

$$P_t = \frac{2 \cdot n_{max} \cdot V_Z \cdot p_e \cdot i_V}{\tau}$$
$$P_t = \frac{2 \cdot \frac{4750}{60} \cdot 248,87 \cdot 10^{-6} \cdot 0,6 \cdot 10^6 \cdot 1}{2} = 11821 \text{ W} = 11,8 \text{ kW}$$

Pozn.: Skutečnou hodnotu středního efektivního tlaku získáme až po naměření indikátorového (p-V) diagramu ve zkušebně motorů.

Teoretický točivý moment

Z hlediska pohonu vozidla je také důležitý točivý moment dodávaný motorem.

$$M_{tt} = \frac{P_t}{\omega} = \frac{P_t}{2 \cdot \pi \cdot n_{max}}$$
$$M_{tt} = \frac{11,8 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot \frac{4750}{60}} = 23,7 \text{ Nm}$$

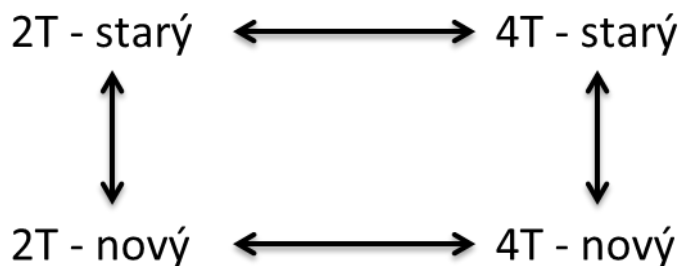
Spotřeba paliva

Jelikož jsme zachovali stejný celkový objem, bude spotřeba paliva za jeden oběh stejná jako v kapitole 4.1. Rozdílná bude pouze spotřeba v $[g \cdot kW^{-1} \cdot h^{-1}]$, protože závisí na výkonu.

$$m_{PAmax} = \frac{m_{PA} \cdot n \cdot 60}{P_t}$$
$$m_{PAmax} = \frac{0,023 \cdot 4750 \cdot 60}{11,8} = 562,58 \text{ g} \cdot kW^{-1} \cdot h^{-1}$$

5. Porovnání motorů

Porovnání modelů bude probíhat dle následujícího schématu, kde 2T znamená dvoudobý motor a 4T představuje motor čtyřdobý. Porovnávat mezi sebou budeme motor dvoudobý a čtyřdobý přibližně stejného roku výroby. Následně porovnáme různé generace motorů se stejnými oběhy. Porovnávané hodnoty viz tabulka 1.



Obr. 18: Schéma porovnávání motorů

5.1. Porovnání JAWA – BSA – MZ – LIFAN

Prvotním porovnáním parametrů vybraných motorů zjistíme, že u obou novějších motorů došlo k navýšení efektivního výkonu použitelného pro pohon vozidla, kompresního poměru a otáčkového rozsahu. Také si můžeme povšimnout, že se u čtyřdobého motoru změnil typ rozvodu z OHV na OHC.

Nyní si podrobněji rozebereme inovované parametry. Začneme kompresním poměrem. Zvýšením jeho hodnoty, tzn. zmenšením kompresního objemu v hlavě motoru, získáme vyšší tlak expandujících plynů na dno pístu. Vyšší tlak na píst znamená i vyšší sílu na klikový hřídel a tudíž i vyšší otáčky motoru. Výkon je přímo úměrný otáčkám motoru, takže zvýšením kompresního poměru se zvýší i výkon motoru. Nicméně kompresní poměr nejde zvyšovat do nekonečna. Více se o této problematice dozvíme v kapitole 6.

Změna rozvodu čtyřdobého motoru je celkem pochopitelná věc plynoucí z vlastností jednotlivých rozvodů. Rozvod OHV (Over – Head - Valves) má vačkový hřídel umístěn v těsné blízkosti klikového hřídele. Ventily umístěné v hlavě válce jsou ovládány zdvihátkou, která musí přenášet pohyb (zdvihy vačky) z prostoru klikové skříně do hlavy válce. Vidíme, že tento rozvod disponuje velkým počtem pohyblivých součástí a jejich setrvačných hmot. Limitován je také otáčkami. Naproti tomu rozvod typu OHC (Over – Head – Camshaft) má vačkový hřídel umístěn v hlavě válce a je poháněn řetězem nebo ozubeným řemenem. Je tedy skromnější na počet pohybujících se dílů a z toho plynou menší ztráty způsobené třením stykových ploch. Nevýhodou však je větší výška hlavy motoru.

Provedeme-li důkladnější porovnání motorů Jawa a BSA vidíme, že čtyřdobý motor disponuje větším litrovým výkonem při vyšších otáčkách a nižší spotřebou. Tyto údaje jsou pro běžného uživatele či zájemce o koupi motocyklu nejdůležitější. Naproti tomu dvoudobý motor má menší kompresní poměr, což by se mělo pozitivně projevit na snazším startování motoru a vyšší životnosti dílů motoru. Protože motor Jawa je dlouhozdvihové koncepce, má nižší střední pístovou rychlost. To se projeví menším namáháním klikového mechanismu a menším mechanickým opotřebením dílů. Z konstrukčního hlediska se proto mohly uplatnit „méně kvalitní“ materiály.

Při porovnání motorů MZ a Lifan je možné si povšimnout, že dvoudobý motor už má litrový výkon vyšší než motor čtyřdobý, ovšem za cenu vyšší spotřeby. Proti největším výhodám dvoudobého motoru, jednoduchosti a vyššímu měrnému výkonu opět vystupuje nevýhodná menší životnost motoru. Ta je způsobena obecně větším namáháním pohybujících se dílů v útrobach dvoudobých motorů (ložiska mazaná směsí paliva, okna kanálů ve stěnách válce, přesná poloha pístních kroužků, atd.) a zde i vyšším kompresním poměrem. Ovšem v tomto případě má čtyřdobý motor Lifan oproti motoru MZ vyšší střední pístovou rychlost, takže namáhání klikového mechanismu, pístu a válce u něj bude větší. I proto jsou na výrobu motoru Lifan použity kvalitnější materiály a přesnější způsoby výroby. I z fotografií obou motorů si lze povšimnout rozdílů v kvalitě zpracování hliníkových odlitků.

Srovnáním dvoudobých motorů Jawa a MZ dojdeme k závěru, že došlo ke skoro dvojnásobnému navýšení výkonu motoru při zvýšení otáček o 1750 min^{-1} . Tento skok je zapříčiněn změnou zdvihového poměru (z nadčtvercového na podčtvercový) a zvýšením kompresního poměru. Je zajímavé, že se i přes nárůst výkonu snížila spotřeba. A to především díky zmenšení kompresního prostoru v hlavě válce motocyklu MZ. Dále například motor Jawa má celolitínový válec, kdežto motor MZ má válec z hliníkové slitiny se zalitou litínovou vložkou. Druhý způsob umožňuje lepší chlazení válce. Zmenší se riziko zadření motoru, dále lze zmenšit vůle pístních kroužků a tím zvýšit jejich těsnost atd. Získáváme tím možnost dosažení vyššího výkonu. Motor je také díky tomuto řešení lehčí, což do jisté míry ovlivňuje energetické ztráty v motoru.

U motoru BSA a Lifan došlo především ke změně rozvodu motoru. Změna rozvodu společně se změnou zdvihového poměru však nepřinesla extrémní navýšení výkonu, ale spíše zvýšení otáčkového rozsahu motoru a nepatrné zvýšení spotřeby paliva. Je potřeba si uvědomit, že motor Lifan je konstruován především jako „nesmrtelný“ motor, který je schopný sloužit bez poruch a větší údržby několik desítek let, a to při minimální spotřebě paliva.

5.2. Porovnání MZ – LIFAN – KTM – KTM

Při pohledu na parametry obou motorů KTM zjišťujeme, že je až neuvěřitelné, kam technika pokročila za 60 let vývoje. Samozřejmě motory KTM jsou určeny pro motocyklovou sportovní disciplínu – motokros. Zde je nutný především vyšší výkon na úkor malé životnosti motoru, neboť motory musí být pravidelně servisovány. Příkladem může být výměna pístní

sady (píst, pístní kroužky, pístní čep) motoru 250 SX při proběhu 80 motohodin provozu běžným uživatelem, nebo 40 motohodin provozu profesionálním jezdce. Z toho je patrné, že z hlediska živostnosti se nemohou s motory MZ a Lifan poměřovat. Nicméně nové motory disponují mnohem vyšším litrovým výkonem, jiným typem rozvodu, vodním chlazením, řízeným zapalováním a například i vstřikováním paliva (250 SX - F).

Srovnání motoru MZ a Lifan bylo provedeno v předchozí kapitole, proto bude vynecháno. Pokud však porovnáme dvoutakt 250 SX a čtyřtakt 250 SX – F uvědomíme si, kam až dovedl lidský um tyto stroje. Veškeré konstrukční parametry jsou na maximálních hodnotách pro dané oběhy. Čtyřtaktní motor, který by měl mít díky spalování při každé druhé otáčce nevýhodu polovičního výkonu oproti motoru dvoutaktnímu, začíná po výkonové stránce motor dvoutaktní dohánět. Největší rozdíl mezi těmito motory je v použitém zdvihovém poměru, kdy motor čtyřdobý je podčtvercový ($\xi < 1$) a motor dvoutaktní je nadčtvercový ($\xi > 1$). Více o vlivu zdvihového poměru na konstrukci motoru se dozvíme v kapitole 6.

Vodním chlazením a změnou způsobu plnění (nasátí směsi do motoru je řízeno membránovým ventilem, který umožní delší dobu sání směsi) motoru KTM 250 SX došlo k nárůstu litrového výkonu o 160 % oproti motoru MZ. Zvýšil se kompresní poměr, zdvihový poměr, ale také se zvýšila i spotřeba paliva při maximálních otáčkách. Byly použity nejmodernější materiály. Pro příklad uvedeme válec obou motorů. Motor MZ má válec z hliníkové slitiny se zalisovanou litinovou vložkou. Motor KTM má taktéž válec z hliníkové slitiny, ale místo litinové vložky je vnitřní povrch válce opatřen tenkou vrstvou materiálu NICASIL, který má podstatně menší třecí ztráty. Nebo například klikový hřídel je uložen v ložiscích s plastovou klecí, která v ložiscích snižuje tření.

U čtyřdobých motorů KTM a Lifan došlo ke změně rozvodu motoru z OHC na DOHC, chlazení vzduchem je méně účinné, proto u závodního motoru je chlazení vodní. Dále se zvýšil kompresní poměr, střední efektivní tlak a snížil se zdvihový poměr, čímž radikálně vzrostla střední pístová rychlost. Potřeba vysokého výkonu s sebou samozřejmě přináší i větší spotřebu paliva.

Pro výrobu motoru KTM jsou použity nejmodernější materiály. Také při konstrukci nových motorů jsou intenzivně využívány počítačové simulace proudění směsi uvnitř motorů, protože v současnosti je nejdůležitější úpravou optimalizace průřezů kanálů, kterými proudí směs.

5.3. Porovnání teoretických a skutečných hodnot motoru JAWA

Při porovnání skutečných a teoretických parametrů motoru vidíme, že skutečný výkon je nižší než výkon předpokládaný. Teoretický výkon v sobě zahrnuje i množství ztrát, ke kterým v motoru dochází. Jsou to především ztráty třením. Dále je výkon počítán (odhadován) ze středního efektivního tlaku. Tento tlak není možné před zkonstruováním motoru přesně určit.

5.4. Obecné porovnání dvoudobého a čtyřdobého motoru

Rozdílem mezi dvoudobými a čtyřdobými motory je především schopnost dosáhnoutí dokonalého spalování směsi paliva a vzduchu. U čtyřdobých motorů je pro spalování směsi „vyčleněna“ jedna doba, následující doba je určena pro výfuk spalin. Tím je dosaženo relativně kvalitního spálení směsi a „dostatečného odevzdání“ energie dodané palivem. Naproti tomu v dvoudobém motoru dochází ke spalování směsi jen během části jedné doby, přičemž po otevření výfukového kanálu (před DÚ) unikají stále expandující výfukové plyny. Následně dochází k výplachu a promísení zbytku spalin s čerstvou směsí.

Z toho je patrné, že u čtyřdobých motorů jsme schopni lépe využít energii dodanou palivem, při menší produkci škodlivých látek.

Nicméně dvoudobé motory jsou obecně výkonnější při zachování stejného zdvihového objemu, mají jednodušší konstrukci, ale vyšší spotřebu.

Motory čtyřdobé jsou výhodnější v celkové nižší spotřebě a v použití paliva, do kterého není nutné přimíchávat olej kvůli mazání pohyblivých částí uvnitř motoru. Také jsou více nakloněny vývoji a úpravám, které vedou ke zvyšování výkonu, vyšší účinnosti a nižší spotřebě paliva.

6. Základní parametry ovlivňující spalování a konstrukci motorů - shrnutí

Zdvih

Zdvih motoru je konstrukčně dán vzdáleností ojnicního čepu od osy klikového hřídele, respektive vzdáleností mezi horní a dolní úvrátí klikového mechanismu. Z konstrukčního hlediska ovlivňuje zdvih především celkovou výšku motoru.

Vrtání

Vrtání neboli vnitřní průměr válce, přímo ovlivňuje zdvihový objem motoru. Podle poměru zdvihu k vrtání $\left(\frac{Z}{D}\right)$ motory dělíme na:

- *Podčtvercové:*
 - tzv. krátkozdvihové $\left(\frac{Z}{D}\right) < 1$,
 - zdvih menší než vrtání,
 - motory ochotně dosahují vysokých otáček, malá stavební výška, vysoký točivý moment,
 - použití pro rychloběžné vysoce výkonné motory.
- *Čtvercové:*
 - vrtání rovné zdvihu $\left(\frac{Z}{D}\right) = 1$,
 - nejlepší volba pro získ vysokého výkonu i točivého momentu.
- *Nadčtvercové:*
 - tzv. dlouhozdvihové $\left(\frac{Z}{D}\right) > 1$,
 - zdvih větší než vrtání,
 - velmi pružný chod při celkově nižších dosahovaných otáčkách,
 - použití převážně pro automobilové motory.

Kompresní poměr

Kompresní poměr je parametr, který ovlivňujeme objemem spalovacího prostoru v hlavě, případně v pístu motoru. Čím větší kompresní poměr použijeme, tím větší výkon motoru získáme. Avšak jsme omezeni teplotou hoření a oktanovým číslem (odolnost vůči detonačnímu hoření) použitého paliva. Tabulka 2 udává obvykle používané kompresní poměry motorů, které není doporučováno překračovat. Pro závodní stroje jsou kompresní poměry „maximální možné“, ale také se zde využívá speciálních paliv (vysoce oktanový benzín, líh, ...), které toto zvýšení na, případně nad maximální mez umožní.

Tabulka 2: Obvykle používané kompresní poměry motorů

Typ motoru		ε
Zážehový	Dvoudobý	7,5 - 10
	Dvoudobý závodní	10 - 14
	Čtyřdobý, 2 ventilový	8 - 10
	Čtyřdobý, 4 ventilový	9 - 11
	Čtyřdobý s přímým vstřikováním	11 - 14
	Čtyřdobý závodní	12 - 15
Vznětový	Komůrkový	18 - 24
	Přímé vstřikování	17 - 21

Střední pístová rychlost

Určuje střední hodnotu rychlosti pístu během pracovního cyklu motoru. Její velikost vypovídá o namáhání činných dílů motoru. Jde především o životnost válce, pístu, pístních kroužků, teplotní namáhání těchto dílů a také o celkovou hlučnost motoru. Tabulka 3 uvádí maximální hodnoty střední pístové rychlosti u dnešních vozidel, které není vhodné překračovat.

Tabulka 3: Maximální střední pístové rychlosti

Typ motoru		c_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
Zážehový	Dvoudobý	19
	Dvoudobý závodní	20
	Čtyřdobý	20
	Čtyřdobý závodní	25
Vznětový	Osobní vozidla	15
	Užitková vozidla	14

Střední efektivní tlak

Je to veličina, která se obtížně měří, a proto ji určujeme z naměřeného p-V diagramu motoru jako obsah plochy obrazce.

Spalovací prostor, tvar dna pístu

Spalovací prostor spolu se dnem pístu významným způsobem ovlivňují hoření a cirkulaci směsi nebo spalin uvnitř válce motoru. Tvar, velikost a poloha spalovací komory určuje kompresní poměr motoru, náchylnost k detonačnímu hoření, rychlost šíření plamene, velikost a počet ventilů atd. Píst, především u dvoudobých motorů, rovněž ovlivňuje proudění směsi během pracovního cyklu motoru.

Základním požadavkem je co nejmenší plocha stěn spalovacího prostoru a pístu (tepelné ztráty) a vhodný tvar z hlediska proudění.

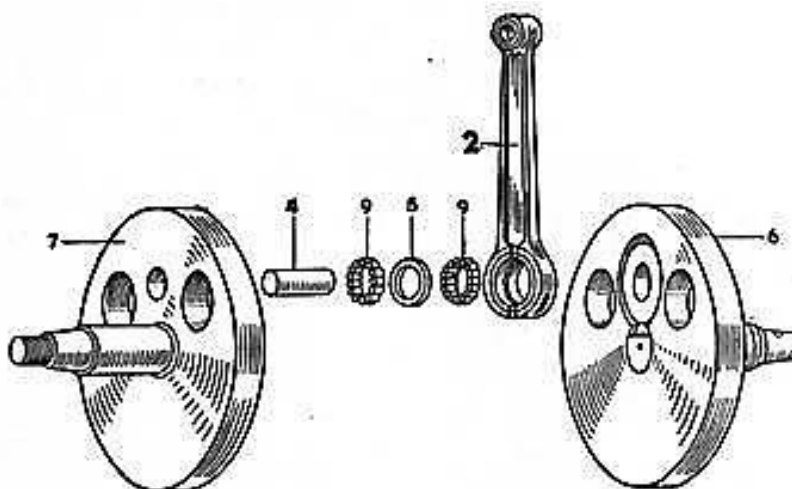
7. Konstrukční prvky a jejich význam v motoru

Pro tuto práci jsou vybrány 3 součásti z motoru Jawa 250, typ 353/03. Jde o píst, ojnici a klikový hřídel. U těchto prvků bude detailněji popsán jejich význam v motoru a způsob, s jakým pozitivně ovlivňují hospodaření s dodanou energií.

7.1. Klikový hřídel

Klikový hřídel je základním stavebním kamenem každého motoru, protože přenáší přímočarý pohyb vyvolaný spalováním paliva na rotační pohyb. Byť se může klikový hřídel zdát jako primitivní a nevýznamná součást motoru, opak je pravdou. Jeho hmotnost, velikost a tvar přímo ovlivňují chování motoru a mají zásadní význam na hospodaření s dodanou energií.

V útrokách motoru Jawa 250 najdeme klikový hřídel o hmotnosti přibližně 9 kg, který je složen z několika dílů (viz obr. 19). Do kruhových setrvačníků průměru 175 mm jsou nalisovány klikové čepy, pomocí nichž je hřídel uložen v ložiscích, dále jsou na ně připevněny další části důležité pro běh a přenos získané energie (magneto, primární převod – řetězové kolo). Oba setrvačníky jsou spojeny ojničným čepem, který je do nich také nalisován. Na ojničném čepu je uložena pomocí jehličkového ložiska ojnice. Poloha ojničného čepu udává zdvih motoru. Zde je čep „vyosen“ od osy setrvačníků o 37,5 mm.



Obr. 19: Klikový hřídel Jawa 250, typ 353/03 [14]

U tohoto řešení výroby klikového hřídele je velice nutné správné vyvážení a vystředění setrvačníků. Seběmenší nepřesnost se projeví vznikem nepříjemných vibrací, které ovlivňují nejen komfort jízdy, ale i životnost ložisek a proudění nasáté směsi uvnitř klikové skříně, čímž zvedají spotřebu paliva.

Jelikož je motor Jawa 250 spíše „pomaluběžný“, mají setrvačníky klikového hřídele velký průměr a jsou těžké. Díky tomu má motor plynulý chod s dostatkem točivého momentu už od nízkých otáček (viz obr. 9). Na volnoběh má motor tím pádem velmi nízké otáčky. Nevýhodou tohoto řešení však je, že motor neochotně reaguje na prudkou akceleraci a tím se neúměrně zvedá spotřeba paliva.

7.2. Ojnice

Ojnice je součást, která koná obecný rovinný pohyb. Jejím účelem je spojení pístu a klikového hřídele. Stejně jako v předchozím případě se může zdát, že ojnice nemá na hospodaření s energií motoru žádný vliv. I zde je opak pravdou.

Největší vliv na spotřebu energie má hmotnost ojnice a pak typ ložisek, na kterých je uložena. U motoru Jawa 250 má ojnice délku 165 mm a hmotnost 332 g (včetně bronzového pouzdra a vnějšího kroužku klikového ložiska). Obecně platí, že čím je těžší pohyblivá se součást, tím větší jsou ztráty energie (součást musí být rozpohybována).

Jelikož je ojnice nedělená, její montáž je umožněna až po rozlisování klikového hřídele. Na klikovém hřídeli je ojnice uložena na dvou jehličkových ložiscích (obr. 19, součást číslo 9), respektive do ojnice je nalisován vnější kroužek ložisek (obr. 20), přičemž ojnicní čep tvoří „vnitřní kroužek“ ložisek. Toto řešení snižuje tření a celkovou hmotnost sestavy klikového hřídele. V oku pro pístní čep je však nalisováno kluzné ložisko (bronzové pouzdro), které je velmi náročné na intenzivní mazání palivovou směsí. Proto jsou staré motocykly často nazývány „dýmavnice“, protože bylo nutné zajistit mazání právě tohoto kluzného ložiska.

Pozn.: Při renovacích se často mění právě toto pouzdro za jehličkové ložisko, které není tak náročné z hlediska mazání. Tím se ušetří část dodané energie, protože snížíme mechanické ztráty v motoru a tím snížíme i celkový dopad na životní prostředí, protože není nutné do benzínu přimíchávat tak velké množství oleje. Původní mísicí poměr oleje a benzínu je 1:25. Po výměně za jehlové ložisko lze mísit až v poměru 1:50.

Výrobní výkres ojnice je přílohou bakalářské práce.



Obr. 20: Ojnice motoru Jawa 250

7.3. Píst

Píst výrazným způsobem ovlivňuje hospodaření s energií. Kromě jeho váhy se zde uplatňuje i jeho tvar a u dvoudobých motorů i jeho „spasování“ s válcem.

Začněme hmotností. Píst z motoru Jawa 250 váží 238 g a je vyroben ze slitiny hliníku a křemíku, který zvyšuje rozměrovou stálost a pevnost slitiny při vyšší teplotě (sníží tepelnou roztažnost slitiny).

Rozvod dvoudobého motoru je řízen polohou pístu ve válci. Proto je výška pístů dvoutaktních motorů větší, než je tomu u motorů čtyřtaktních. Na obr. 21 si můžeme povšimnout „oken“ pod otvorem pro pístní čep. Tyto otvory slouží pro proudění směsi do prepouštěcích kanálů válce během pracovního cyklu prepouštění. Moderní motory mají tato

okna bez spodní příčky. Právě spasování těchto otvorů s otvory ve válci je důležité pro správné bezztrátové proudění směsi do přepouštěcích kanálů.

Píst je ve válci utěsněn pomocí tří pístních kroužků. Tímto řešením opět snižujeme množství využitelné energie motoru, protože musíme překonat tření právě těchto 3 pístních kroužků o stěnu válce.

Tvar dna pístu a hrany (vnější vrchní část) má také vliv na proudění směsi uvnitř válce, protože svým vypouklým tvarem pomáhá správnému usměrnění proudu směsi během přepouštění. U sériově vyráběných pístů toto není dodrženo z důvodu nákladné výroby (důležité je správné spasování pístu a válce motoru).

Výkres sestavy pístní sady (píst, pístní kroužky, pístní čep, pojistky pístního čepu) a ojnice je přílohou bakalářské práce.



Obr. 21: Píst motoru Jawa 250, typ 353/03 [15]

8. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo provedení srovnání dvoudobého a čtyřdobého motoru o stejném zdvihovém objemu z hlediska výčtu a hodnocení energetických ztrát, zhodnocení nezbytnosti ztrát a výpočet výkonu využitelného pro pohyb vozidla. Bylo třeba se zaměřit též na množství energie, které je možné získat a které dokážeme využít.

První část práce je zaměřena na představení pracovních oběhů motorů. Ve stručnosti je zde popsán princip jejich činnosti, následně jsou představeny i vybrané motory, které v práci porovnáváme. Jedná se vždy o 3 motory stejného zdvihového objemu a stejného pracovního cyklu s přibližně 30 letým vývojovým odstupem. Celkem tedy máme k porovnání 6 různých motorů.

V další části práce jsou provedeny výpočty porovnatelných parametrů motorů. Například litrový výkon, střední pístová rychlost, nebo maximální spotřeba paliva. Tyto výpočty jsou základem pro porovnání motorů. V posouzení je také přihlédnuto k hledisku konstrukčnímu (vývojové odlišnosti) a hledisku využití dodané energie. V této části práce je také uveden zjednodušený postup návrhu hlavních rozměrů při konstrukci spalovacího agregátu. Návrh může sloužit například pro účely výuky.

Poslední část práce se věnuje shrnutí parametrů ovlivňujících konstrukci a provoz motorů. Jsou zde uvedena obecná doporučení týkající se konstrukce motorů se zaměřením na „první výpočty nově konstruovaného motoru.“

Závěrem jsou vybrány 3 konstrukční prvky motoru (klikový hřídel, ojnice, píst), u kterých je popsán jejich význam v motoru, uveden způsob ovlivnění hospodaření s dodanou energií a nastíněna jiná konstrukční řešení. Pro tyto komponenty byl vytvořen výkres sestavy a výrobní výkres ojnice. Tyto dokumenty jsou přílohou bakalářské práce.

Během srovnávání parametrů dvoudobých a čtyřdobých motorů jsem dospěl k názoru, že dvoudobé motory jsou výhodné zejména pro svůj vysoký výkon, jednoduchost a tím pádem nízkou výrobní cenu. Oproti tomu čtyřdobé motory mají výhodu v nízké spotřebě paliva bez nutnosti dodatečného přidání maziva, v nižší produkci emisí a ve vysoké provozní spolehlivosti. Je nutné posoudit i nevýhody, a to jsou u dvoudobých motorů vyšší spotřeba paliva, vyšší poruchovost spočívající v obroušení pístních kroužků vlivem přítomnosti rozváděcích kanálů ve stěnách válce a potřeba vyšší těsnosti motoru. U motorů čtyřdobých je nevýhodou větší množství pohybujících se dílů sloužících pro ovládání rozvodového mechanismu motoru, konstrukční složitost a nižší výkon.

Na závěr této práce je vhodné uvést, že bude velice zajímavé sledovat vývoj motorů do budoucna. Především proto, že konstruktéři stojí před protichůdnými požadavky vysokého výkonu a nízké spotřeby paliva. Řešením u dvoudobých motorů může být přímé vstřikování paliva, tak jako je to nyní u motorů dieslových. U motorů čtyřdobých bude snaha o zvýšení účinnosti plnění palivovou směsí. U obou motorů je možné se zaměřit i na proměnlivý spalovací prostor či na vývoj „supermateriálů“ s nízkými součiniteli tření.

9. Seznam použité literatury

- [1] VYKOUKAL, R. *Dvoudobé motory vozidlové*. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957. 342 s.
- [2] VLK, F. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vydání. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2003. 580 s. ISBN 80-238-8756-4.
- [3] JOZÍF, J., et al. *MOTOCYKLY JAWA – ČZ 125, 150, 250, 350*. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957. 236 s.
- [4] WILDSCHREI, D. *MZ Opravy dvoutaktních motocyklů – modely ETZ, TS, ES, ETS 125 - 250 cm³*. 1. vydání. Brno: Computer Press, a.s., 2008. 248 s. ISBN 978-80-251-1788-0.
- [5] Motorradwerk Zschopau GmbH. *Příručka pro opravy motocyklů MZ*. Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig GmbH, 1989.
- [6] VLK, F. *Automobilová technická příručka*. 1. vydání. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2003. 791 s. ISBN 80-238-9681-4.
- [7] JAWARENOVACE.[Online]<http://media1.wgz.cz/images/media1:5101767a934ae.jpg/Jawa-%C4%8CZ-250-353%20%281%29.JPG>.
- [8] MOTOKILLER.[Online]http://mklr.pl/uimages/services/motokiller/i18n/pl_PL/201309/1379235360_by_KryBor_BK.jpg?1379235361.
- [9] VitalMX.[Online]http://p.vitalmx.com/photos/users/64/photos/83581/s1600_250_SX_90Grad.jpg?1432017719.
- [10] A2stainless. [Online] http://cdn0.fast-serve.net/cdn/stigfasteners/_0_0_51OXW.jpg.
- [11] Lifan.[Online]<http://www.lifan.com/English/Mall/MotorEngineView.aspx?147026e6-a69f-422a-a39a-3acde847d290>.
- [12] Jimaimracing.[Online]<http://www.jimaimracing.co.uk/wp-content/uploads/2012/10/2016-KTM-SX-F-250-Mitterbauer-1.jpg>.
- [13] TŮMA, A. *MOTOCYKLA JEHO OBSLUHA*. Praha: Naše vojsko, 1953. 346 s.
- [14] VELOREX CLUB Dvorce.[Online] <http://www.velorexclubdvorce.cz/motor250.htm>.
- [15] Jawa Shop. [Online] <http://shop.jawacz-dily.cz/hlava--valec-c308/pist-jawa-250-perak-kyvacka-67-mm-15mm-cep-i1698/>.
- [16] KTM. [Online] <http://www.ktm.com/cz/>.

10. Seznam obrázků

Obr. 1: Pracovní oběh dvoudobého motoru [1].....	10
Obr. 2: Indikátorový diagram dvoudobého motoru [2].....	11
Obr. 3: Pracovní oběh čtyřdobého motoru [2]	12
Obr. 4: Indikátorový diagram čtyřdobého motoru [2].....	13
Obr. 5: Jawa 250, typ 353/03 [7].....	14
Obr. 6: Rozměrový náčrt motoru [3].....	15
Obr. 7: Řez motorem Jawa 250, typ 353/03 [3]	15
Obr. 8: Rozvodový diagram motoru Jawa 250, typ 353/03 [3].....	15
Obr. 9: Diagram výkonu, točivého momentu a spotřeby paliva. Jawa 250, typ 353/03 [3].....	16
Obr. 10: MZ ETZ 251 [8].....	17
Obr. 11: Řez motorem MZ ETZ 251 [5].....	18
Obr. 12: Diagram výkonu, točivého momentu a spotřeby paliva motoru MZ ETZ 251 [4]....	18
Obr. 13: KTM 250 SX [9].....	19
Obr. 14: BSA C 15 [10]	20
Obr. 15: Motor Lifan 165 FMM [11]	21
Obr. 16: KTM 250 SX-F [12]	22
Obr. 17: Energetická bilance obecného pístového spalovacího motoru [13].....	27
Obr. 18: Schéma porovnávání motorů	32
Obr. 19: Klikový hřídel Jawa 250, typ 353/03 [14]	38
Obr. 20: Ojnice motoru Jawa 250	39
Obr. 21: Píst motoru Jawa 250, typ 353/03 [15]	40

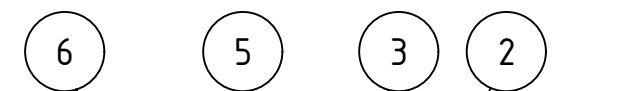
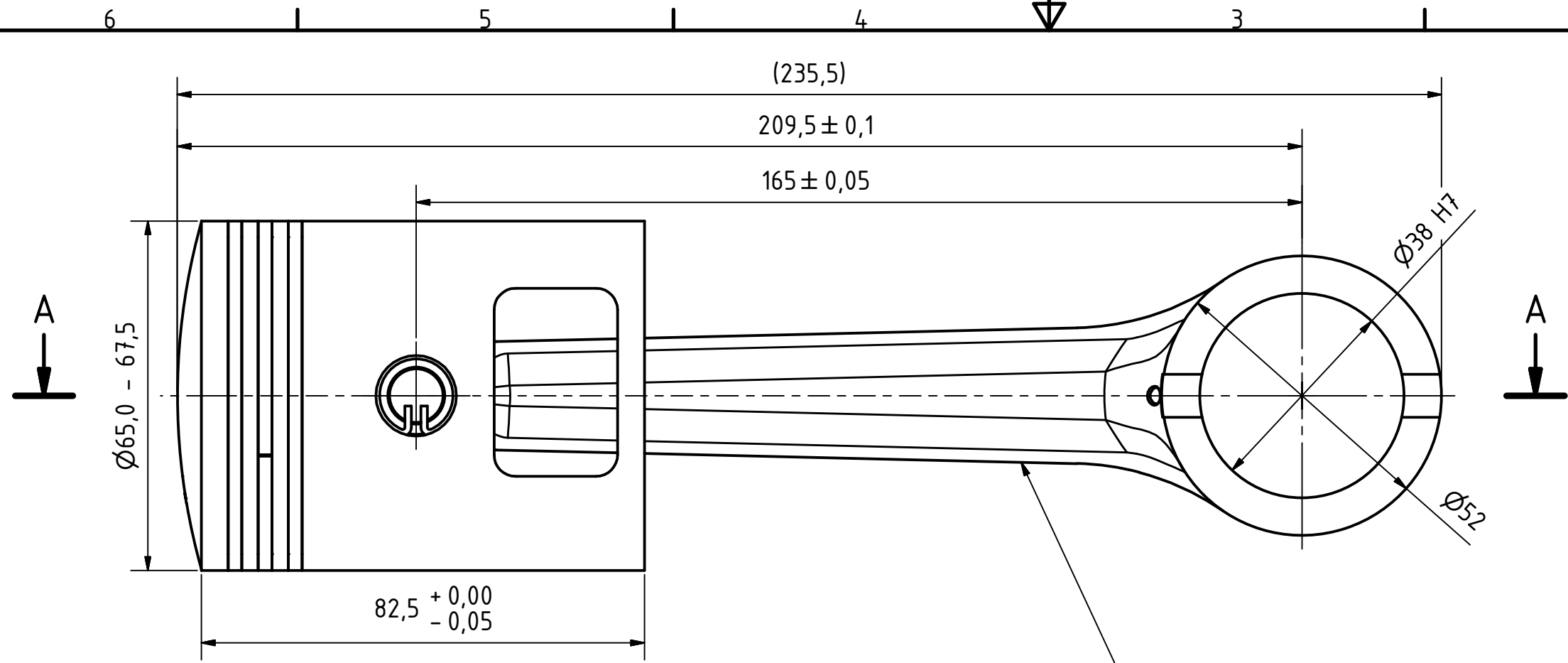
11. Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnávané hodnoty motorů	28
Tabulka 2: Obvykle používané kompresní poměry motorů.....	37
Tabulka 3: Maximální střední pístové rychlosti.....	37

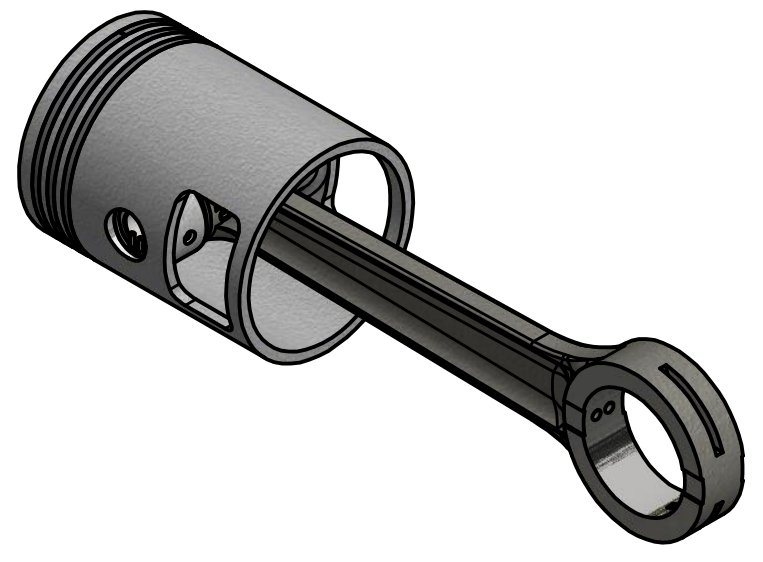
12. Seznam příloh

P1	Výkres sestavy – Sestava Jawa, 0316-000
P2	Výrobní výkres – Ojnice, 0316-001
P3	Tabulka 1: Porovnávané hodnoty motorů

Přílohy bakalářské práce



A-A (1:1)



POZNÁMKY:

- BRONZOVÉ POUZDRO (2), PO ZALISOVÁNÍ DO OJNICE (1), VRTAT DLE MAZACÍCH OTVORŮ V OJNICI.
- PÍSTNÍ ČEP (3) VTLAČIT RUKOU.
- PRŮMĚR PÍSTU VOLIT DLE VRTÁNÍ VÁLCE A POŽADOVANÉ VŮLE

6	3	0316-006	Pístní kroužek
5	2	0316-005	Pojistný kroužek
4	1	0316-004	Píst
3	1	0316-003	Pístní čep
2	1	0316-002	Bronzové pouzdro
1	1	0316-001	Ojnice
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS

Měřítko 1:1	Hmotnost (kg) 0,580 kg	Promítání 	Formát A3
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil Pražák Luděk	Název Sestava Jawa	
	Datum 10.3.2016	Číslo dokumentu 0316-000	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil	Druh dokumentu VÝKRES SESTAVY	
	Datum	List 1 Listů 1	

P3 Tabulka 1: Porovnávané hodnoty motorů

Typ motorů		Dvoudobé			Čtyřdobé		
Výrobce		Jawa	MZ	KTM	BSA	Lifan	KTM
Motor - typ		353/03	ETZ 251	250 SX	C15	165 FMM	250 SX-F
Rok		1956	1985	2016	1962	2000	2016
Rozvod		Píst	Píst	Membrána	OHV	OHC	DOHC
Chladicí médium		Vzduch	Vzduch	Voda	Vzduch	Vzduch	Voda
Počet válců	$i_V [-]$	1	1	1	1	1	1
Počet zdvihů za oběh	$\tau [-]$	2			4		
Vrtání	D [mm]	65,0	69,0	66,4	67,0	65,5	78,0
Zdvih	Z [mm]	75,0	65,0	72,0	70,0	66,2	52,3
Výkon	P_e [kW]	8,8	15,4	41,0	11,0	12,5	34,0
Otáčky	n [ot/min]	4750	5500	8000	5000	7500	14000
Kompresní poměr x:1	$\epsilon [-]$	6,6	10,0	10,6	7,5	9,1	14,4
Zdvihový objem	V_Z [cm ³]	248,87	243,05	249,32	246,80	223,06	249,91
Kompresní objem	V_K [cm ³]	44,44	27,01	25,97	37,97	27,54	18,65
Celkový objem	V_C [cm ³]	293,31	270,06	275,29	284,76	250,60	268,56
Zdvihový poměr	$\xi [-]$	1,15	0,94	1,08	1,04	1,01	0,67
Litrový výkon	P_l [kW/dm ³]	35,36	63,36	164,45	44,57	56,04	136,05
Střední efektivní tlak	p_e [Mpa]	0,45	0,69	1,23	1,07	0,90	1,17
Střední pístová rychlost	c_S [m/s]	11,88	11,92	19,20	11,67	16,55	24,41
Točivý moment	M_t [Nm]	17,7	26,7	48,9	21,0	15,9	23,2
Hmotnost nasáté směsi	m_S [g]	0,349	0,321	0,327	0,338	0,298	0,319
Hmotnost paliva	m_{PA} [g]	0,023	0,021	0,022	0,023	0,020	0,021
Spotřeba paliva při max. otáčkách	m_{PAmax} [g/(kW*h)]	754,4	459,6	255,9	308,4	358,2	263,5
	m_{PAmax} [l/100km]	8,7	7,5	11,1	4,6	6,1	9,4
Přivedená energie	E_p [J]	1024,9	943,6	961,9	995,0	875,6	938,4
Využitá energie (25 %)	E_{PSK} [J]	256,2	235,9	240,5	248,8	218,9	234,6