

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Návrh výfukového potrubí dvoudobého zážehového motoru

Design of Two-Stroke Engine Exhaust Pipe

Student:

Bc. Lukáš Bartusek

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Richtář

OSTRAVA 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Bartusek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 20 Silniční doprava
Téma: **Návrh výfukového potrubí dvoudobého zážehového motoru**
Design of Two-Stroke Engine Exhaust Pipe

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Konstrukční řešení a charakteristiky dvoudobých zážehových motorů
3. Řízení výměny náplně dvoudobého zážehového motoru
4. Konstrukční návrh a výpočet výfukového potrubí
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Matějka, R. Vozidla silniční dopravy I, Bratislava: ALFA, 1990, ISBN 80-05-00392-7
Matějka, R. Vozidla silniční dopravy II, Bratislava: ALFA, 1990, ISBN 80-7100-074-4
Vlk, F. Motorová vozidla I, Brno: VUT Brno, 1989, ISBN 80-214-0038-2
Kovanda, J., Resl, I., Socha, J.: Konstrukce automobilů. Praha: ČVUT Praha, 1997. 120 pp., ISBN 80-01-01624-2
Apetaur, M., Stejskal, V.: Motorová vozidla VI. Praha: ČVUT Praha, 1991

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Richtář**

Datum zadání: 14.12.2012
Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bartusek Lukáš

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Zahradní 396,

Šilheřovice,

747 15

Poděkování:

Tímto chci poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Michalovi Richtářovi za cenné rady a pomoc při sestavování diplomové práce.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BARTUSEK, L. *Návrh výfukového potrubí dvoudobého zážehového motoru: Diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2013, 82 s. Vedoucí práce: Richtář, M.

Diplomová práce se zabývá návrhem výfukového potrubí dvoudobého motoru. V této práci je popsán princip činnosti dvoudobého motoru a vlivy na jeho činnost při plnění a výplachu válce motoru. Následuje zde popis funkce expanzního výfuku, s popisem možností ovládní výfuku pomocí výfukových přívěr a jejich základní funkce. V poslední kapitole je uveden postup výpočtu expanzního výfuku výpočetní metodou pro zvýšení výkonu motoru. A ověření návrhu změřením výkonu na zadním kole pomocí motorové brzdy.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

BARTUSEK, L. *Design of Two-Stroke Engine Exhaust Pipe: Master Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2013, 82 pages. Supervisor: Richtář, M.

The thesis deals with two-stroke engine exhaust pipe. This thesis describes the principle of operation of two-stroke engine and the influences on his work during filling and flushing the engine cylinder, furthermore the description of the functions are the expansion exhaust, describing the possibility of controlling exhaust muffler with throttle and their basic functions. The last chapter is stated how to calculate the expansion exhaust computational method for increasing engine power. And design verification by measuring the power at the rear wheel via the motor brake.

Obsah:

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	19
0. Úvod	11
1. Vývoj motocyklů	12
1.1 Vznik moderního dvoudobého motoru	12
1.2 Rozvoj dvoudobého motoru třídy do 50 cm ³	13
1.3 Malé motocykly – skútry	14
1.4 Porovnání dvoudobých motorů a čtyřdobých motorů.....	16
1.5 Použití dvoudobých motorů a jejich budoucnost.....	16
1.5.1 Výhody a nevýhody dvoudobého motoru oproti čtyřdobému	18
2. Konstrukční řešení a charakteristiky dvoudobých zážehových motorů.....	20
2.1 Dvoudobé zážehové motory.....	20
2.2 Princip činnosti tříkanálového dvoudobého motoru	21
2.2.1 Tvorba směsi a spalování u zážehového motoru.....	23
2.3 Druhy řízení rozvodu sání dvoudobého motoru.....	25
2.3.1 Rozvod sání pístem.....	26
2.3.2 Rozvod sání válcovým šoupátkem	27
2.3.3 Rozvod sání kotoučovým šoupátkem	27
2.3.4 Rozvod sání membránovým ventilem	29
2.4 Mazání dvoudobého motoru	30
3. Řízení výměny náplně dvoudobého zážehového motoru.....	32
3.1 Příčné vyplachování	33
3.2 Vratné vyplachování	33
3.3 Souproudé vyplachování	34
3.4 Výfukový systém dvoudobého motoru	35
3.4.1 Výfukové potrubí s expanzní komorou	36
3.5 Řízení výfuku – výfukové přívěry	38
3.5.1 Řízení výfuku průřezem.....	39
3.5.2 Řízení výfuku připojením rezonanční komory	41
3.6 Tlumiče výfuku	43
3.6.1 Reflexní tlumič hluku	44
3.6.2 Absorpční tlumič hluku	44
3.6.3 Kombinovaný reflexně-absorpční tlumič hluku	45
3.6.4 Katalyzátory u dvoudobého motoru	45
3.7 Předpisy týkajících se hluku a emisí	45
4. Konstrukční návrh a výpočet výfukového potrubí.....	48
4.1 Popis použitého skútru	49

4.2	Výpočet expanzního výfuku	50
4.3	Postup výpočtu expanzního výfuku	53
4.3.1	Výpočet rozměrů dvoustupňového difuzéru expanzní komory	55
4.3.2	Výpočet rozměrů trojstupňového difuzéru expanzní komory	57
4.4	Zhodnocení vypočtených výsledků	60
4.5	Konstrukční návrh nového řešení	61
4.6	Výroba vlastního expanzního výfuku	64
5.	Ověření řešení na válcové výkonové zkušebně	67
5.1	Měření skútru na válcové motorové brzdě	67
5.2	Vyhodnocení naměřených výsledků	71
6.	Závěr	76
7.	Seznam použité literatury:	77
8.	Seznam použitých obrázků	79
9.	Seznam použitých tabulek	81
10.	Seznam příloh	82

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka	Význam
ATAC	Auto Control Torque Amplification Chamber
DÚ	Dolní úvrať
EHK	Evropská hospodářská komise
HÚ	Horní úvrať
KIPS	Kawasaki Integrated Power Valve Systém
PO	Přepouštěcí kanál otevřen
PZ	Přepouštěcí kanál zavřen
RAVE	Rotax Advanced Variable Exhaust
SAEC	Suzuki Automatic Exhaust Chamber
SO	Sací kanál otevřen
SZ	Sací kanál zavřeno
VO	Výfukový kanál otevřen
VZ	Výfukový kanál zavřen
YPVS	Yamaha Power Valve Systém

Symbol	Význam	Jednotka
α	úhel natočení klikového hřídele	[°]
γ	poissonova konstanta	[-]
λ	součinitel přebytku vzduchu	[-]
λ_k	klikový poměr	[-]
ω	úhlová rychlost	[rad·s ⁻¹]
a_0	rychlost zvuku v plynu	[m·s ⁻¹]
BMEP	střední užitečný tlak	[bar]
c_s	střední pístová rychlost	[m·s ⁻¹]
EXD	účinný průměr	[mm]
H	výška výfukového kanálu	[mm]
K0	koeficient výfuku pro jeho průměr	[-]
K1	koeficient výfuku pro jeho průměr	[-]
K2	koeficient výfuku pro jeho průměr	[-]
Kh	rohový koeficient výfuku	[-]

L_t	délka výfuku	[mm]
M	točivý moment motoru	[Nm]
n_{\max}	otáčky motoru maximální	[min ⁻¹]
O_{\exp}	úhel otevření výfukového kanálu	[°]
P	výkon motoru	[kW]
r	poloměr klikového hřídele	[m]
R	plynová konstanta výfukového plynu	[J·Kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
S	šířka výfukového kanálu	[mm]
T_k	střední teplota výfukových plynů	[K]
$v(\alpha)$	rychlost pístu	[m·s ⁻¹]
VT	výfuková trubka délka sekce	[mm]
$x(\alpha)$	dráha posunu pístu	[mm]
X_{12}	koeficient délky pro průměr výfuku	[-]
X_{13}	koeficient délky pro průměr výfuku	[-]
z	zdvih pístu	[m]

0. Úvod

V této práci jsem se zaměřil na dvoudobé motocykly přesněji skútry. Některé země jsou proslavené používáním skútrů a je to i první věc, která vás při vyslovení názvu země napadne. V současné době se stává oblíbenějším dopravním prostředkem čím dál tím více. Souvisí to také s rozvojem čínských výrobců, kteří lákají hlavně svou cenou. Výkon ale však nemusí každému vždy stačit. Od počátku jsou skútry svými jezdci různě upravovány a vylepšovány. Počínaje od upravených karburátorů, přes změny v motorech a podvozkových částech. Někteří se rozhodli pro cestu zvýšení výkonu motoru pomocí laděných výfuků. Touto cestou jsem se rozhodl jít také a pokusit se úpravou výfukového potrubí zvýšit výkon motoru u svého skútru.

Cílem diplomové práce tedy bude s pomocí výpočetní metody navrhnout výfukový systém dvoudobé motoru. První část práce se zabývá vznikem prvních motocyklů a jejich rozvoj. Dále pak popisem dvoudobého motoru od jeho principu až po výměnu náplně ve válci. V další části je seznámení s použitím výfukových přívěr a jejich užitečných vlastností. Následuje uvedení principu rezonančního výfuku a jeho vliv na výkon motoru. Závěr práce popisuje návrh výfukového potrubí pro skútr, dále pak sestavení vlastního výfukového potrubí. A experiment pro ověření zda došlo k zvýšení výkonu motoru.

1. Vývoj motocyklů

Vznik motocyklu je spojen s použitím spalovací motoru, který patentoval Gottlieb Daimler v roce 1885. O rok později vyvíjel skutečný prototyp. Čtyřdobý motor s výkonem necelých 400 W měl ovládaný výfukový a samočinný sací ventil a dále třetí ventil pístu pro průchod spalovací směsí z prostoru klikové skříně nad píst. Motor byl tehdy vestavěn do robustního dřevěného jízdního kola a dvěma pomocnými opěrnými kolečky na stranách.

V průběhu dalších let vznikaly na mnoha místech světa, nejvíce však ve Francii a v Německu, nové a stále modernější konstrukce pionýrských motocyklů. Potíží bylo tehdy ještě velmi mnoho. Motory byly těžké a i při malých otáčkách se silně chvěly. Další problémy byly s nedokonalým zapalováním i odpařovacím karburátorem a s palivou špatné jakosti. V prvním období nahrazoval celé dnešní převodné ústrojí plochý řemen s malou řemenicí na motoru a řemenicí na zadním kole. Pohodlí odpovídalo tehdy stavu vozovek a používalo se neodpružené šasi.

Významný přínos pokroku znamenaly i české motocykly Laurin a Klement, stavěný v Mladé Boleslavi. Období po první světové válce přineslo nadvládu britského motocyklového průmyslu nad ostatní konkurencí. Charakteristický pro tu dobu je čtyřdobý jednoválcový motor. Rozhodující vliv na celkovou technickou úroveň nebo i použitelnost motocyklu mělo tehdy velký vliv příslušenství a to karburátor a zapalování. Nevšední koncepci měly britské motocykly Scott, které používaly dvouválcový dvoudobý motor vodou chlazený.

Silná konkurence pro britské motocykly vznikala v USA v podobě drahých, ale tehdy velmi moderních a spolehlivých velkoobjemových motocyklů Indian a Harley-Davidson. Tehdy byly populární americké spodové vidlicové dvouválce s objemem od 600 do 1200 cm³. [9]

1.1 Vznik moderního dvoudobého motoru

Po skončení hospodářské krize se začala rozvíjet v Německu výroba dvoudobých motocyklů pod značkou DKW. Motocykly DKW vesměs s dvoudobými motory, přinesly řadu nových pokrokových i zajímavých prvků. Podle patentu Dr. Schnürleho bylo například zavedeno vratné vyplachování s plochým pístem, závodní motory DKW

měly přeplňování pístovým dmychadlem a dosáhly řadu úspěchů. Značka DKW spolu se svými pokračovateli IFA a MZ je nazývána průkopníkem dvoudobého cyklu.

Levný dvoudobý motor prokazuje již před druhou světovou válkou velkou řadu svých výhod a uplatňuje se na motorových kolech. Největší rozmach dosáhla výroba pomocí motocyklů Fichtel & Sachs s objemem 98cm^3 v bloku s jednoduchou dvoustupňovou převodovkou. Rozvoj československého motocyklového průmyslu začíná teprve ve třicátých letech a je spojen se značkou Jawa. Vznik z prvních slabik dvou jmen zakladatelů Janeček a Wanderer. První motocykly byly s britským motorem Villiers a brzy pak zcela původní konstrukce. Poté pronikají na trh i dvoudobé strakonické motocykly ČZ s objemem od 76cm^3 . U těchto motocyklů bylo také oddělené mazání motoru tzv. Posilube. Např. u motocyklu ČZ 476.

V období po druhé světové válce přináší další celosvětový rozvoj konstrukce dvoudobých motocyklů, v jehož čele je koncepce Jawa 250, známější pod názvem „pěrák“. Tento typ má oválné tvary motoru i šasi. Motor je dvoudobý jednoválec s vratným vyplachováním. Novinkou je spojka, která samočinně vypíná při řazení. V NDR byly poprvé postaveny dvoudobé motory s lehkým kotoučovým šoupátkem v ose klikového hřídele. [9]

1.2 Rozvoj dvoudobého motoru třídy do 50cm^3

V poválečné době dochází i k rozvoji strojů nové vzniklé objemové třídy do 50cm^3 a podle různých předpisů jednotlivých států jsou to buď motorová kola, kola s pomocným motorkem, mopedy, nebo maloobjemové motocykly. I tyto stroje přinášejí nové a velmi zajímavé konstrukce, jako samočinné odstředivé spojky a různá pojetí celkové konstrukce.

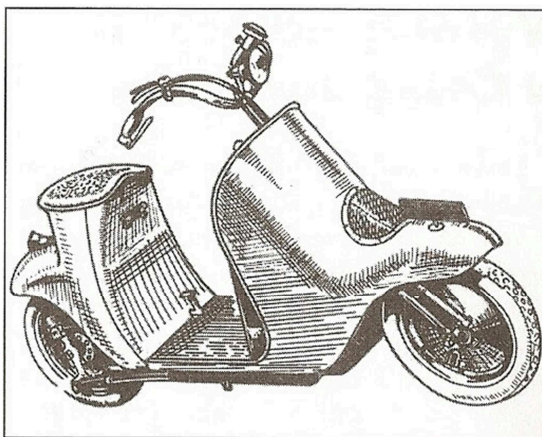
Snaha po ochraně jezdce před odstříkující vodou a blátem a částečně i proti chladu je velmi stará, avšak rozvoj skútrů dochází až v padesátých letech, a to především v Itálii. S výrobou skútrů se rodí nové, dříve neobvyklé konstrukce, jako třeba letmé uložení kol, dělené ráfky, řazení zvláštní rukojetí, postranní uložení motoru a mnohé další. K největší změně pohledu na dvoudobý motocyklový motor dochází v šedesátých letech. Pomocí sledování a vývojem spalování, plnění, prepouštění, ale hlavně studiem a úpravou výfukového potrubí se u dvoutaktních motorů podařilo dosáhnout vyšších měrných výkonů než u čtyřdobých. Praktický výsledek se projevil ihned na sportovním poli, kdy dvoudobé motory ovládly všechna odvětví motocyklového sportu. Při rozvoji

elektroniky a technologií se do dvoudobých motorů dostaly takové vymoženosti jako elektronické vstřikování paliva.

Motocykly dnes používají zážehové, neboli benzínové motory s karburátorem nebo se systémem vstřikování paliva. Pro karburátorové motory dochází ke smíchání rozprašeného paliva (benzín nebo směs benzínu a oleje u dvoutaktních motorů) se vzduchem v karburátoru. Tato směs je pak dále nasávaná do motoru. U motocyklových motorů se elektronickým vstřikováním paliva se používá tzv. vícebodové vstřikování paliva (MPI – Multi Point Injection), zde je každému válci přiřazen jeden vstřikovací ventil, který vstřikuje palivo před sací ventil příslušného válce. Například systém Bosch L-Jetronic a Monomotronic. Spalovací motory jsou v převážné většině klasické pístové. Dvoudobé motory prošly obrovským vývojem, z původně jednoduchého motoru určeného pro lokomotivy a stabilní motory do továren vznikl výkonný motor o nízké hmotnosti a jednoduchosti, používaný v motocyklech. [9]

1.3 Malé motocykly – skútry

Malé motocykly mají stupačky, v provedení skútr mají stupátko, nožní spouštěč a dynamostartér. Mají zdvihový objem 50 cm³ a jejich maximální rychlost je omezena na 45 km/h. U skútru se jedná o konstrukční typ motocyklů, které mají menší kola, nemají šlapky a mají malý rozvor kol. Pro nohy řidiče mají v nosné části vozidla podlahu bez šlapadel a dále jsou vybavena zpravidla zepředu i zespodu ochranou dopravovaných osob. Hnací ústrojí je zakryto a nachází se v zadní části vozidla nebo v krytu motoru.



Obrázek 1: Skútr Unibus z roku 1920 [9]

Motory se pro skútry používají převážně škrčené (omezované), jednoválcové pístové, dvoudobé motory nebo čtyřdobé motory. V současné době se u skútrů používá několik typů motorů, které jsou vestavěny do rozdílných rámců. Tím je zajištěn velký výběr náhradních dílů za přijatelnou cenu. Dále jsou uvedeny nejvíce známé typy motorů: [18]

Minarelli (Yamaha), Piaggio

Mezi nejlepší výrobce, co se týče konstrukce motorů se řadí Italové. Proto jsou jejich motory používané například u Yamahy, Malaguti, Aprilia. Vynikají bezproblémovým provozem a jsou velmi trvanlivé a výkonné. Nově jsou motory používané se vstřikováním, které vynikají nízkou spotřebou.

Peugeot

Francouzský Peugeot patří mezi kvalitní motory a netrpí žádnými problémy. Tyto motory jsou konstrukčně nízko otáčkové a proto vynikají dlouhou životností.

Morini

Motory se používají u skútrů značky Suzuki. U těchto motorů je omezená životnost některých částí. Další nevýhodou jsou vysoké ceny náhradních dílů.

Honda

Honda používá motory vlastní konstrukce, které patří mezi špičku v oblasti skútrů. Jejich motory vynikají i s nájездem přes 100 tis kilometrů a stále jsou ve výborném stavu.

Derbi

Španělské konstrukce motoru mají pověst slušného výkonu, avšak kvalitně trochu pokulhávají. Motory se dnes již nevyrábí, proto je problém s náhradními díly.

Keeway, CPI

Motory čínské výroby, výkonově jsou slabší, ale patří za relativně spolehlivé. Zde se vychází konstrukčně z horizontálního motoru Minarelli, Válec je shodný s motorem Minarelli a píst je shodný z motoru Piaggio. Nevýhodou je kvalita výroby, která nemá vždy stejnou úroveň.

Hnací ústrojí probíhá u dnešních skútrů většinou v kompaktní kyvné pohonné jednotce, která se skládá z:

- motoru
- spojky
- variátoru
- pohonu zadního kola.

1.4 Porovnání dvoudobých motorů a čtyřdobých motorů

Dvoudobé motory se dnes používají většinou jen v objemu 50 cm^3 , kde jsou s porovnání se složitějšími čtyřdobými výkonnější díky schopnosti dosáhnout vyšších otáček. V přímém srovnání, tak nemá šanci padesátkový čtyřdobý motor obstát proti výkonnějšímu dvoudobému. Jiná situace panuje ve vyšších kategoriích, kde se síly rychle srovnávají.[16]

Dvoudobý motor vykoná za stejnou dobu dvakrát více pracovních taktů než motor čtyřdobý. Zatím co u čtyřdobého připadá jedna pracovní doba na dvě otáčky klikového hřídele, u dvoudobého motoru je to jedna pracovní doba při každé otáčce klikového hřídele. Tato vlastnost svádí k závěru, že dvoudobý motor přece musí mít také dvojnásobný výkon. Bohužel tomu tak není, dvoudobé motory mají účinnost pouze asi 1,3 – 1,5x větší než čtyřtakty. Přesto je to stále dostatečné k tomu, aby se dvoudobé motory používaly v závodních a malých motocyklech. Kromě malé váhy zaručuje nedostižnost dvoudobých motorů použití moderních sacích a výfukových systémů.

Dvoudobé motory mají tři hlavní nevýhody:

- 1.) Při výplachu válce uniká do výfuku část nespálené čerstvé palivové směsi a důsledkem je snížení výkonu motoru a zvýšení spotřeby paliva.
- 2.) Při výplachu zůstává ve válci část spalin a spaliny se smíchávají s čerstvou palivovou směsí. Tím se zhoršuje hořlavost palivové směsi a klesá výkon motoru.
- 3.) Sací kanál, otevíraný a zavíraný pístem jako šoupátkem, je otevřený pouze po zhruba $1/5$ zdvihu, zatímco u čtyřdobého motoru to je po celý sací zdvih.

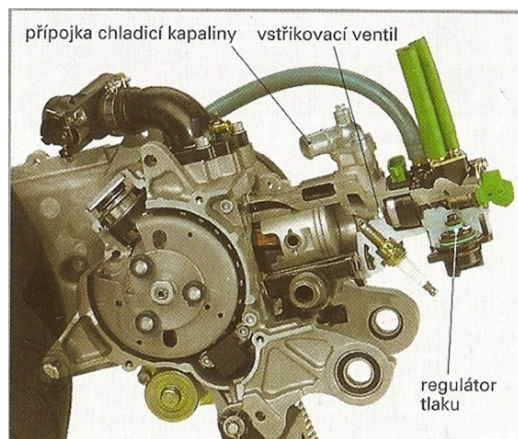
1.5 Použití dvoudobých motorů a jejich budoucnost

V důsledku stálého zpřísnování emisních norem tak počet používaných dvoudobých motorů stále klesá. Právě pro svou nižší účinnost a hlavně pro znečištění, způsobené příměsí nespáleného paliva ve spalinách (v závislosti na kvalitě vyplachování spalovacího prostoru) a spalováním oleje obsaženého v palivu. Mazání u zážehového dvoudobého motoru je prováděno olejem rozpuštěným v palivu. Tlakové oběhové mazání, používané u čtyřdobých motorů, nelze použít, protože na pracovním cyklu se

podílí i dolní plocha pístu. Prvním omezením, které bylo zavedeno v roce 1992, bylo v Evropě zavedení ekologické normy Euro1. Pro plnění norem Euro 2 a Euro 3 museli být dvoudobé motory vybaveny katalyzátory výfukových plynů. To odradilo motocyklové výrobce, kteří se začali orientovat na čtyřdobé motory nižšího výkonu a nákladnější konstrukce motoru.

Současný trend je prosazování čtyřdobého motoru jako ideální pohonná jednotka pro ekologii budoucnosti. A dvoudobý motor je předurčen k použití v zahradní technice. Dvoudobý motor, který je vybaven přímým vstřikováním paliva se velmi osvědčuje u sněžných a vodních skútrů, kde je dále rozvíjen. S tímto nápadem přišla firma Orbital Engine Company pro dvoudobé motory. V počátku sestrojila motor pro automobil, který produkoval podobný výkon jako srovnatelný čtyřdobý motor. Měl obdobnou spotřebu paliva, ale hmotnost byla o 100 kg menší. Výhodou byly nižší vibrace a nižší výrobní náklady o zhruba 300 – 500 dolarů. Systém používá důmyslné řešení, které pomocí stlačeného vzduchu rozprášilo palivo na vznítitelné částičky.[16][17]

Tento systém používal relativně nízký tlak v palivovém čerpadle. První z motocyklových výrobců koupila licenci Aprilia a osadila je do svého skútru SR 50 DiTech. Pro výplach se používal pouze čistý vzduch. Mazání části motoru bylo zajištěno tlakovým olejovým mazáním. Při stlačování se opět stlačoval jen čistý vzduch. Když píst zavře výfukový kanál, vstřikovací jednotka vstřikuje do válce rozprášenou směs paliva. Takto se zamezilo mísení paliva s výfukovými plyny. Došlo i ke snížení spotřeby oleje. Množství dodávaného paliva zde určuje elektronická řídicí jednotka, která pro vyhodnocení používá čidla. Tyto čidla jsou snímač polohy škrtecí klapky, snímač otáček a zatížení motoru. Otáčky motoru jsou regulovány škrtecí klapkou a sání je řízeno jazýčkovým ventilem. Díky tomuto DiTech umožnil snížit spotřebu oleje oproti klasickému skútru o 60 %, a úspora paliva byla až 40 %. Další výhodou bylo zvýšení výkonu motoru o 15 % díky lepšímu využití paliva. Na obrázku 2 je schéma systému od Aprilie DiTech. Tuto technologii odkoupily i další značky. Mezi nimi i výrobci zabývající se skútry jako např. Kymco, Piaggio nebo výrobci sněžných skútrů.



Obrázek 2: Dvoudobý motor se vstřikováním [5]

Nejnovější novinka je od firmy KTM, která používá dvoudobé motory se vstřikováním, které plní normu Euro 4. Většinou to je z důvodu nižší hmotnosti oproti čtyřdobým motorům.

Proti čtyřdobým motorům jsou díky jednodušší konstrukci lehčí a obvykle mají při stejných otáčkách vyšší měrný výkon (daný dvojnásobným počtem pracovních cyklů na jednu otáčku), ale nižší účinnost danou tím, že komprese anebo expanze musejí být zkráceny, aby mohla proběhnout výměna paliva a výfukových plynů v pracovním prostoru. Proto velmi záleží na tvaru, délce a průměru výfuku, který velmi ovlivňuje vyplachování spalovacího prostoru čistou směsí.

Tabulka 1: Emisní hodnoty Euro 1 – 3.[21]

Mezní hodnoty emisí pro dvoustopá vozidla				
	Platnost od	CO [g/km]	HC [g/km]	Nox [g/km]
Euro 1	6/1999	13,00	3,00	0,30
Euro 2	4/2003	5,50	1,00	0,30
Euro 3	1/2007	2,00	0,30	0,15

1.5.1 Výhody a nevýhody dvoudobého motoru oproti čtyřdobému

Výhody oproti čtyřdobému:

- Jednoduchá konstrukce, méně pohyblivých částí (píst, ojnice, kliková hřídel),
- Rovnoměrný točivý moment,
- Menší vibrace, klidnější chod při stejném počtu válců,

- Kompaktní konstrukce
- Nízká výkonová hmotnost motoru, vysoký objemový výkon,
- Nízké výrobní náklady.

Nevýhody oproti čtyřdobému motoru:

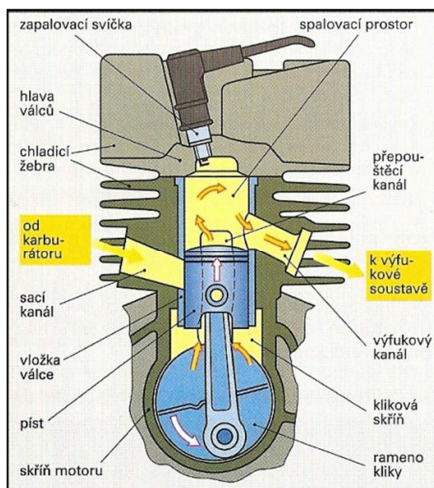
- Horší plnění,
- Vyšší emise škodlivin, vysoké hodnoty nespálených uhlovodíků CH,
- Vyšší tepelné zatížení,
- Menší střední tlaky na píst vzhledem k horšímu plnění válců,
- Horší chování při volnoběhu vzhledem k zbytkům výfukových plynů ve válcích,
- Vyšší měrná (specifická) spotřeba paliva a oleje.

2. Konstrukční řešení a charakteristiky dvoudobých zážehových motorů

2.1 Dvoudobé zážehové motory

Pro tyto motory je charakteristické, že pro vykonání jednoho pracovního cyklu (sání, komprese, expanze a výfuk) jsou potřebné pouze dva zdvihy pístu. Celý pracovní cyklus teda probíhá během jedné otáčky klikového hřídele. Dvoudobý motor nepotřebuje pro svoji činnost žádné zvláštní rozvodové orgány pro výměnu náplně ve válci.

Pracovní cyklus u dvoudobého motoru přitom probíhá jak nad pístem, tak pod pístem. Výměna náplně ve válci je většinou řízena pístem a uskutečňuje se otvory (kanály) ve stěně válce v oblasti dolní úvratě (DÚ). Na rozdíl od čtyřdobého motoru, kde je při výměně náplně ve válci funkční pouze prostor nad pístem, je u motoru dvoudobého funkční i prostor v klikové skříni tj. pod pístem. V tomto případě tvoří píst a kliková skříň pístové čerpadlo. To jsou hlavní konstrukční odlišnosti mezi dvoudobým a čtyřdobým motorem.[9]



Obrázek 3: Dvoudobý motor popis [7]

Dvoudobý motor má obecně tři druhy pracovních kanálů: sací, výfukový a přepouštěcí (vyplachovací). Sacím kanálem je nasávána směs z karburátoru do prostoru klikové skříně. Přepouštěcí (vyplachovací) kanál spojuje klikovou skříň s válcem. Výfukovým kanálem jsou odváděny spaliny z válce do výfukového potrubí.

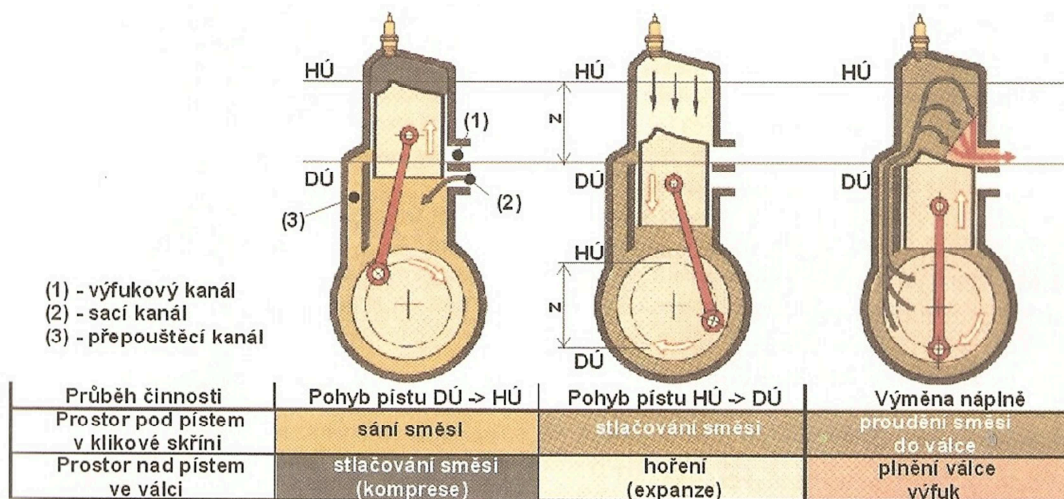
2.2 Princip činnosti tříkanálového dvoudobého motoru

Pracovní oběh dvoudobého motoru probíhá:

- v první době sání a komprese
- v druhé době expanze a výfuk

První doba - píst se pohybuje z DÚ do HÚ

Po uzavření přepouštěcího kanálu (3) pístem se v utěsněné klikové skříni zvětšuje objem a vzniká podtlak asi 20 kPa až 40 kPa. Jakmile je sací kanál (2) pístem uvolněn, začíná skutečné nasávání směsi (obvykle vzduch + benzín + mazací olej). Po uzavření výfukového kanálu (1) začíná stlačování zápalné směsi ve válci nad pístem a to tlakem až 1,4 MPa. Krátce před HÚ dochází k přeskoku jiskry mezi elektrodami svíčky a zažehnutí směsi. Nad pístem probíhá stlačování směsi a pod pístem nasávání nové směsi. [12]



Obrázek 4: Činnost dvoudobého motoru [14]

Druhá doba - píst se pohybuje z HÚ do DÚ

V důsledku hoření směsi rychle vzroste tlak i teplota, vzniklé plyny se rozpínají a tlačí píst z HÚ do DÚ. Píst uzavře sací kanál (2) a směs uzavřená v klikové skříni se začne stlačovat. V klikové skříni bude přetlak 30 kPa až 60 kPa. Výměna náplně (činnost pod i nad pístem). Nejprve horní hrana pístu otevře výfukový kanál (1), (jeho horní hrana leží výše než horní hrana kanálu přepouštěcího) a zplodiny hoření v důsledku přetlaku prudce unikají z válce do výfukového potrubí. Bezprostředně po poklesu tlaku plynů ve válci otevře píst svojí horní hranou i přepouštěcí kanál (3) a připravená směs stlačená v klikové skříni proudí do pracovního prostoru válce, kde vytlačuje zplodiny hoření.

Výměna náplně končí za dolní úvratí uzavřením přepouštěcího (3) a následně i výfukového kanálu.[12]

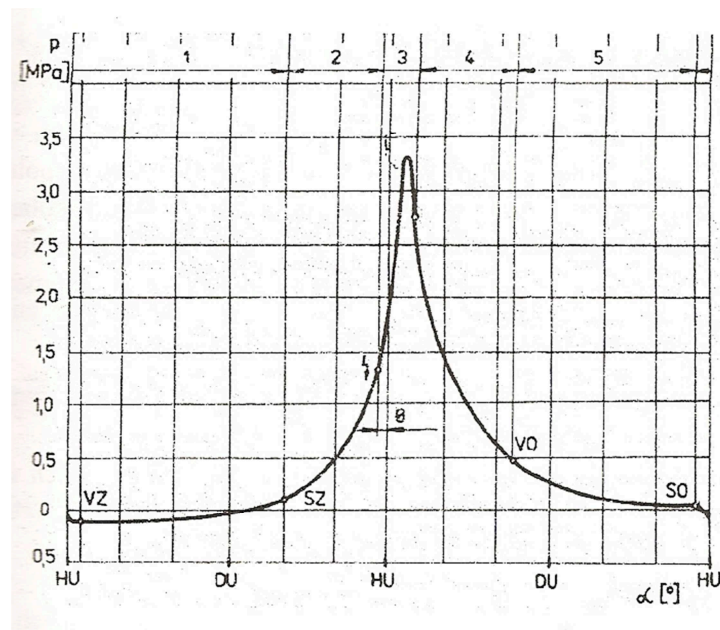
Tabulka 2: Tlaky plynů v barech při oběhu dvoudobého motoru (10 bar = 1 MPa)[5]

Sání	Komprese	Expanze	Výfuk
- 0,4 - 0,6	8 12	25 40	3..... 0,1
předběžné sání	předběžné stlačení		přepouštění
-0,2 - 0,4	0,3 0,8		1,31,6

Rozvinutý indikátorový diagram $p - \alpha$ zážehového motoru

(α – úhel natočení klikového hřídele, θ – předstih zážehu, VZ – výfuk zavírá, SZ – sání zavírá, VO - výfuk otevírá, SO – sání otevírá, DÚ – dolní úvrat', HÚ – horní úvrat').

1 – vyplachování a plnění (sání), 2 – komprese, 3 – spalování (hoření), 4 – expanze, 5 - výfuk



Obrázek 5: Rozvinutý indikátorový diagram $p - \alpha$ zážehového motoru [11]

2.2.1 Tvorba směsi a spalování u zážehového motoru

Motocyklové motory používají nejčastěji zážehové motory na kapalná paliva. Tyto motory pracují s vnější nebo vnitřní tvorbou homogenní směsi a jejím zážehem z cizího zdroje. Homogenní (stejnorodá) směs paliva a vzduchu se v motoru při kompresním zdvihu (stlačování) zahřívá na teplotu 400 až 500 °C, která je nižší než teplota samovznícením. Proto musí být směs paliva zažehnutá jiskrou z cizího zdroje.

Vnější tvorba směsi. Tvorba směsi paliva a vzduchu se provádí v sacím potrubí, tzn. mimo válec (u karburátoru nebo nepřímého vstřikování).

Vnitřní tvorba směsi. Tvorba směsi a vzduchu se provádí přímo ve válci (motory s přímým vstřikováním benzínu).

Zážehový motor potřebuje ke svému provozu určitý poměr vzduchu a paliva. Ideální teoretické spalování nastává při poměru 14,8 kg vzduchu na 1 kg paliva. Tento poměr se označuje jak stechiometrický poměr. K rozpoznání toho, jak hodně se odlišuje skutečný poměr vzduchu a paliva od teoreticky nutného (14,8 : 1) byl zaveden součinitel přebytku vzduchu (λ). [11]

$$\text{součinitel přebytku vzduchu } \lambda = \frac{\text{množství přiváděného vzduchu v kg}}{\text{teoretická potřeba vzduchu v kg}} [-]$$

$\lambda = 1$ stechiometrická směs

$\lambda < 1$ nedostatek vzduchu (bohatá směs)

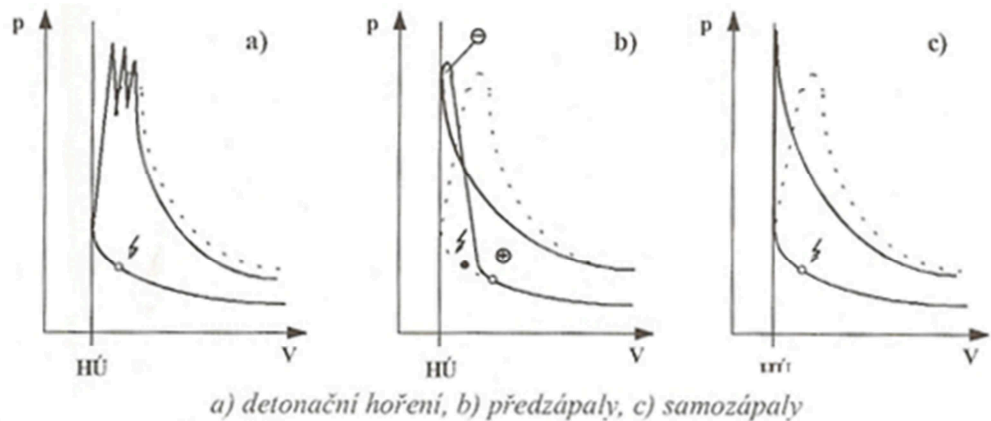
$\lambda > 1$ přebytek vzduchu (chudá směs)

Spalování paliva v pístovém motoru je složitý fyzikálně-chemický děj, probíhající při každém oběhu ve velmi krátkém čase. Rychlost hoření směsi paliva se vzduchem závisí na tlaku, teplotě, složení směsi, okamžiku zapálení, na způsobu a intenzitě pohybu náplně ve válci. Benzín, který je do válce dopraven v průběhu plnicího zdvihu je na konci komprese již tak odpařen, že vzniklou směs je možno považovat za stejnorodou, která se vlastnostmi blíží plynné. Po zapálení elektrickou jiskrou se vytvoří vrstva, ve které probíhá hoření. V turbulentním proudění je to kulová plocha a hloubce 20 až 25 mm, která se šíří ve spalovacím prostoru rychlostí 20 až 60 m·s⁻¹.

Vedle tohoto normálního průběhu hoření mohou vznikat ve spalovacím prostoru i průběhy hoření, které mají abnormální průběh a jsou vyvolávány nedostatky ve spalovací prostoru, případně chybným nastavením předstihu na obrázku 6. [11]

Chybný průběh hoření je vyvoláván:

- Detonačním hořením,
- Předzápaly,
- Samozápaly,
- Pozdním zážehem,
- Předčasným zážehem.



Obrázek 6: Chybné průběhy hoření [11]

Rychlostní charakteristika a výkony spalovacích motorů

Pro porovnání motorů slouží střední pístová rychlost c_s . Střední pístová rychlost určuje do značné míry životnost motoru (opotřebení válců a pístních kroužků, teplotní namáhání). Vyšší hodnoty průměrné rychlostí pístu zvyšují hlučnost a průtočný odpor při sání a vyžadují pečlivé vyvážení motoru.

Otáčky motoru n udávají počet otáček klikového hřídele za časovou jednotku. Tzv. jmenovité otáčky n_j jsou otáčky příslušející jmenovitému výkonu. Výrobce zpravidla udává jmenovitý efektivní výkon, což je nejvyšší efektivní výkon, který může motor trvale nebo krátkodobě vyvíjet při jmenovitých otáčkách. Nejvyšší dovolené otáčky n_{max} jsou nejvyšší krátkodobě dosahované otáčky podle údajů výrobce. [11]

Maximální otáčky n_{max} a střední pístové rychlosti c_s motorů soudobých vozidel tabulce 3.

Tabulka 3: Maximální otáčky a střední pístové rychlosti soudobých vozidel [11]

Typ motoru	max. otáčky [min^{-1}]	střední pístová rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
malé dvoudobé motory	20 000	19
motocyklové motory	13 500	19
zážehové motory osobních vozidel	7 500	20
vznětové motory osobních vozidel	5 000	15
vznětové motory užitkových vozidel	4 200	14
závodní motory	18 000	25

Tabulka 4: Empirické hodnoty pro litrový výkon a výkonovou hmotnost [11]

Typ motoru	max. litrový výkon [kW/l]	max. výkonová hmotnost [kg/kW]	max. otáčky [min^{-1}]
zážehové motory osobních vozů	70	2	6 500
přepřňované zážehové motory osobních vozidel	100	3	6 000
vznětové motory osobních vozidel	45	5	4 500
přepřňované vznětové motory osobních vozů	64	4	4 500
závodní motory	200	0,4	18 000

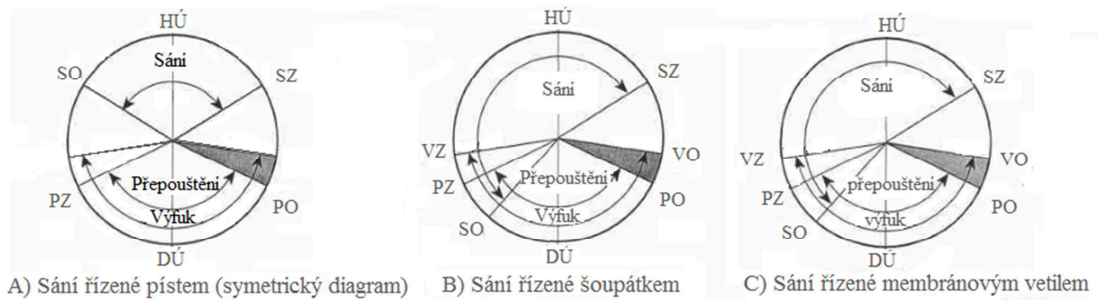
2.3 Druhy řízení rozvodu sání dvoudobého motoru

Rozvod je ústrojí motoru, které řídí plnění válce zápalnou směsí a jeho vyprazdňování. U dvoudobého motoru je to systém kanálů ve válci a skříni motoru, otevíraných pístem nebo jen výjimečně jiným způsobem. Tvar a průřezy kanálů mají podstatný vliv na výkonovou charakteristiku a hospodárnost motoru.

Časování rozvodu se může vyjádřit kruhovým rozvodovým diagramem, kde jsou začátky a konce otevření kanálu uvedeny v závislosti na úhlovém pootočení klikového hřídele. Pro konstrukci jsou však důležité přímo konkrétní výškové rozměry funkčních hran okének v plášti válce. Druhou možností je určení výškových rozměrů výpočtem na základě závislosti pootočení klikové hřídele na dráze pístu.[10]

Při klasickém rozvodu pístem dostáváme u všech dvoudobých motorů s osovým klikovým mechanismem symetrický rozvodový diagram. Nevýhody symetrického rozvodu odstraňují zvláštní konstrukce motorů, které dávají rozvod nesymetrický. První způsoby byly volbou vyosení klikové hřídele, kterému odpovídal nesymetrický rozvod. V tomto případě je výsledkem pouze úhlové posunutí otevření a uzavření výfuku i přepouštění ale nemění se jejich časový vztah a vniká jen nepatrné zlepšení.

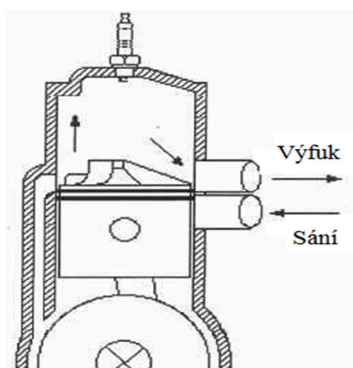
Nesymetrického rozvodu, který přináší podstatné zlepšení činnosti motoru, se dosáhne nuceným ovládním sání šoupátkem nebo v poslední době používaným jazýčkovým ventilem.[10]



Obrázek 7: Rozvodový diagram s řízením (píst, šoupátko, membránový ventil) [6]

2.3.1 Rozvod sání pístem

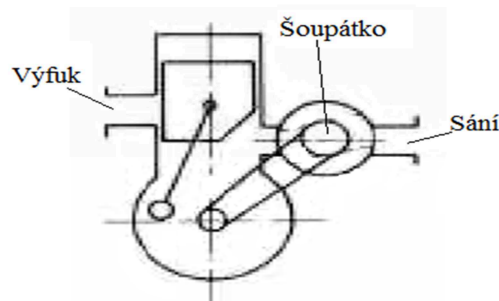
Nejstarším typem ovládní je symetrický rozvod pístem. Sací otvor je ovládnán spodní hranou pístu. Tento rozvod má několik nevýhod. Je to hlavně symetričnost sání. To značí, že úhel, který udává bod začátku sání před horní úvratí, je shodný s úhlem, který určuje bod uzavření po horní úvratí. Zavření kanálu bývá většinou kolem 55° za HÚ. Pro symetrický rozvod je charakteristická ztráta čerstvé směsi do výfuku. Další nevýhodou jsou nízké dosažitelné otáčky, vysoké zatížení komponentů.[1] V tabulce 5, na straně 28 je porovnání úhlu otevírání sání u rozvodu pístem a šoupátkem.



Obrázek 8: Rozvod sání pístem [4]

2.3.2 Rozvod sání válcovým šoupátkem

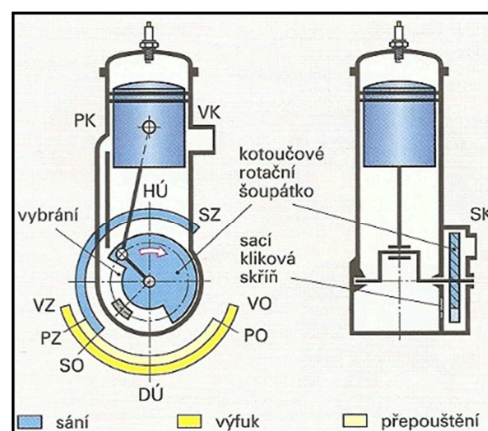
Válcová rotační šoupátka byla v minulosti oblíbená, neboť umožňovala vcelku nenákladným způsobem přestavbu motoru s rozvodem pístem na šoupátkový rozvod. Neměnilo se celkové uspořádání motoru ani jeho hlavní vnější rozměry. Válcové šoupátko je poháněno od klikové hřídele řetězem nebo ozubenými koly, v poměru otáček 1:2 a bývá umístěno za spodní části válce. Osa šoupátka je rovnoběžná s osou klikového hřídele. Poměrně malý funkční průměr tohoto šoupátka umožňuje jen velmi pomalé otevírání sacího kanálu a otevření plného průřezu zde trvá jen velmi krátce. Nevýhodou je zadírání šoupátka, prodloužení sacího kanálu zvýšení hlučnosti a složitosti systému.[7]



Obrázek 9: Válcové šoupátko [7]

2.3.3 Rozvod sání kotoučovým šoupátkem

Nesymetrický rozvod sání nejlépe řeší motory se sacím šoupátkem. Nejúspěšnější konstrukce šoupátek bylo segmentové rotační šoupátko vedle setrvačnicku klikového hřídele. Původní patent na takové šoupátko (z roku 1951) patří firmě MZ v NDR a jeho původcem je Daniel Zimmerman.



Obrázek 10: Kotoučové šoupátko princip [5]

Šoupátko je všeobecně určeno pro motory s nejvyššími provozními otáčkami a zde se požaduje co nejkratší doba od začátku otvírání kanálu do otevření jeho plného průřezu. Tomuto požadavku vyhovují nejlépe kotoučová šoupátka velkého průměru, která jsou dnes jediným moderním řešením šoupátkového rozvodu sání.

Nejčastěji je kotoučové šoupátko nasazeno přímo na klikovém hřídele a otáčí se buď vedle ramena klikového hřídele, nebo v samostatném prostoru. U obou způsobů je však snaha konstruktéru dosáhnout co nejmenší hmotnosti šoupátka při jeho dobrém utěsnění. Tvar umožňuje otvírání a zavírání vstupního otvoru sání. Sací kanál zpravidla ústí do spodní části jednoho přepouštěcího kanálu v klikové skříni. U všech používaným motocyklových motorů má šoupátko s klikovým hřídelem převod 1:1, není-li na něm nasazeno přímo.

Pro vysokootáčkové motory silničních závodních motorů jsou nejvýhodnější lehká šoupátka s pružného tvrdého ocelového plechu o tloušťce pouze do 0,5 mm. Tato šoupátka se otáčejí zpravidla mezi dvěma stěnami skříně motoru se stranovou vůlí asi 0,5 mm. Vlastní těsnění šoupátka je dosaženo pouze rozdílem tlaků v klikovém prostoru a v sacím kanálu před šoupátkem. Při uzavření sacího kanálu nastává vlivem pohybu pístu přetlak a šoupátko je přitlačováno k vnější těsnící stěně skříně motoru. Obě čela šoupátka musí být jemně broušen a šoupátko nesmí být deformované, jinak by došlo k rychlému opotřebení, zahřívání a ztrátám výkonu. Dobře se osvědčují tvrdě chromovaná čela šoupátka a speciální hliníková slitina pro těsnění stěny šoupátka.

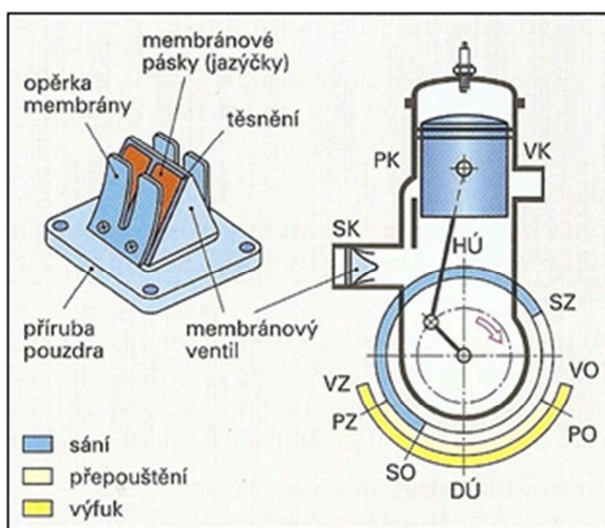
Podstatná nevýhoda uložení šoupátka na straně klikového hřídele je umístění karburátoru na boku motoru. Narůstá šířka motoru a tím i šířka kapotáže. U soutěžních motocyklů je nízko umístěný karburátor snadno zranitelný a vznikají problémy s přívodem vzduchu. Další nevýhodou šoupátek je výrobní zdražení. [10]

Tabulka 5: Úhly při řízení pístem a šoupátkem [4]

Typ motoru	Sání řízené pístem			Sání řízené šoupátkem
	Výfuk otevření úhel [°]	Přepouštění úhel [°]	Sání úhel [°]	Sání úhel [°]
Moped, skútry	110	122	65	130
Enduro, Sněžný skútr	97	120	75	120
Motocross, silniční	82	113	100	140

2.3.4 Rozvod sání membránovým ventilem

Řízení rozvodu sání membránovým (jazýčkovým) ventilem je v současné době nejpoužívanější způsob rozvodu sání používaných u dvoudobých motorů. V tomto případě vstupuje čerstvá náplň do klikové skříně membránovým (jazýčkovým) ventilem, který je otevírán podtlakem v klikové skříně, způsobený pohybem pístu při kompresním zdvihu. Membránový ventil je tedy řízen samočinně v závislosti na podtlaku v klikové skříně, okamžiky otevírání jazýčkového ventilu závisí na materiálu a zatížení motoru.



Obrázek 11: Membránový ventil a jeho princip [5]

Hlavním přínosem toho systému je tedy dokonalejší vypláchnutí i účinnější plnění. Další výhodou je i to, že jazýčkový ventil zabrání v jakémkoliv pracovním režimu zpětnému úniku zápalné směsi do karburátoru. Podtlakové řízení sání zpravidla nezvyšuje výkonovou špičku motoru, ale zlepšuje průběh točivého momentu při středních otáčkách i reakci motoru na změnu polohy akcelarátoru. V nejvyšších otáčkách se maximální hodnoty výkonu motoru většinou nezvyšují, naopak někdy dochází i k poklesu výkonové špičky motoru vzhledem k setrvačným silám kmitajících jazýčků a k nedokonalé funkci jazýčkového ventilu v tomto režimu.

Vlastní membránový ventil se skládá obvykle z těla ventilu střežovitého tvaru, ke kterému dosedají pružné jazýčky z oceli nebo karbonových lístků. Jazýčky bývají na každé straně nejméně dva. Součástí toho ventilu jsou dorazy, které omezují pohyb jazýčku a zabraňují jeho kmitání. Důležité je navulkanizování tenké vrstvy pryže na tělo

ventilu, protože při kovovém styku dochází při vyšších dosedacích rychlostech k popraskání jazýčku. [9]

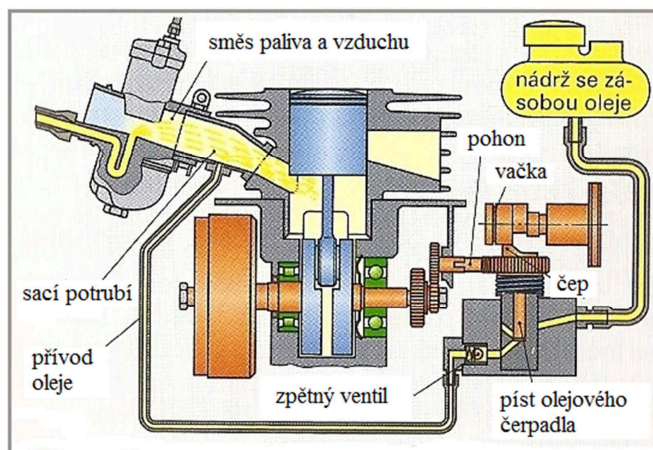
2.4 Mazání dvoudobého motoru

U dvoudobého motoru se používá mazání olejem přimíchaným v palivu nebo vstřikováním čerstvého oleje prostřednictvím čerpadla. První způsob vyžaduje používání paliva namíchaného v přesném poměru s určitým malým množstvím oleje určeného pro dvoudobé motory. Podle typu motoru se olej s palivem míchá nejčastěji v poměru 1:50, 1:40, 1:25. Tyto poměry závisí na konstrukci motoru. Špatně namíchanou směs oleje a paliva lze poznat podle určitých příznaků. Příliš bohatá směs (např. 1:25 namísto 1:50), motor silně kouří, má špatný běh a jde velmi těžko uvést do chodu. Příliš velké množství oleje tvoří saze a karbonové usazeniny jak v motoru, tak ve výfuku. Při delším používání potom klesá výkon motoru.[13]

Příliš chudá směs (např. 1:40 namísto 1:25), motor se přehřívá a může dojít k zadírání pístu. Při dlouhé jízdě na chudou směs dochází k poškození ojnicích ložisek a ložisek klikového hřídele. Dále se opotřebovávají pístní kroužky a stěny válců.

Druhý způsob je přimíchávání pomocí olejového čerpadla na obrázku 12. Tento způsob zajišťuje ideální mazání motoru při všech provozních podmínkách. Olejové čerpadlo je většinou správně s rukojetí plynu a vstřikuje olej do karburátoru nebo sacích kanálků, kde se míchá s palivem. U některých vysokovýkonných dvoudobých motorů se vstřikuje olej i do klikové skříně, je velice účinné ale výrobně nákladné.

V klikové skříně olej z paliva kondenzuje. Díky působení odstředivých sil od klikového hřídele a těžší olejové kapičky se oddělují od lehčích kapiček paliva. Palivo se odpaří a většina oleje stéká dolů do klikové skříně. Mazání ložisek klikového hřídele, ojnicích ložisek a stěn válců zajišťuje olej stékající do klikové skříně a olej dostávají se s palivem do válců.[11]



Obrázek 12: Mazání čerstvým olejem s dávkovacím čerpadlem [5]

Kromě mazání musí zajistit motorový olej u motocyklů plnit ještě další úkoly:

- Odvádění tepla a tím chlazení mazaných míst,
- Odvádění zbytků po hoření zabraňování tvoření povlaků z nespálených zbytků,
- Tlumení provozního hluku,
- Zajištění těsnosti motoru,
- Zabránění korozi působením antikorozním činitelů.

Používané oleje pro dvoudobé motocykly:[18]

- Minerální - pro staré 2T motory, pro skútry nevhodné (např. M2T),
- Polosyntetické - vhodné pro skútry 50ccm,
- Plně syntetické - vhodné pro skútry 50 i 70ccm,
- Plně syntetické hi-tech - pro závodní vysokootáčkové 2T motory

3. Řízení výměny náplně dvoudobého zážehového motoru

U dvoudobého motoru je výměna náplně ve válci důležitou vlastností, která ovlivňuje výkonové a ekonomické parametry motoru. Řízení výměny plynů u dvoudobého motoru se od čtyřdobých liší v jednom zásadním bodě. Funkci ventilů ve válci přebírá u dvoudobého motoru samotný píst, který zavírá a otevírá kanály svou horní a spodní hranou. Ve spalovacím prostoru dvoudobého motoru probíhají vždy najednou dvě fáze procesu výměny plynů, jednak nasávání palivové směsi smíchané s motorovým olejem a jednak vytlačování spalin. Výměnu plynů pak lze u dvoudobých motorů oproti čtyřdobým mnohem více ovlivňovat využitím fyzikálních zákonů a právě různými aplikacemi fyzikálních zákonů se od sebe liší různé konstrukce dvoudobých motorů. Při samotném přepouštění je nutno nejen dopravit maximální množství z klikové skříně do prostoru nad píst, ale také dát tomuto množství správný směr a pohybovou energii, nutnou k dobrému vypláchnutí prostoru válce. Výměna náplně probíhá blízko dolní úvrati, k ovládní výfukových a přepouštěcích kanálů slouží většinou píst ale ne vždy. Čerstvá náplň se do válce dostává vyplachovacím dmychadlem s přetlakem 10 – 40 kPa. [9][5]

U normálního dvoudobého motoru se výměny plynů řídí téměř výlučně překrýváním kanálů ústících do stěny válce horní a dolní hranou pístu. Na rozdíl od čtyřdobého motoru, u kterého pracují ventily nezávisle na sobě, je u dvoudobých motorů načasování pevně dáno konstrukčním uspořádáním válce a pístu.

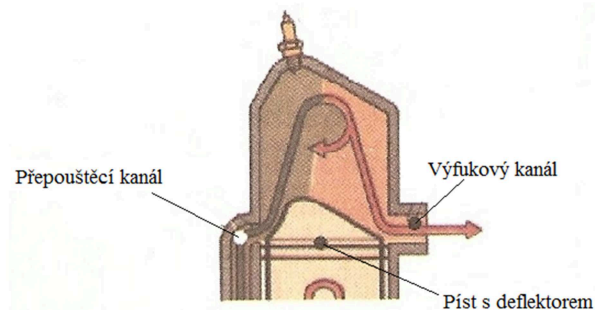
Způsoby vyplachování spalovacího prostoru:

- Vyplachování příčné,
- Vratné vyplachování,
- Souproudé vyplachování,
- Kombinace uvedených způsobů.

U všech těchto způsobů je nutné dbát na to, aby vyplachovací proud vedl blízko stěny válce a nevznikaly nevypláchnuté prostory a aby čerstvá směs neunikala přímo do výfuku.

3.1 Příčné vyplachování

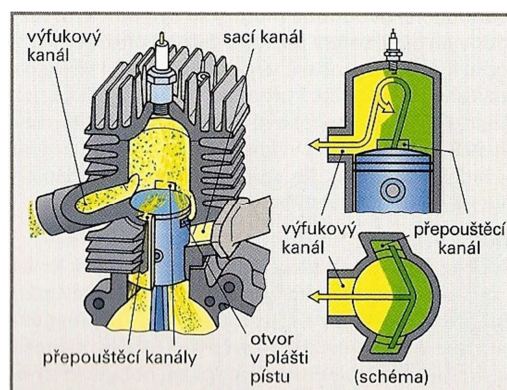
Nejstarší způsob vyplachování u dvoudobých motorů. Příčné vyplachování pomocí tvarovaného dna pístu s deflektorem bylo nejrozšířenějším způsobem vyplachování dvoudobých motorů. Vstupní a výstupní otvory byly umístěny ve stěně válce proti sobě. Směs postupující do válce přepouštěcími kanály byla tvarem deflektoru směřována tak, aby proudila podle přilehlé stěny válce a dále postupovala spalovacím prostorem na protilehlou stranu válce k výfukovému kanálu, přičemž před sebou vytlačovala zbytky spálených plynů. Píst s deflektorem měl však velkou hmotnost a navíc velmi nepříznivě ovlivňoval tvar spalovacího prostoru z hlediska vzniku detonací.[8][9]



Obrázek 13: Příčné vyplachování válce [12]

3.2 Vratné vyplachování

Vratné vyplachování je nejčastěji používaným druhem vyplachování. Autorem je Dr. Schnürle. Přepouštěná směs je přitom usměřována horním vyústěním přepouštěcích kanálů téměř vodorovně a rovnoběžně s plochým nebo jemně vydutým dnem pístu bez deflektoru na zadní stěnu válce. Čerstvá směs vstupuje přepouštěcími kanály do válce a vytlačuje zplodiny opačným směrem, než se pohybuje vyplachovací proud.



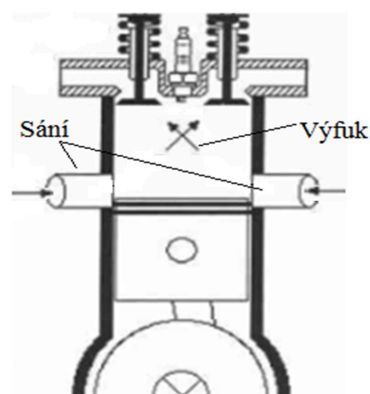
Obrázek 14: Vratné vyplachování válce [5]

Zadní stěnou rozumíme stěnu válce protilehlou výfukovému kanálu, kde se proudy z obou přepouštěcích kanálů setkávají a společně pokračují po stěně válce nahoru do spalovacího prostoru. Tvar spalovacího prostoru v hlavě válce obrací směr proudících plynů dolů opět k výfukovému otvoru. Vhodné umístění vyplachovacích kanálů částečně zamezuje úniku čerstvé směsi do výfuku.[5]

3.3 Souproudé vyplachování

Toto vyplachování se nazývá souproudé z toho důvodu, že proudění čerstvé směsi i výfukových plynů má stejný směr pohybu. Schéma principu na obrázku 15. U klasického dvoudobého motoru bývá přívod čerstvé směsi a výfukový kanál uspořádán ve spodní části válce motoru. S tímto uspořádáním kanálků ve válci bývají při přepouštění problémy. Tyto problémy byly odstraněny použitím válce, do kterého čerstvá směs vniká jen jedním směrem a druhým směrem odchází spálené plyny pryč z válce motoru do výfuku. Výhodou používání toho systému bylo, že směs se nemísila se spálenými plyny a daly se omezit ztráty paliva výfukem na nižší množství.

Tento princip se používal nejčastěji u dvoupístových motorů. Ty byly v minulosti populární z důvodu svého nesymetrického rozvodu, díky použití rozvidlené ojnice při otáčení klikového hřídele motoru. Nevýhodou byl oválný tvar spalovacího prostoru a velká hmotnost dvojice pístů Tento systém je známý z období 50. let u motocyklů Punch, Manet a DKW.

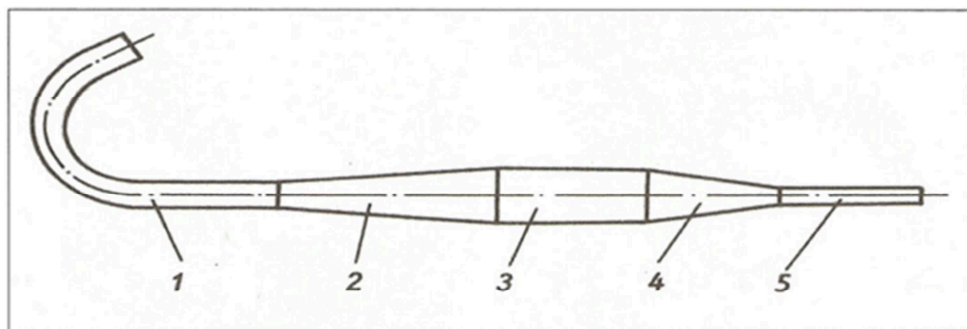


Obrázek 15: Princip souproudého vyplachování [4]

3.4 Výfukový systém dvoudobého motoru

Výfukový systém je nejdůležitějším doplňkem všech motorů. U motorů s dvoudobým pracovním oběhem má však rozhodující vliv na výkonové parametry motoru. U prvních dvoudobých motorů sloužilo výfukové potrubí pouze pro utlumení unikajících plynů z výfukového kanálu.

Úkolem správně dimenzovaného výfukového systému je pomáhat odchodu výfukových plynů z válce a jejich odchodem zlepšovat průběh vyplachování. Při vyplachování pracovního prostoru přepouštěcími proudy dochází k určitému smíšení spálených plynů a čerstvé směsi a část čerstvé směsi uniká do výfukového kanálu, proto dochází k nárůstu spotřeby a menší účinnosti motoru.[9]



1 - výfuková trubka, 2 - expanzní kužel, 3 - rezonátor, 4 - protikužel, 5 - koncovka

Obrázek 16: Schéma výfukového potrubí dvoudobého motoru [9]

Požadavky kladené na výfukový systém dvoudobého motoru jsou následující:

- výrazné snížení hluku odcházejících spalin,
- příznivé ovlivnění průběhu točivého momentu a výkonu motoru,
- v některých případech i snížení obsahu škodlivých látek ve spalinách.

Výfukový systém je tvořen výfukovou přívěrou, výfukovým potrubím, výfukovým rezonátorem a tlumicí koncovkou. U motocyklových motorů se vyskytuje i oxidační katalyzátor, případně doplněný pomocným katalyzátorem.

Utlumení hluku odcházejících spalin zabezpečuje tlumicí koncovka obsahující většinou interferenční a absorpční komoru. Soustava tvořená výfukovou přívěrou, potrubím a rezonátorem ovlivňuje průběh tlaku ve výfukovém otvoru válce motoru tak, že v okolí

rezonančních otáček je zlepšeno plnění válce motoru a jsou sníženy ztráty čerstvé směsi. Tím je příznivě ovlivněn průběh točivého momentu motoru. Rozšířením otáčkové oblasti, v níž příznivě působí rezonanční systém je možno jeho frekvenčním přeladěním.

Toto přeladění je možno uskutečnit:

- Změnou délky výfukového rezonátoru,
- Změnou objemu rezonátoru, např. připojením přídatné komory pro snížení frekvence hmotnostních pulzací ve výfukovém potrubí a tím zvýšení točivého momentu motoru v nižších otáčkách,
- Změnou úhlu otevření výfukového otvoru pomocí výfukové přívěry.

Poloha výfukové přívěry je tedy určována okamžitou velikostí otáček motoru. Může být provedena jako válcové nebo ploché výkyvné či posuvné šoupátko.

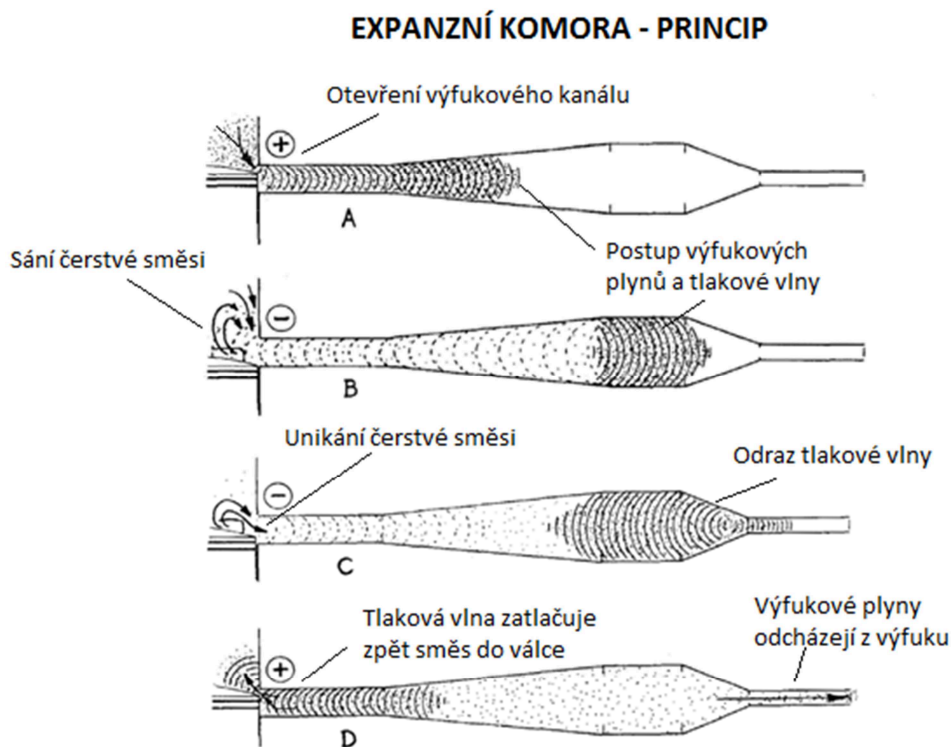
3.4.1 Výfukové potrubí s expanzní komorou

Při otevření výfukového okénka ve válci horní hranou pístu vznikne v tomto místě impuls, jehož důsledkem je přetlaková vlna, šířící se rychlostí zvuku v daném prostředí. Ve výfukovém potrubí bývá rychlost zvuku značně vyšší než ve volné atmosféře. Plyny ve výfukovém potrubí jsou postupně vystaveny působení tlakové vlny. Dochází k pohybu plynů směrem od motoru ven, avšak vzhledem k zpětným odrazům tlakové vlny i ke kmitavému pohybu plynů ve směru podélné osy výfuku. I kmitání plynů se řídí složitými vztahy danými tvarem výfukového potrubí a odrazy tlakové vlny na částečně otevřeném konci výfukového potrubí i odrazy u otvoru ve válci. Při vyplachování pracovního prostoru přepouštěcími proudy dochází k určitému smíšení spálených plynů s čerstvou zápalnou směsí a část čerstvé směsi unikne do výfukového kanálu. [9]

Laděný výfuk pracuje ideálně jen pro určité pásmo ideálních otáček motoru, právě v tomto funkčním pásmu jeho laděné potrubí s expanzní komorou pracuje jako

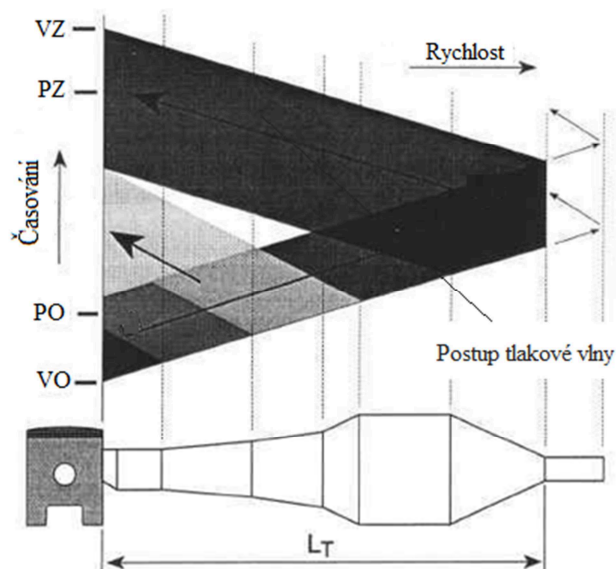
dmychadlo, které zatlačuje směs pomocí tlakové vlny zpět do válce motoru a motor pak stlačuje více směsi než bez expanzní komory. Pro vysoké otáčky je vhodnější kratší potrubí menšího objemu s menším průměrem trubek, v případě požadavků na dobrý krouticí moment v nižších otáčkách je lepší větší objem komory a s většími průměry trubek. [10]

První část vyplachovacích plynů se smísí se spálenými plyny. Takto znečištěná směs by stejně neměla význam pro spalování. Necháváme proto znehodnocenou směs spolu se spálenými plyny uniknout do okolního ovzduší. Během výfuku se však jakost směsi unikajícího do výfuku zlepšuje. Až v poslední fázi výfuku unikají výfukovým otvorem z válce části směsi již málo smíšené s výfukovými plyny. Tuto část čerstvé směsi je třeba zachránit. Proto je snaha výfuky dimenzovat tak, aby v závěrečné fázi výfuku došlo vlivem pulsací ke zpětnému pohybu plynů z části výfuku zpět do válce, dříve než se uzavře pístem výfukový kanál. Tomuto zpětnému pohybu se podrobí ta část plynů, která se v daném okamžiku nalézá v první válcovité části výfuku vycházející z válce. Směs z této části výfuku je dost kvalitní, aby se po návratu mohla zúčastnit spalování válci.[4]



Obrázek 17: Princip expanzního výfuku [6]

První část výfukového potrubí je většinou trubka kruhového průřezu, která se ohýbá podle umístění motoru v šasi. U toho dílu má vliv na výkon motoru délka a průměr. Pozvolné ohyby se funkčně téměř neprojeví. Druhou částí je expanzní kužel, ve kterém proudící plyny zvětšují svůj objem a ochladí se. Tento kužel působí i jako ventil, který dovoluje pohyb jenom ve směru ven z motoru. Rozměry kužele mají vliv na činnost motoru. Třetí díl je většinou válcový a hlavním funkčním rozměrem je zde jeho objem. Tento díl působí jako rezonátor a ovlivňuje vlastní kmitočet celého systému. Čtvrtá část výfukového potrubí je kužel situovaný obráceně než kužel expanzní. Bývá většinou strmější než expanzní kužel a působí jako clona pro odrazové vlny. Posledním funkčním členem je trubka menšího průměru, která přizpůsobuje výfukový systém pro širší rozsah otáček motoru. Změnou její délky a průměru této trubky je možno celý výfukový systém doladit. Délka výfukového potrubí musí být navržena tak, aby tlaková vlna, která se pohybuje rychlostí zvuku 343 km/h, dorazila do výfukového kanálu před okamžikem zavření výfukového kanálu.[4][9]



Obrázek 18: Optimální tlaková vlna ve výfukovém potrubí expanzní komory [4]

3.5 Řízení výfuku – výfukové přívěry

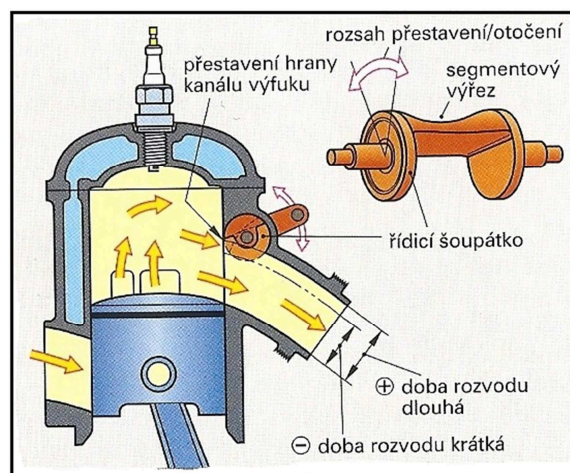
Řízení výfuku se používá ke snížení nebo zamezení nežádoucího dodatečného výfuku a tím i ke zlepšení plnění. Při příliš nízkém protitlaku výfukových plynů uniká příliš mnoho čerstvého plynu do výfukové soustavy, naopak při příliš vysokém protitlaku se dostává příliš málo čerstvého plynu (směsi nebo vzduchu) do válce.

Výfuková soustava může být konstruována tak, že při vysokých otáčkách je vysoký protitlak výfukových plynů, kterého se však nedosahuje při nízkých otáčkách. Ve velmi úzké oblasti otáček (rezonanční otáčky) může být kmitání plynu sladěno tak, že se sníží ztráty vyplachováním a zlepši se plnění. Vhodným rozladěním rezonance se může tato oblast otáček rozšířit. Řešením tohoto problému jsou výfukové přívěry ve válci, které řídí horní hranu výfukového kanálu např. pomocí šoupátka, nebo připojováním rezonančních komor a tím mění objem výfukového systému.[14][10]

3.5.1 Řízení výfuku průřezem

Řízení výfuku se provádí řídicím šoupátkem (power valve system). Válcové šoupátko se segmentovým výřezem s ostrou řídicí hranou, leží osou natáčení napříč k výfukovému kanálu. V závislosti na otáčkách a natáčení šoupátka mění volný průřez výfukového kanálu.[5]

Při malých a středních otáčkách se horní hrana (řídicí hrana) výfukového kanálu natočením šoupátka sníží a výška výfukového kanálu se zmenší. Zkrátí se úhel otevření výfuku a zabrání se proudění čerstvého plynu do výfukového kanálu. Přitom se zmenšuje užitečný (činný) zdvih pístu a efektivní kompresní poměr. Krátce před dosažením nejvyšších otáček se šoupátko natočí tak, aby se uvolnil celý průřez výfukového kanálu. Dosahuje se tak většího úhlu a doby otevření výfuku. Řídicí šoupátko se může přestavovat buď v závislosti na otáčkách odstředivým mechanismem, nebo servomotorem. [5]



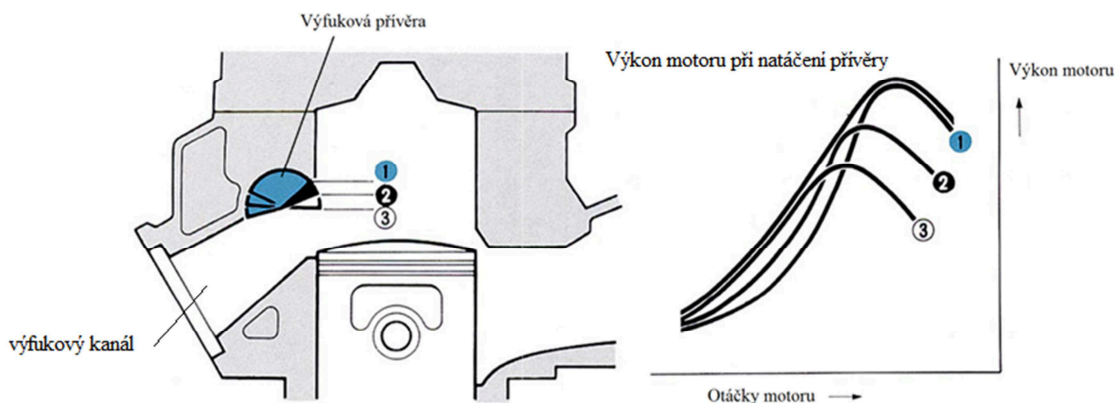
Obrázek 19: Řízení výfuku otočným šoupátkem [5]

Znaky řízení výfuku:

- Řízení výfuku řídicím šoupátkem mají symetrické rozvodové diagramy,
- Snížené ztráty čerstvého plynu při vyplachování,
- Vysoký točivý moment a vysoký výkon při nízkých a středních otáčkách,
- Otočné šoupátko je tepelně silně namáháno a může se na něm usazovat karbon,
- Horší chlazení stěny válce v oblasti výfuku.

System řízení YPVS

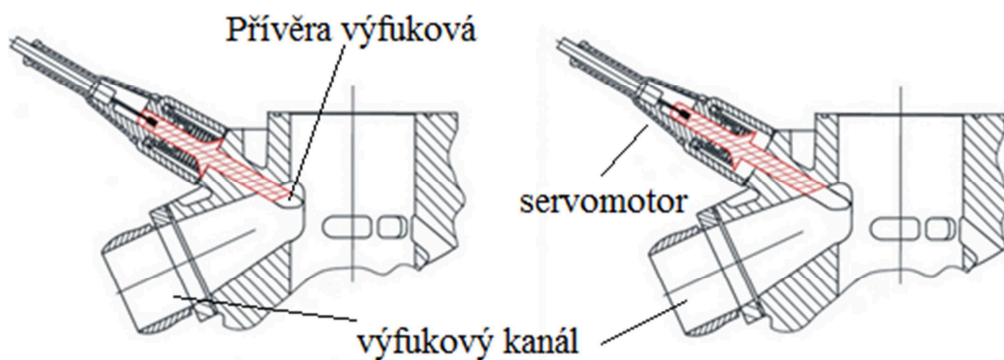
Tento systém představila v roce 1977 japonská Yamaha podle toho název (Yamaha Power Valve System). Tento systém pracuje na principu řízení výfuku šoupátkem. U horní hrany výfukového kanálu je umístěna válcová přívěra která má výřez ve tvaru hyperboloidu, takže tento výřez přívěry kopíruje tvar válce. Tato přívěra je ovládaná odstředivým regulátorem nebo pomocí servomotoru. Později byla přívěra ovládána elektronicky pomocí řídicí jednotky. Tento systém pracoval spolehlivě a netrpěl zadíráním jako u posuvných přívěr. Nevýhodou toho systému byla omezená životnost a nutnost údržby. Výfuková přívěra je ve styku s horkými spaliny a proto musela být vyrobena z kvalitních materiálů s dobrou tepelnou roztažností. Při spalování oleje ve směsi dochází k vzniku karbonu na přívěře, proto se musí při návrhu hledat možnosti jak tomuto jevu zabránit, jinak dochází k nepřesné funkci mechanismu.[14][15]



Obrázek 20: Systém YPVS [19]

Systém řízení Rotax RAVE

Jedná se o výfukovou přívěru, kterou vyvinul Rakouský Rotax v roce 1986 (Rotax Advanced Variable Exhaust). Tento systém má dvě možnosti jak může výfuková přívěra pracovat. První možností je reakcí změny tlaku ve výfukových plynech, které s rostoucími otáčkami stoupají. Tato přívěra se označuje jako „pneumatická“. Válec, který používá tuto přívěru musí mít malý kanálek, pomocí kterého dostává přívěra informace o tlaku plynů. A pomocí gumového měchu řídí vytahováním nože přívěry a tím se zvětšuje průřez výfukového kanálu. Další možností je ovládání elektromagnetickým servomotorem (solenoidem), podle pokynů řídicí jednotky. Tyto pokyny se odvíjejí podle otáček motoru. [14]



Obrázek 21: Systém řízení Rotax RAVE [14]

3.5.2 Řízení výfuku připojením rezonanční komory

Rezananční rozladění funguje na principu, jako řízení výfuku průřezem jen se podle otáček motoru přivírá a otevírá ve válci vložená oddělená komůrka spojená spojovacím kanálkem se sacím kanálkem. Při nízkých otáčkách je tato rezonanční komora plně otevřena a zvětšuje se celý objem výfukového systému. Výfukové plyny se díky tomu rozpínají a zabrání se vnikání čerstvé směsi do výfukového systému. Se zvyšujícími se otáčkami se tato komůrka uzavírá, takže objem komory se zmenšuje a rytmus pulzování výfukového plynu se přizpůsobuje otáčkám. Při vyšších otáčkách je tato komora uzavřena a motor pracuje jako klasický dvoutakt, který je vyladěný na vysoké otáčky.

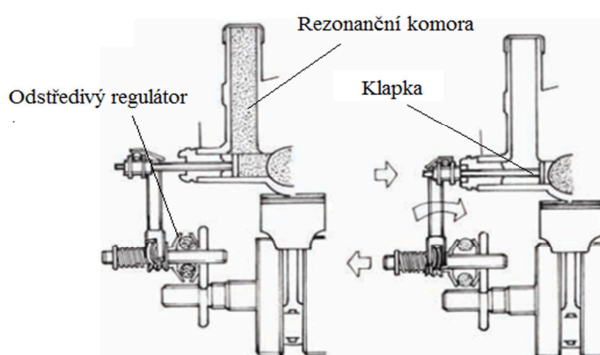
Výhody rezonančního řízení:

- Širší rozsah využitelných otáček,

- Lepší průběh křivky točivého momentu při nízkých a středních otáčkách,
- Nepatrný nárůst výstupního výkonu motoru.

System ATAC

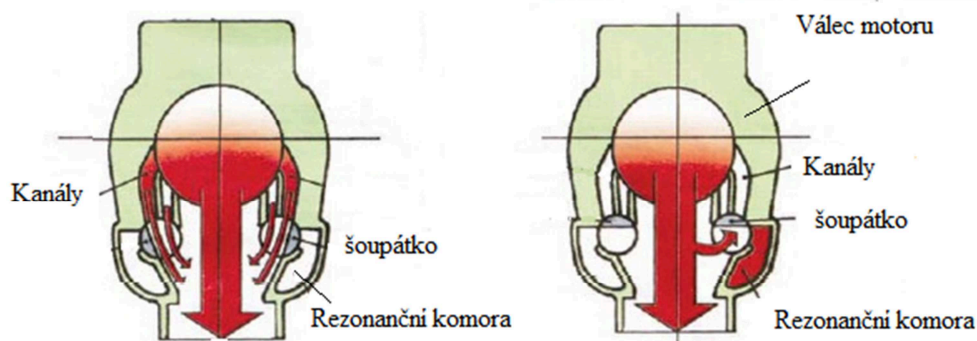
System představila Honda (Auto Control Torque Amplification Chamber). Rezonanční komora je vedle výfukového kanálu. Funguje na principu otevírání přední části výfukového potrubí (rezonanční komory) pomocí klapky, která je ovládaná odstředivým regulátorem.[15]



Obrázek 22: System řízení ATAC [15]

System KIPS

Tento system pochází od Kawasaki (Kawasaki Integrated Power Valve System). Funguje podobně jako system ATAC. V hlavním výfukovém kanálu jsou dva vedlejší vstupy, z nichž jeden je spojený kanálkem s rezonanční komorou umístěnou na boku válce. Otevírání a zavírání komory obstarávají dvě svísele uložená válcovitá šoupátka, která jsou v závislosti na otáčkách motoru odstředivě ovládaná. Jeden z kanálků je spojen s rezonanční komorou a pro nízké otáčky je plně otevřena. Pomocné kanálky jsou uzavřeny a motor má funkční jen hlavní výfukový kanál. Tohoto se využívá při nízkých otáčkách. Pro vysoké otáčky se komora uzavře a pomocné kanálky jsou plně otevřeny, toto pomáhá vyplachování při vysokých otáčkách. [15]



Obrázek 23: Systém řízení KIPS [19]

Systém SAEC

Je kombinací rezonanční komory a systému KIPS. Pochází od Suzuki (Suzuki Automatic Exhaust Chamber). Výfukový kanál je přehrazen válcovitým šoupátkem, a to ovládá vstup do rezonanční komory, která je součástí hlavy válce. Tento systém je ovládán plně elektronicky v závislosti na otáčkách motoru prostřednictvím servomotoru. Při zvyšování otáček vysílá řídicí jednotka impuls k odpojení komory a motor pracuje s maximálním výkonem ve vyšších otáčkách. Díky tomu získáme plynulý průběh výkonu bez propadu v nízkých otáčkách. [14]

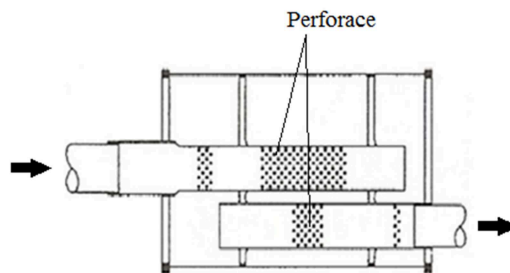
3.6 Tlumiče výfuku

Hluk výfuku vzniká pulzujícím výtokem spalin z válců motorů. Druh konstrukce a spořádání tlumičů hluku, i délka a průřez spojovacího potrubí jsou výrobcem pečlivě vzájemně sladěny. Hladina hluku spalin se tím snižuje na nejnižší možnou a požadovanou hodnotu. Současně se dbá na nízké hodnoty průtokového odporu celé výfukové soustavy, protože protitlak výfukových plynů snižuje výkon motorů. Účinné tlumení hluku, nemá-li způsobit zhoršení výkonu motoru, je velmi složité. Vyžaduje značné teoretické znalosti, praktické zkušenosti a obvykle rozsáhlé zkoušky. [11]

Pro tlumení hluku (snižování emisí) se do výfukového systému vkládají různé tlumiče. Hluková energie může být tlumena reflexí nebo absorpcí.

3.6.1 Reflexní tlumič hluku

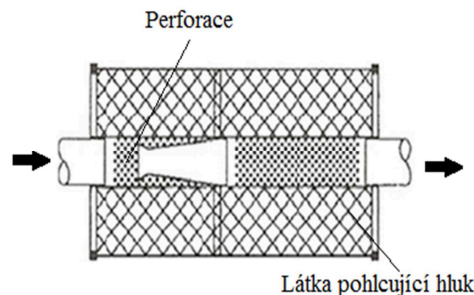
Při tlumení hluku se vkládají zvukovým vlnám překážky, zvukové vlny se tím odrážejí zpět a otáčejí. Různě velké komory tlumiče jsou spolu spojeny na obou stranách otevřenými vnitřními trubkami, které jsou proti sobě přesazeny, čímž je vynuceno obrácení proudu plynů v komorách tlumiče hluku. Tyto trubky mohou být také perforované. Při změně průtočných průřezů se zvukové vlny odrážejí a přitom tlumí. Reflexní tlumič hluku ve výfukovém systému se hodí zejména pro tlumení hluků středních a nižších frekvencí. [5]



Obrázek 24: Reflexní tlumič [11]

3.6.2 Absorpční tlumič hluku

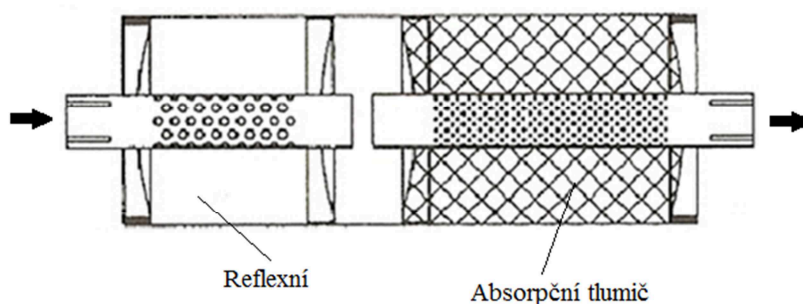
Při tomto tlumení hluku dopadají do měkkého porézního materiálu. Energie hluku je prakticky pohlcena, protože je třením přeměna na teplo. Absorpční tlumič se skládá z jedné nebo více komor, které jsou naplněny látkou pohlcující hluk např. minerální vatou nebo skelnými vlákny. Proud výfukových plynů je veden děrovanou trubkou a může proudit tlumičem téměř bez přepážek. Zvukové vlny ale pronikají bočními otvory až do absorpčního materiálu, ve kterém se pohlcují především vlny vyšších frekvencí. Proto se používají jako koncové tlumiče.[5]



Obrázek 25: absorpční tlumič [11]

3.6.3 Kombinovaný reflexně-absorpční tlumič hluku

Reflexní tlumiče hluku mohou být dobře vyladěny na nízké frekvence. Absorpční tlumiče hluku působí až v horní oblasti frekvencí. Jelikož každý z těchto uvedených tlumičů umí tlumit hluky rozdílných frekvencí, proto se většinou se používají oba tlumiče současně a to jednotlivě nebo ve společném pouzdře.[11]



Obrázek 26: reflexně-absorpční tlumič hluku [11]

3.6.4 Katalyzátory u dvoudobého motoru

Hlavní oxidační katalyzátor je umístěn tak aby co nejméně ovlivňoval pulzace ve výfukovém rezonátoru. Vzhledem k tomu, že oxidační reakce na povrchu katalyzátoru začínají probíhat při teplotě cca 300 °C, trvá ohřev na tuto teplotu značně dlouho. Urychlení ohřevu povrchu katalyzátoru je většinou řešeno pomocným oxidačním katalyzátorem. Ten bývá umístěn co nejbližší výfukovému otvoru. Povrch tohoto katalyzátoru se poměrně rychle zahřeje na potřebnou teplotu, při níž dochází k oxidaci nespálených uhlovodíků a CO. Tento katalyzátor tedy v počáteční fázi ohřevu motoru likviduje uvedené škodliviny a současně teplem vznikající při oxidaci zahřívá hlavní katalyzátor. [11]

3.7 Předpisy týkajících se hluku a emisí

Pro provozování motocyklů musí splňovat motocykly příslušné předpisy. Toto se týká i hluku. Pro každou kategorii motocyklů jsou předepsané postupy pro měření a i výsledné hlukové omezení, které musí výrobci dodržet.

V Evropě jsou rozděleny státy podle legislativy do tří základních částí.

- Státy, přijímající předpisy EHK (patří sem i ČR). Tyto země přijímají předpisy podle svých možností, proto se mohou tyto předpisy lišit v jednotlivých státech.
- Členské země EU, které se povinně řídí směrnicemi. Zde platí, že výrobci motocyklů ze států, které nejsou členy unie, musí zajistit, aby plnily limitní hodnoty dané směrnicemi, jinak jsou neprodejně.
- Státy, které samy zavedly přísnější limity, než jsou legislativně v rámci Evropy požadovány.

Předpisy EHK se vyvíjejí a jsou průběžně aktualizovány. Tato aktualizace spočívá především ve zpřísnování limitů nebo rozšíření sledovaných složek. Zde jsou uvedeny základní předpisy týkající se motoru o obsahu 50 cm³. Přesné znění norem je nákladné za každou normu se musí v případě použití zaplatit poplatek.

Předpis EHK 63 limituje jednotné ustanovení pro homologaci mopedů z hlediska hluku.

Tabulka 6: Hluk dle EHK 63 [22]

Kategorie mopedu	Hluk [dB]
Vozidla u, kterých je maximální rychlost nižší nebo rovná 30 km/h	70
Vozidla u, kterých je maximální rychlost vyšší než 30 km/h	73

Předpis EHK 41 limituje jednotné ustanovení pro homologaci motocyklů z hlediska hluku.

Tabulka 7: Hluk dle EHK 41 [22]

Kategorie motocyklu	Zdvihový objem motoru cc [cm ³]	Hodnoty vyjádřené v [dB]
První kategorie	cc ≤ 80 cm ³	75
Druhá kategorie	80 cm ³ < cc ≤ 175 cm ³	77
Třetí kategorie	cc > 175 cm ³	80

Předpis EHK 47 limituje jednotné ustanovení pro homologaci mopedů vybavených zážehovým motorem z hlediska emisních škodlivin z motoru.

Tabulka 8: Limity emisí dle EHK 47 [22]

Hmotnost oxidu uhelnatého g/km L_1	Hmotnost uhlovodíků g/km L_2
8	5

4. Konstrukční návrh a výpočet výfukového potrubí

Navrhované výfukové potrubí je určeno pro skútr značky Keeway Focus na obrázku 27. Cílem bude s pomocí výpočetní metody navrhnout a vypočítat rozměry nového výfuku, který bude zvyšovat výkon motoru. Tento model skútru jsem si zvolil z důvodu dostupnosti a možnosti vyzkoušení, zda při návrhu výfukové soustavy dojde ke zvýšení výkonu motoru. V tomto návrhu je uveden teoretický postup, kterým lze vypočítat na základě znalostí základních parametrů motoru expanzní výfuk. Splňování emisních předpisů a předpisů hluku se tento návrh nezabývá, hlavním úkolem bylo zvýšit výkon motoru.

Pro výpočet expanzního výfuku je více postupů. Pro vlastní návrh jsem použil postup dle Gordon P. Blair a jeho knihy *Design and Simulation of Two-Stroke Engines* (Základní design dvoutaktních motorů). V tomto dokumentu je postup, jak vypočítat rozměr dvoustupňového a třístupňového výfukového tlumiče.

V této práci je postup výpočtu dvoustupňové a třístupňového výfukového potrubí. Dále byl podle tohoto výpočtu nejprve vymodelován vlastní dvoustupňový expanzní výfuk v kapitole 4.5. Poté následovala jeho vlastní výroba v kapitole 4.6. Vlastní vyrobený výfuk jsem poté podrobil experimentu pro ověření vlastností. Měření se provádělo na válcové motorové zkušebně se sériovým výfukem a mnou vypočteným a upraveným výfukem.



Obrázek 27: Skútr Keeway Focus

4.1 Popis použitého skútru

Modely značky Keeway se vyznačují cenovou dostupností, atraktivním a dynamickým designem. Jedná se o cenově dostupný skútr, který přišel na trh v roce 2004. Tento skútr používá dvoudobý motor, který konstrukčně vychází z horizontálního motoru Minarelli. Motor je vzduchem chlazený o zdvihovém objemu 50 cm³.

Přípravu směsi zajišťuje karburátor Mikuni s difuzorem o velikosti 12mm, dále je tento karburátor vybaven automatickým sytičem. Dodávku paliva zajišťuje podtlakový kohout, ten využívá činnost motoru pro dodávku paliva do karburátoru. Mazání motoru zajišťuje olejové čerpadlo, které je poháněno od klikového hřídele. Sání je u tohoto motoru provedeno pomocí jazýčkového ventilu. Výfukový systém toho skútru splňuje normu Euro 2. Originální výfuk skútru je na obrázku 28. Obsahuje pouze trubku od válce, která vede hned do tlumiče výfuku. Z toho důvodu nelze očekávat od tohoto výfuku navýšení výkonu motoru. Skútr má sériový variátor pouze spojka je osazena tvrdšími pružinkami pro vyšší otáčky při rozjezdu. V tabulce 9. Jsou základní parametry tohoto skútru. [13]

Tabulka 9: Technické parametry skútru[13]

Technické parametry Kee way Focus 50 2T	
Motor	Jednoválcový dvoudobý motor
Zdvih vrtání	40,0 x 39,2 mm
Zdvihový objem	49,3
Kompresní poměr	6,9 : 1
Karburátor	Mikuni
Max. výkon	2,2 Kw /6500
Max. Točivý moment	3,4 Nm / 5700
Palivová systém	Směs palivo-olej a karburátor, automatické směřování a podtlakový kohout.
Sání vzduchu	Sání vzduchu do skříně motoru.
Mazání	Mazání motoru (píst, válec, kliková hřídel, hlavní ložiska) směsí oleje a benzínu.
Chlazení	vzduchem
Elektronické zapalování	Kondenzátorové s mikroprocesorem a zabudovanou vysokonapěťovou cívkou.
Výfukový systém	Kombinovaná expanzní komora absorbčního typu
Rozměry (d x š x v)	1815 x 680 x 1195 mm
Rozvor	1270 mm
Hmotnost (suchá)	90 Kg

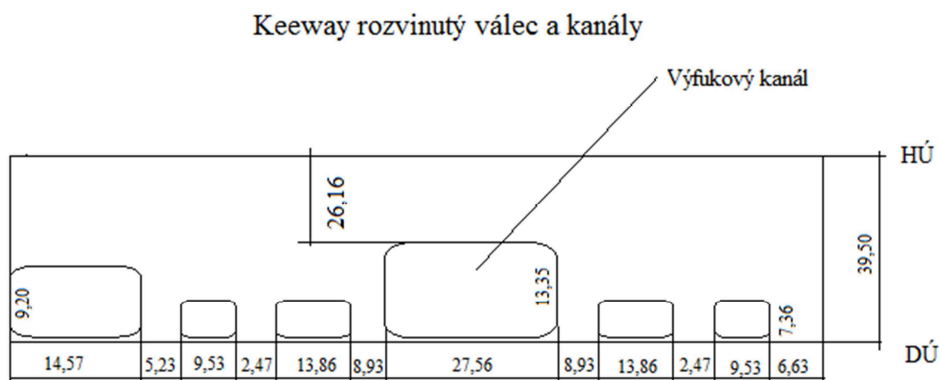


Obrázek 28: Originální výfuk

4.2 Výpočet expanzního výfuku

Pro výpočet expanzního výfuku je nejprve nutno určit základní parametry motoru. Je třeba určit úhel otevření výfukového kanálu a jeho průměr. Tyto informace nebyly poskytnuty, z tohoto důvodu bylo zapotřebí motor demontovat a určit velikost kanálků a jejich rozměry.

Na obrázku je rozvinutý válec motoru, kde jsou vyznačeny kanálky a jejich rozměry. Tento postup byl pro zjištění úhlu otevření výfukového kanálu a pro další výpočet parametrů expanzního výfuku.



Obrázek 29: Rozvinutý válec

Kinematika posuvného pohybu

Dráha

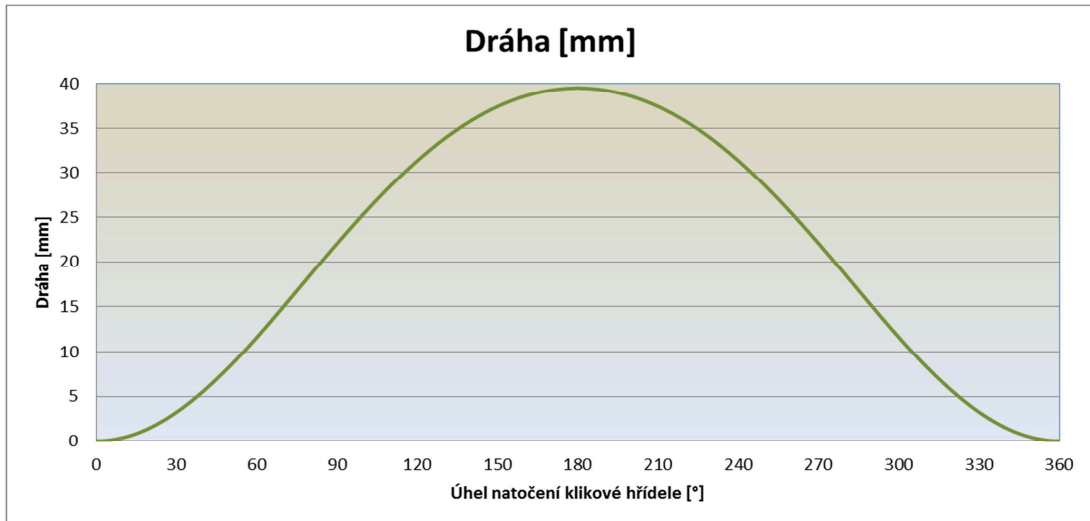
$$x(\alpha) = r \cdot \left[1 - \cos\alpha + \frac{1}{4} \cdot \lambda_k (1 - \cos 2\alpha) \right] \quad [mm] \quad (1)$$

Kde:

r poloměr klikového hřídele [m]

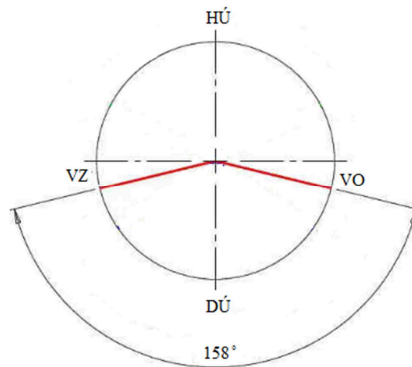
λ_kklikový poměr, [-]

α úhel natočení klikového hřídele [°]



Obrázek 30: Úhel natočení klikové hřídele

Z kinematiky posuvného pohybu klikového hřídel bylo určeno, že úhel otevření výfuku je 158° . V další postupu je vypočtena i střední rychlost pístu v závislosti na úhlu natočení klikové hřídele.



Obrázek 31: Úhel otevření výfuku

Rychlost

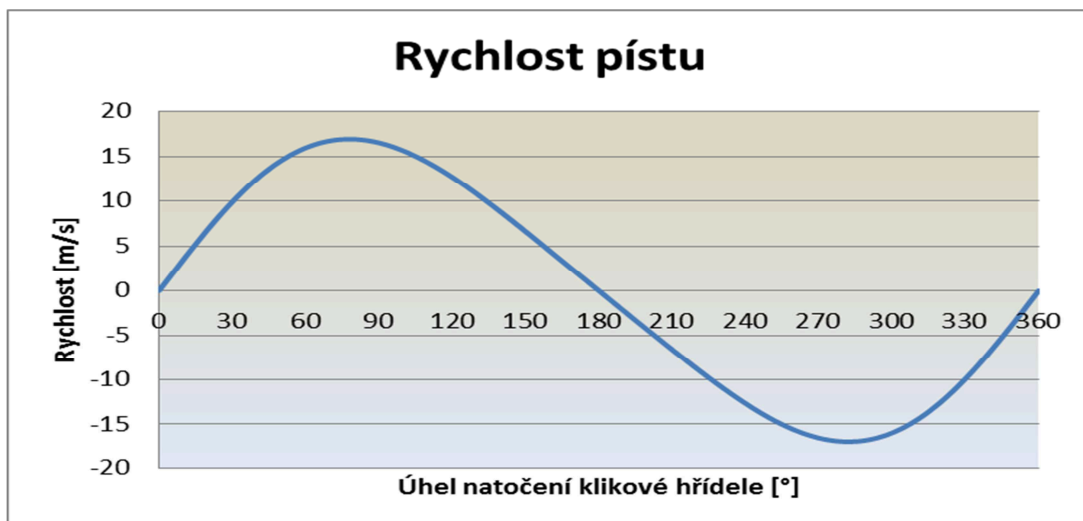
$$v(\alpha) = r \cdot \omega \cdot (\sin\alpha + \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot \sin 2\alpha) \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (2)$$

Úhlová rychlost otáčení klikového hřídele ω :

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad [rad \cdot s^{-1}]$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 133,33$$

$$\omega = 837,75 \text{ rad} \cdot s^{-1}$$



Obrázek 32: Rychlost pístu

Výpočet střední pístové rychlosti

Střední pístová rychlost je důležitý parametr motoru, zde je výpočet pro zjištění rychloběžnosti motoru. V praxi se doporučuje hodnota 15 m/s.

$$c_s = \frac{(z \cdot n)}{30} = \frac{(0,0395 \cdot 8000)}{30} = 10,53 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3)$$

Kde:

z zdvih motoru [m]

n_{\max} ... otáčky motoru maximální [min^{-1}]

c_sstřední pístová rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Tabulka 10: Parametry klikového mechanismu

$r=$	19,75	[mm]	Délka ramene kliky (zdvih / 2)
$l=$	85	[mm]	Délka ojnice
$\lambda=$	0,23	[-]	Poměr rameno/ojnice
$n=$	8000	[min^{-1}]	Otáčky
$\omega=$	837,76	[rad/s] v 8000 [min^{-1}]	Střední úhlová rychlost
$V_s=$	10,53	[m/s]	Střední rychlost pístu
$O_{\text{exp}}=$	158	[°]	Úhel otevření výfuku

4.3 Postup výpočtu expanzního výfuku

Naladěný stav motoru (BMEP)

BMEP je funkcí naladěného stavu motoru. Hodnota BMEP se používá v několika parametrech návrhu expanzní komory. V tomto postupu je empiricky stanovena z poznatků při měření. Takto se označuje střední užitečný tlak. V literatuře se tím označuje charakteristická hodnota spalovacích motorů, s uvažováním ztrát při přenosu výkonu. Doporučená hodnota pro zážehový motor je maximálně 1 MPa.

Bylo zvoleno podle literatury 5 bar = 0,5 Mpa. [6]

Průměrná teplota výfukových plynů

Po určení BMEP můžeme z následujícího vzorečku vypočítat průměrnou výfukovou teplotu. Jsou stanoveny empiricky z poznatků při měření. [6]

$$T_k = 534,67 \cdot e^{0,0485 \text{ BMEP}} \text{ [K]} \quad (4)$$

$$T_k = 534,67 \cdot e^{0,0485 \cdot 5}$$

$$T_k = 681,40 \text{ [K]}$$

Kde:

T_k střední teplota výfukových plynů [K]

BMEP..... střední užitečný tlak [bar]

Rychlost zvuku v plynu (Rychlost tlakové vlny)

Zvuk vzniká mechanickým vlněním. Podstatou je kmitání zdroje vlnění v tomto případě vibrace motoru a spalování paliva. Nejrychleji se šíří zvuk v pevných látkách a nejpomaleji v plynech. Pro funkci výfuku využíváme toho, aby dorazila tlaková vlna zpět k výfukovému potrubí a zamezila unikání čerstvé směsi z válce motoru. R je zde 287 [J·Kg⁻¹·K⁻¹] [6]

$$a_0 = \sqrt{(\gamma \cdot R \cdot T_k)} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (5)$$

$$a_0 = \sqrt{(1,4 \cdot 287 \cdot 681,40)}$$

$$a_0 = 523,25 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Kde:

γPoissonova konstanta [-]

R.....plynová konstanta výfukového plynu [$\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

T_kstřední teplota výfukových plynů [K]

Naladěná délka výfuku

Tento vzorec předpokládá, že naladěná délka výfuku je vzdálenost od výfukového kanálu. Je dána následujícím vzorcem.

$$L_t = (1000 \cdot a_0 \cdot O_{exp}) / (12 \cdot rpm) \text{ [mm]} \quad (6)$$

$$L_t = (1000 \cdot 523.24 \cdot 158) / (12 \cdot 9000)$$

$$L_t = 765,49 \text{ [mm]}$$

Kde:

L_tdélka výfuku [mm]

a_0 rychlost zvuku v plynu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

O_{exp} úhel otevření výfukového kanálu [$^\circ$]

Účinný výfukový průměr (EXD)

Je to průměr výfuku, který se určuje z rozměru výfukového kanálu jeho výšky a šířky.

$$EXD = \sqrt{\frac{4 \cdot S \cdot H}{\pi}} \text{ [mm]} \quad (7)$$

$$EXD = \sqrt{\frac{4 \cdot 21 \cdot 21}{\pi}}$$

$$EXD = 23,69 \text{ [mm]}$$

Kde:

EXD..... účinný průměr výfuku [mm]

S..... Šířka výfukového kanálu [mm]

H..... Výška výfukového kanálu [mm]

Výfukový koeficient

Existuje několik koeficientů, které se používají při návrhu expanzní komory. Viz. Tabulka číslo 11. Tyto koeficienty jsou stanoveny empiricky z poznatků při měření.

Tabulka 11: Koeficienty výfuku [6]

Druh motocyklu	K_0	K_1	K_2
Enduro	0,7	1,125	2,25
Motocross	0,65	-	-
GP Racer	0,6	1,05	3,25

4.3.1 Výpočet rozměrů dvoustupňového difuzéru expanzní komory

Výpočet rozměrů - dvoustupňový difuzér

V následujícím postupu jsou uvedeny vzorce pro výpočet průměrů jednotlivých částí dvoustupňového difuzéru expanzní komory.

$$D_1 = K_1 \cdot EXD \text{ [mm]} \quad (8)$$

$$D_1 = 1,05 \cdot 23,69$$

$$D_1 = 24,88 \text{ [mm]}$$

$$D_2 = D_3 \cdot \left(\frac{VT_{12}}{VT_{12} + VT_{23}} \right)^{1,33} \text{ [mm]} \quad (9)$$

$$D_2 = 77,01 \cdot \left(\frac{313,85}{313,85 + 107,16} \right)^{1,33} \text{ [mm]}$$

$$D_2 = 52,10 \text{ [mm]}$$

$$D_3 = K_2 \cdot EXD \text{ [mm]} \quad (10)$$

$$D_3 = 3,25 \cdot 23,69$$

$$D_3 = 77,01 \text{ [mm]}$$

$$D_4 = K_0 \cdot EXD \text{ [mm]}$$

$$D_4 = 0,63 \cdot 23,69$$

$$D_4 = 14,92 \text{ [mm]}$$

Dále jsou vypočteny délky jednotlivých sekcí dvoustupňového difuzéru expanzní komory.

$$VT01 = 0,10 \cdot L_T \text{ [mm]} \quad (11)$$

$$VT01 = 0,10 \cdot 765,49$$

$$VT01 = 76,55 \text{ [mm]}$$

$$VT12 = 0,41 \cdot L_T \text{ [mm]} \quad (12)$$

$$VT12 = 0,41 \cdot 765,49$$

$$VT12 = 313,85 \text{ [mm]}$$

$$VT23 = 0,14 \cdot L_T \text{ [mm]} \quad (13)$$

$$VT23 = 0,14 \cdot 765,49$$

$$VT23 = 107,16 \text{ [mm]}$$

$$VT34 = 0,11 \cdot L_T \text{ [mm]} \quad (14)$$

$$VT34 = 0,11 \cdot 765,49$$

$$VT34 = 84,20 \text{ [mm]}$$

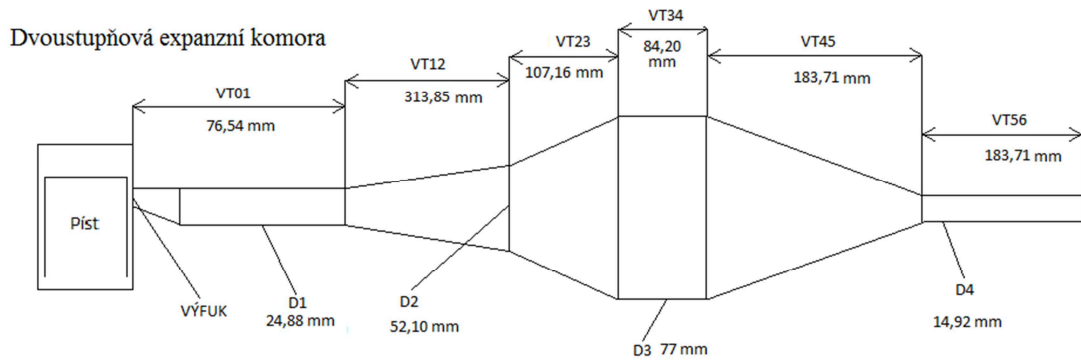
$$VT45 = 0,24 \cdot L_T \text{ [mm]} \quad (15)$$

$$VT45 = 0,24 \cdot 765,49$$

$$VT45 = 183,71 \text{ [mm]}$$

$$VT56 = VT45 \text{ [mm]} \quad (16)$$

$$VT56 = 183,73 \text{ [mm]}$$



Obrázek 33: Dvoustupňový expanzní výfuk

4.3.2 Výpočet rozměrů trojstupňového difuzéru expanzní komory

Výpočet rozměrů - trojstupňový difuzér

V následujícím postupu jsou uvedeny vzorce pro výpočet průměrů jednotlivých částí třístupňového difuzéru expanzní komory.

$$D_1 = K_1 \cdot EXD \text{ [mm]} \quad (17)$$

$$D_1 = 1,05 \cdot 23,69$$

$$D_1 = 24,88 \text{ [mm]}$$

$$D_4 = K_2 \cdot EXD \text{ [mm]} \quad (18)$$

$$D_4 = 3,25 \cdot 23,69$$

$$D_4 = 77,01 \text{ [mm]}$$

$$D_5 = K_0 \cdot EXD \text{ [mm]} \quad (19)$$

$$D_5 = 0,63 \cdot 23,69$$

$$D_5 = 14,92 \text{ [mm]}$$

$$D_2 = D_1 \cdot e^{x_{12}} [\text{mm}] \quad (20)$$

$$D_2 = 24,88 \cdot e^{1,25}$$

$$D_2 = 31,49 [\text{mm}]$$

$$D_3 = D_1 \cdot e^{x_{13}} [\text{mm}] \quad (21)$$

$$D_3 = 24,88 \cdot e^{2,44}$$

$$D_3 = 60,81 [\text{mm}]$$

$$X_{12} = \left(\frac{VT_{12}}{VT_{12}+VT_{23}+VT_{34}} \right)^{Kh} \cdot \text{Log}_e \left(\frac{D_4}{D_1} \right) \quad (22)$$

$$X_{12} = \left(\frac{210,52}{210,50+140,08+70,42} \right)^{1,29} \cdot \text{Log}_e \left(\frac{77,01}{24,88} \right)$$

$$X_{12} = 1,265$$

$$X_{13} = \left(\frac{VT_{12}+VT_{23}}{VT_{12}+VT_{23}+VT_{34}} \right)^{Kh} \cdot \text{Log}_e \left(\frac{D_4}{D_1} \right) \quad (23)$$

$$X_{13} = \left(\frac{210,50+140,08}{210,50+140,08+70,42} \right)^{1,29} \cdot \text{Log}_e \left(\frac{77,01}{24,88} \right)$$

$$X_{13} = 2,44$$

Byl zaveden nový koeficient, který se nazývá rohový. Jeho hodnoty jsou obvykle mezi jednou až dvěma. Malé hodnoty K_h jsou pro motory s úzkým využitím otáček motoru, větší hodnoty jsou voleny pro pružnější motory. Bylo zvoleno 1,29 z důvodu charakteristiky motoru u skútru, který nevyužívá velké rozpětí otáček motoru.[6]

$$1,25 < K_h < 2,0$$

$$K_h = 1,29$$

Rozměry délek sekcí trojstupňového difuzéru expanzní komory:

$$VT01 = 0,100 \cdot L_T \text{ [mm]} \quad (24)$$

$$VT01 = 0,100 \cdot 765,49$$

$$VT01 = 76,51 \text{ [mm]}$$

$$VT12 = 0,275 \cdot L_T \text{ [mm]} \quad (25)$$

$$VT12 = 0,275 \cdot 765,49$$

$$VT12 = 210,50 \text{ [mm]}$$

$$VT23 = 0,183 \cdot L_T \text{ [mm]} \quad (26)$$

$$VT23 = 0,183 \cdot 765,49$$

$$VT23 = 140,08 \text{ [mm]}$$

$$VT34 = 0,092 \cdot L_T \text{ [mm]} \quad (27)$$

$$VT34 = 0,092 \cdot 765,49$$

$$VT34 = 70,42 \text{ [mm]}$$

$$VT45 = 0,110 \cdot L_T \text{ [mm]} \quad (28)$$

$$VT45 = 0,11 \cdot 765,49$$

$$VT45 = 84,20 \text{ [mm]}$$

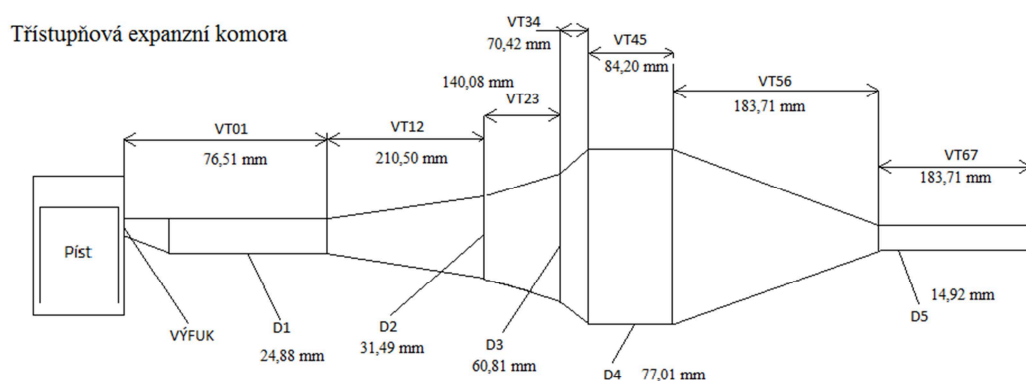
$$VT56 = 0,240 \cdot L_T \text{ [mm]} \quad (29)$$

$$VT56 = 0,240 \cdot 765,49$$

$$VT56 = 183,71 \text{ [mm]}$$

$$VT67 = VT56 \text{ [mm]} \quad (30)$$

$$VT67 = 183,71 \text{ [mm]}$$



Obrázek 34: Třístupňový expanzní výfuk

4.4 Zhodnocení vypočtených výsledků

Z vypočtených hodnot dvoustupňového expanzního výfuku jsem se rozhodl sestavit vlastní výfuk. Pro vlastní výrobu jsem vypočtené hodnoty zaokrouhlil z důvodu ulehčení výroby.

Při navrhování výfukových potrubí vychází konstruktéři hlavně z vlastních měření, které probíhají na válcové motorové brzdě. Zde mohou provést více měření pro daný skútr, kde odzkoušejí různé úpravy výfuku např. změnou délky expanzního kužele výfuku nebo změnou výfukové trubky. Tyto změny umožňují posouvání výkonu motoru do jiných otáček.

Vypočtené hodnoty jsem proto pak dále porovnal s hodnotami od jiného výfuku, který je určen na stejný skútr. Tuto úpravu jsem provedl z důvodu usnadnění montáže výfukového potrubí na skútr. Výpočtem jsem se přiblížil hodnotám porovnávaného výfuku. Avšak první sekce mého výfuku byla kratší než porovnávaný výfuk a druhá

sekce byla nepatrně delší. Proto jsem se rozhodl prodloužit první část výfuku na tuto délku a další část výfuku zkrátit. Tuto úpravu jsem provedl z důvodu usnadnění montáže výfukového potrubí na skútr. Rozměry výfukového potrubí jsou v tabulce 12. Další vypočtené rozměry jsem ponechal. V mém případě jsem měl možnost provést měření pouze na jednom rozměru výfuku.

Z těchto vypočtených a porovnaných hodnot jsem vyrobil vlastní výfuk.

Tabulka 12: Vlastní návrh délek výfukových sekcí

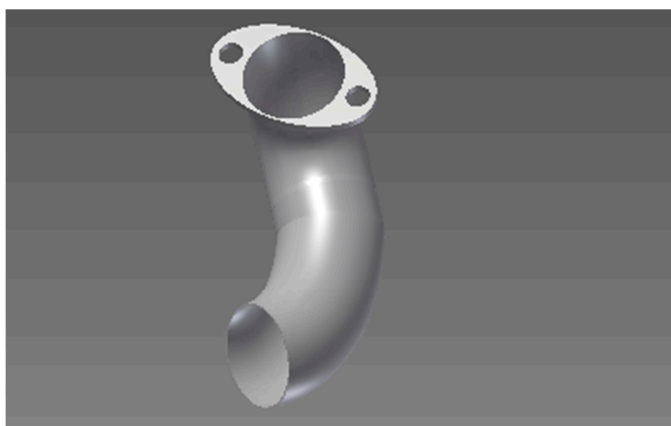
Návrh výfuku	Délka výfukových sekcí [mm]						Průměry sekcí [mm]			
	VT01	VT12	VT23	VT34	VT45	VT56	D1	D2	D3	D4
Vypočtený výfuk	76,54	313,58	107,16	84,2	183,71	183,71	24,88	52,1	77	14,92
Zaokrouhlené rozměry	80	310	105	85	180	180	25	52	80	15
Vlastní navrhnuté rozměry	140	290	105	85	180	180	25	52	80	15

4.5 Konstrukční návrh nového řešení

Z vypočteného návrhu výfukových sekcí jsem za pomoci programu Autodesk Inventor sestavil vlastní model expanzního výfuku. Pro model jsem použil hodnoty z tabulky 12.

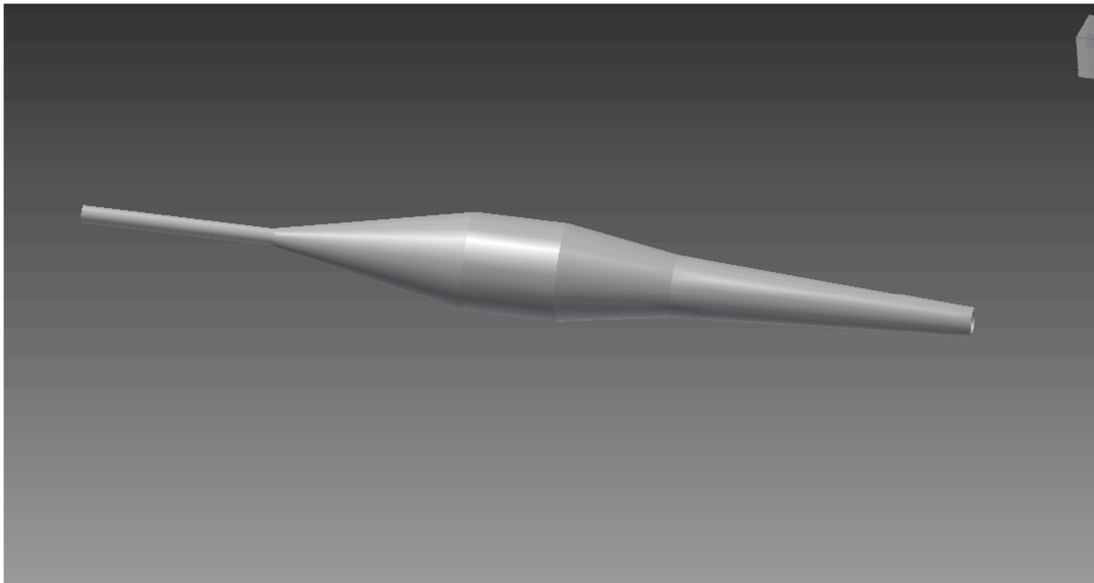
Postup vytváření modelu expanzního výfuku:

Pro přírubu výfukového potrubí jsem zvolil plech tloušťky 3 mm. Přírubu jsem vymodeloval podle rozměrů příruby válce motoru. Další část výfukového potrubí, která následuje je trubka od příruby ta má tloušťku 1 mm a délka a průměr je podle tabulky 12.



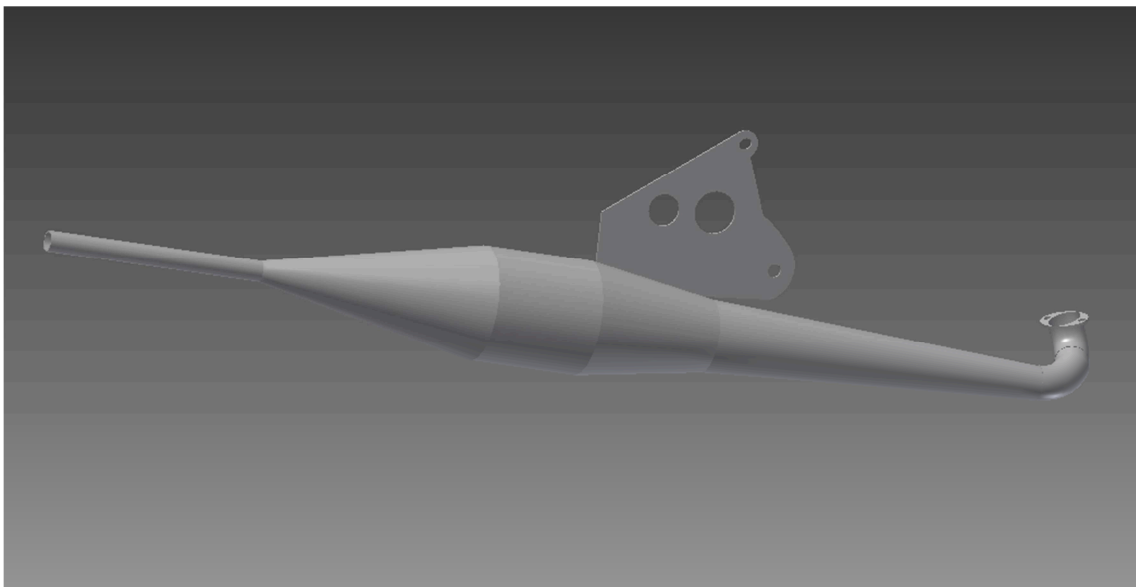
Obrázek 35: Příruba motoru a výfuková trubka

Na obrázku 36 je vymodelován expanzní kužel rezonátor, protikužel a výfuková trubička.

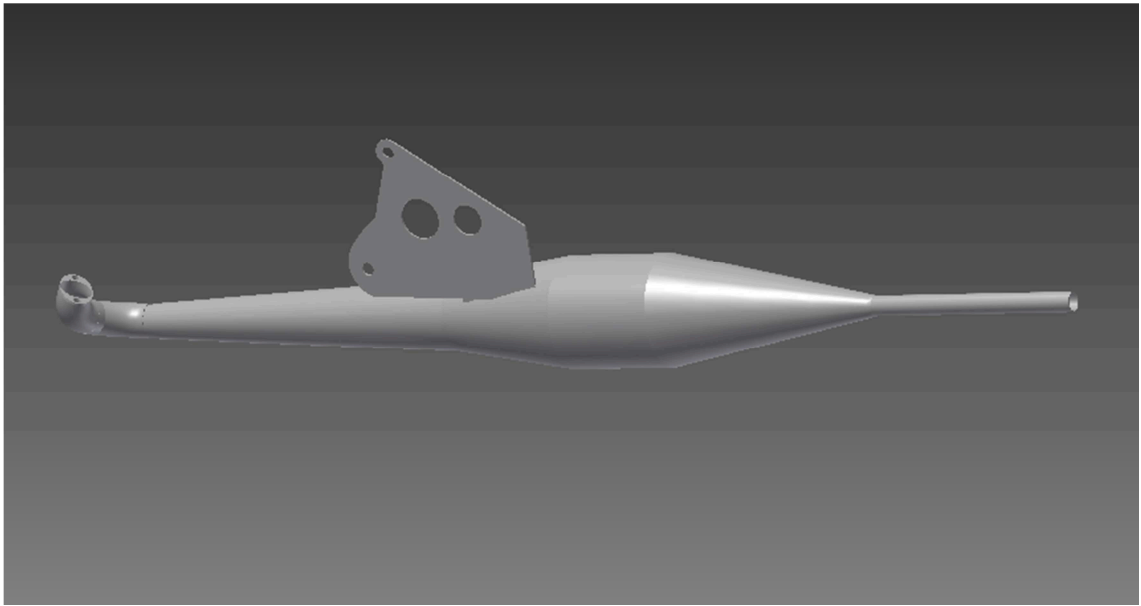


Obrázek 36: Výfuk funkční části

Celá funkční část výfuku je vymodelována s tloušťky plechu 1 mm. Poté následovalo sestavení celé výfuku do jednoho celku. Na obrázku 37 a 38 je celá sestava výfuku pro ukázkou z obou stran.

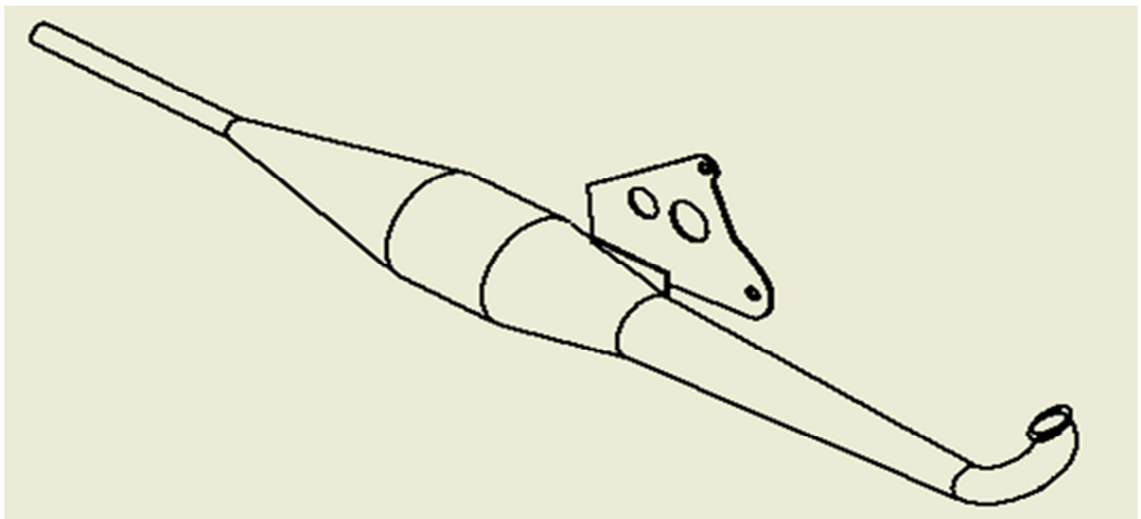


Obrázek 37: Pohled 2 na model výfuku



Obrázek 38: Pohled 3 na model výfuku

Program Autodesk Inventor umožňuje stanovení hmotnosti modelu, ta vyšla 3,59 Kg. Hmotnost originálního výfuku je 7,2 Kg. Další výhodou navrhovaného výfuku bude také v úspoře hmotnosti. Obrázek 39 zobrazuje model v 2D pohledu.



Obrázek 39: Pohled v 2D na model výfuku

Následný postup a výroba expanzního výfuku je blíže popsána v kapitole 4.6.

4.6 Výroba vlastního expanzního výfuku

Pro výrobu vlastního výfuku jsem plánoval zakoupit výfuk ze sériového motocyklu, ale z důvodu obtížnosti tvarování plechu a následné výroby jsem zakoupil univerzální výfuk značky Hikone. Tento výfuk se dá pořídit za velmi přijatelnou cenu už kolem 450 Kč.

Výfuk jsem rozřezal na jednotlivé sekce, a následně pomocí svařování kyslíko-acetylenovým plamenem jsem sestavil vlastní model výfuku.

Na následujících obrázcích je zachycen průběh při sestavování vlastního výfuku. Výroba příruby na výfukový kanál válce obrázek 40. Přírubu jsem použil ze zakoupeného výfuku a upravil její vnitřní rozměr. Na dalším obrázku 41 je vyrobená první část výfuku.



Obrázek 40: Výroba příruby výfuku



Obrázek 41: Vyrobená příruba výfuku

Na nový výfuk jsem použil části z rozřezaného výfuku, který jsem přizpůsobil vypočteným parametrům z tabulky 12, pomocí plechu tloušťky 1 mm. Plech je z oceli 11 373 normalizačně žíhaný dle ČSN 425301. Následně jsem sestavil vlastní výfuk. Poslední úpravou bylo přivaření koncové trubičky na obrázku 42. Pro koncovku výfuku jsem použil trubku o tloušťce 1 mm. Materiál trubky 11320 dle ČSN 425723.



Obrázek 42: Výroba trubičky výfuku



Obrázek 43: Vlastní výfuk před dokončením

Jako poslední úpravu, kterou jsem provedl, bylo na výfukovém potrubí obroušení svarů, které jsem dále začistil a následně na výfukové potrubí provedl nástřik tepelně odolnou barvou.



Obrázek 44: Hotový vlastní výfuk

Vlastní výfuk jsem nejprve odzkoušel jízdou. Při rozjezdu se skútr choval stejně jako se sériovým výfukem, ale hned po uvedení skútru do pohybu nastala lepší akcelerace přibližně do rychlosti 50 km/h. Po překročení této rychlosti skútr zrychloval pomaleji až do rychlosti zhruba 60 km/h. Od této rychlosti skútr začal zrychlovat silněji až do 75 km/h. Zde zrychlování ustálo.

U sériového výfuku je pocit zrychlení velmi malý a nenastává zde takový výkonový nárůst. Maximální rychlost je na sériovém výfuku kolem 60 km/h. Další vliv, který zde působí, byl hluk, který vydával expanzní výfuk. Ten způsobuje pocit rychlejší jízdy. Proto jsem provedl ověření v další kapitole pomocí válcové motorové brzdy.

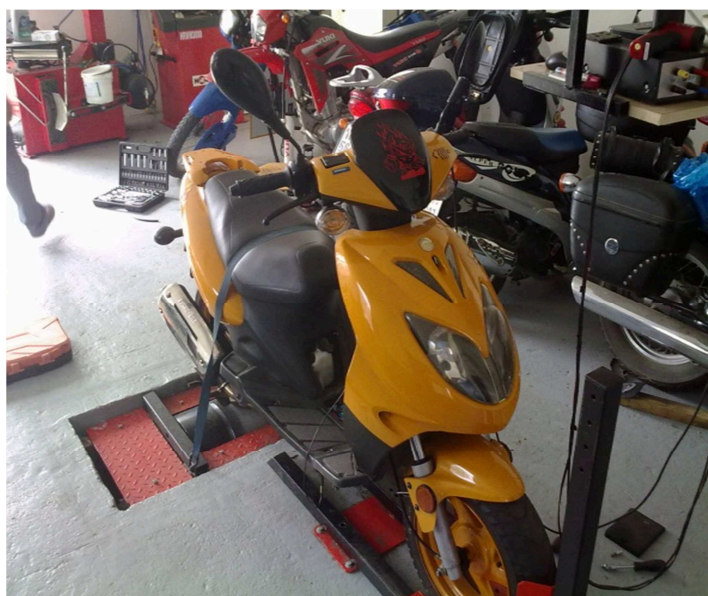
5. Ověření řešení na válcové výkonové zkušebně

V poslední části této práce bylo provedeno ověření vypočtených výsledků pomocí motorové brzdy. Pomocí válcové motorové brzdy se provádí měření výkonu motoru. Bylo provedeno nejprve měření se sériovým výfukovým potrubím a poté bylo provedeno měření s navrhnutým expanzním výfukem.

Měření bylo provedeno u firmy KSK motoservis, která byla nejdostupnější a ochotná měření provést. Tato firma disponuje motorovou brzdou výkonu motoru, která dovede měřit výkon motocyklů s plynule měnitelnými převody. Díky tomuto zařízení je proces měření oproštěn od dalších vlivů, jako jsou povětrnostní podmínky, váha jezdce nebo subjektivní pocit při jízdě.

5.1 Měření skútru na válcové motorové brzdě

Měření výkonu u skútru lze provést pouze na zadním kole z důvodu, že skútr používá variátor. Před vlastním měřením bylo třeba motor zahřát na provozní teplotu z důvodu přesnosti měření. V dalším postupu bylo připojení měřicích zařízení pro snímání otáček z indukční cívky a správné upevnění zkoušeného skútru do měřicího zařízení na obrázku 45.



Obrázek 45: Upevnění skútru na motorové brzdě

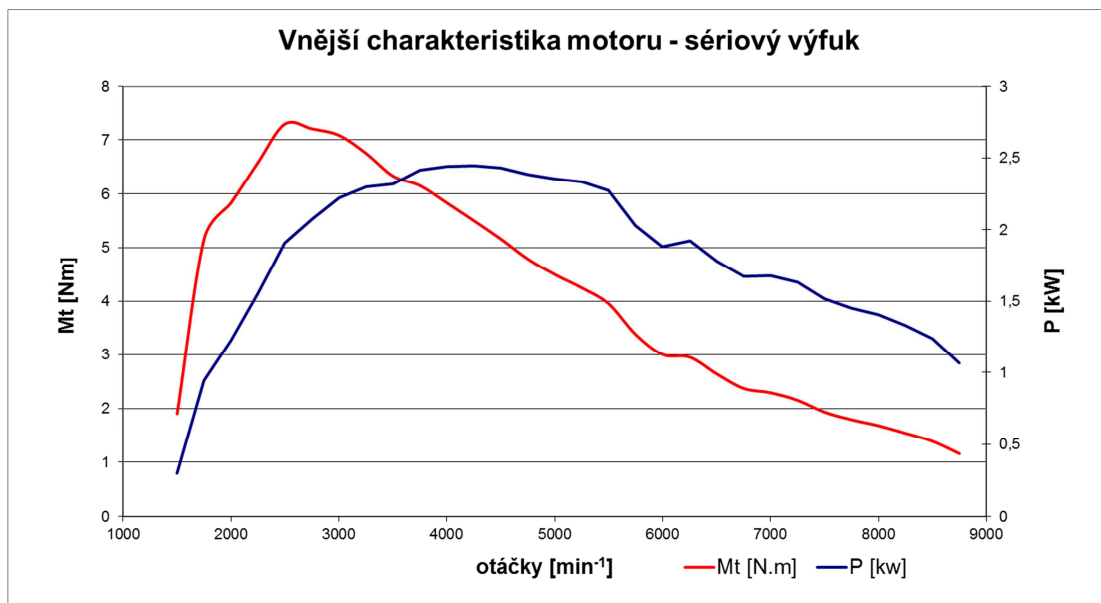
Z důvodu sériového stavu motoru a ostatních součástí skútru byly zvoleny maximální otáčky motoru 8500 min^{-1} , do kterých byl měřen výkon a točivý moment.

Vyšší otáčky by mohly poškodit motor. První měření bylo provedeno se sériovým výfukovým potrubím. Výsledkem je tabulka 13, naměřených hodnot výkonu a točivého momentu a otáček, při kterých bylo dosaženo těchto hodnot.

Tabulka 13. Hodnoty výkonu a momentu s originálním výfukem

Originální výfukové potrubí		
Otáčky motoru n [min^{-1}]	Naměřený výkon motoru P [kW]	Naměřený točivý moment motoru M [Nm]
1500	0,30	1,90
1750	0,95	5,16
2000	1,22	5,83
2250	1,55	6,58
2500	1,91	7,29
2750	2,07	7,20
3000	2,22	7,08
3250	2,30	6,75
3500	2,32	6,33
3750	2,41	6,15
4000	2,44	5,83
4250	2,46	5,54
4500	2,42	5,14
4750	2,40	4,83
5000	2,36	4,50
5250	2,33	4,25
5500	2,25	3,91
5750	2,04	3,39
6000	1,88	3,00
6250	1,93	2,91
6500	1,97	2,78
6750	1,67	2,45
7000	1,68	2,29
7250	1,67	2,20
7500	1,52	1,93
7750	1,45	1,79
8000	1,41	1,68
8250	1,33	1,54
8500	1,24	1,39

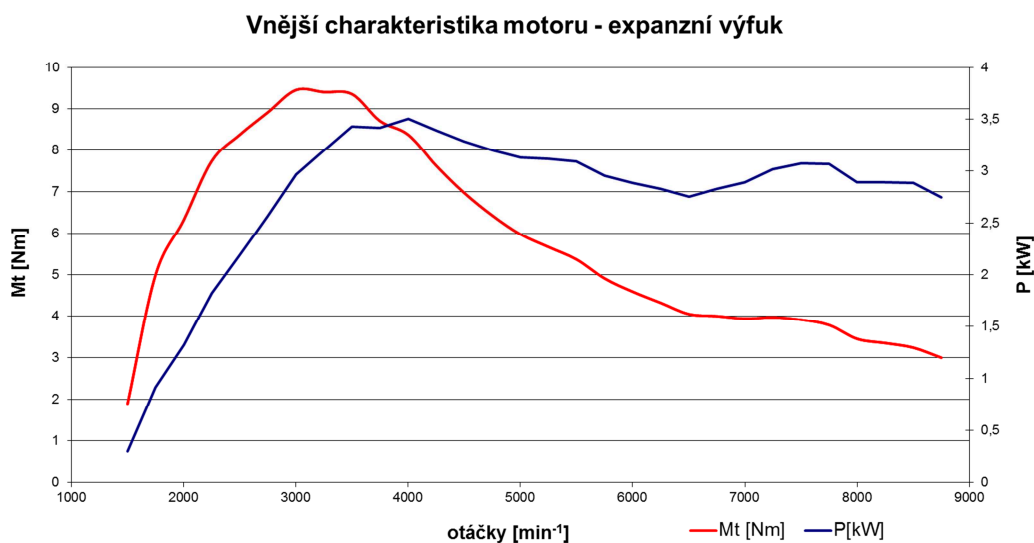
Graf na obrázku 46 je znázorněn průběh výkonu a točivého momentu motoru v závislosti na otáčkách z tabulky 13. Po výměně výfukového potrubí za expanzní výfuk, který byl mnou vyroben. Následovalo další měření výkonu a točivého momentu. Výsledek naměřených hodnot je uveden v tabulce 14.



Obrázek 46: Vnější charakteristika motoru – sériový výfuk

Tabulka 14. Hodnoty výkonu a momentu s expanzním výfukem

Výfuk s expanzní komorou		
Otáčky motoru n [min ⁻¹]	Naměřený výkon motoru P [kW]	Naměřený točivý moment motoru M [Nm]
1500	0,30	1,90
1750	0,92	5,00
2000	1,32	6,32
2250	1,82	7,73
2500	2,19	8,37
2750	2,56	8,91
3000	2,96	9,45
3250	3,19	9,40
3500	3,43	9,35
3750	3,41	8,70
4000	3,50	8,37
4250	3,38	7,62
4500	3,28	6,97
4750	3,19	6,43
5000	3,12	5,98
5250	3,12	5,67
5500	3,09	5,37
5750	2,96	4,91
6000	2,88	4,59
6250	2,83	4,32
6500	2,76	4,05
6750	2,83	4,00
7000	2,89	3,94
7250	3,10	3,97
7500	3,07	3,91
7750	3,07	3,78
8000	2,88	3,45
8250	2,89	3,35
8500	2,88	3,24



Obrázek 47: Vnější charakteristika motoru – expanzní výfuk

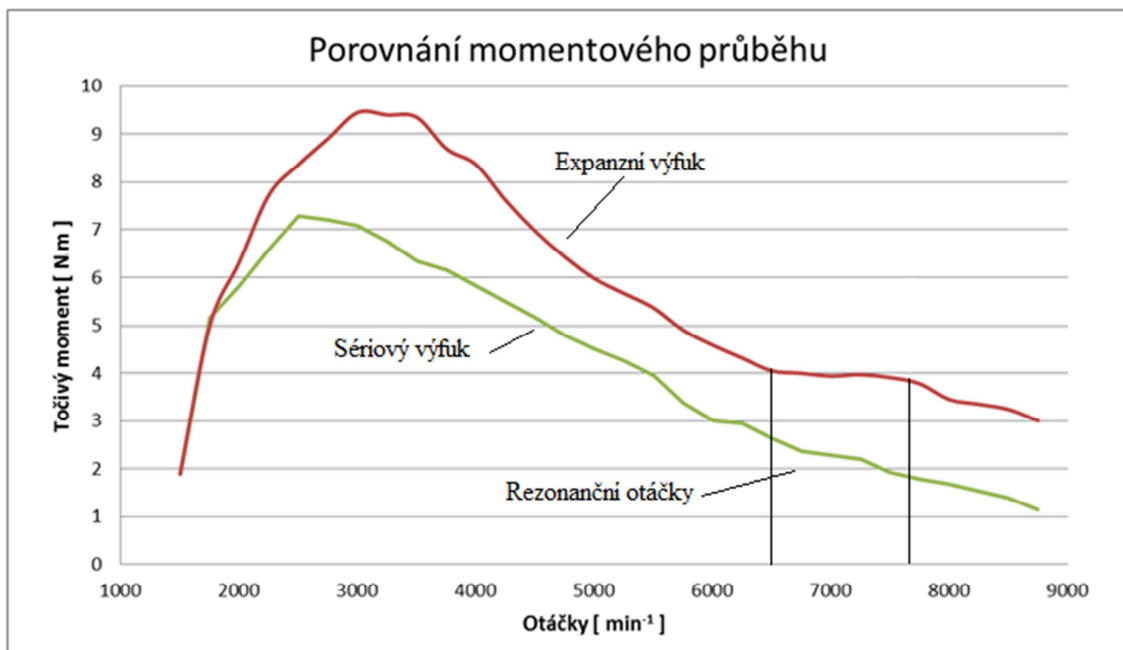
Naměřený výkon na zadním kole na obrázku 46 je na sériovém motoru bez zásahu do nastavení variátoru a odstředivé spojky. Při dosažení 4500 min^{-1} je spojka plně sepnuta. Od těchto otáček do zhruba 6500 min^{-1} je využíváno ideální pásmo výkonu, kdy je zajištěno využívání maximálního výkonu motoru. Dalším zvyšování otáček motoru dochází k poklesu výkonu a točivého momentu. Maximální otáčky podle výrobce jsou stanoveny na 6500 min^{-1} .

Na obrázku 47, je výsledek s použitím expanzního výfuku. Zde jsou všechny části skútru v originálním stavu (nic nebylo nastavováno). Při dosažení 4500 min^{-1} dochází k úplnému sepnutí spojky. Od těchto otáček dochází k postupnému snižování výkonu. Při dosažení 6500 min^{-1} dochází ke zvyšování výkonu. V pásmu od 6500 do 8000 min^{-1} nastává výkonová špička.

V této oblasti nastává rezonanční plnění a tím nastává zvýšení výkonu motoru. Pro tuto oblast je využití expanzního výfuku. Pro správnou funkci expanzního výfuku je nutno správně nastavit variátor, který má hlavní vliv na činnost expanzního výfuku. Popis postupu toho nastavení je uveden v další části práce.

5.2 Vyhodnocení naměřených výsledků

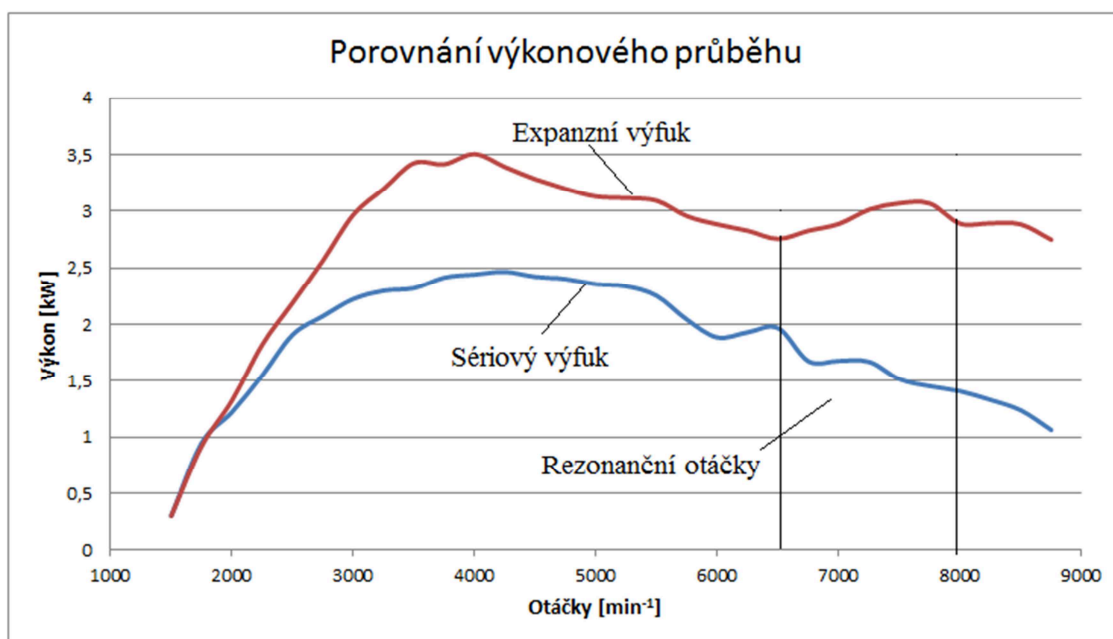
Cílem mého návrhu bylo zvýšení výkonu motoru pomocí expanzního výfuku dle výpočetní metody. Naměřené hodnoty ukazují, že při použití mnou navrhnutého expanzního výfuku došlo ke zvýšení výkonu motoru. Z obrázku č. 49, kde je porovnán sériový a expanzní výfuk lze vidět rozdíl výkonu při konkrétních otáčkách motoru. V této části práce je pak dále porovnání naměřených výsledků, kde je zhodnocení stavu před a po výměně výfukového potrubí. Popisem není hodnocen maximální výkon a moment při otáčkách, ale jeho celkový rozdíl při konkrétních otáčkách u sériového a expanzního výfuku.



Obrázek 48: Porovnání momentu motoru

Při porovnávání momentového průběhu vychází, že v případě expanzního výfuku došlo k navýšení točivého momentu motoru.

V otáčkách na obrázku 48, od 6500 min⁻¹ do zhruba 7500 min⁻¹ je skoro plochý průběh točivého momentu a je na zadním kole naměřen 4 Nm točivý moment. U sériového výfuku se točivý moment ustálí na 3 Nm při 6000 min⁻¹ a pak dále klesá.



Obrázek 49: Porovnání výkonu motoru

Při použití výfuku s expanzní komorou došlo také ke zvýšení výkonu motoru a to v celém průběhu otáčkového pole, kdy se měřil výkon. Pokles, který nastal v grafu je způsoben špatnou kontrastní pružinou na obrázku 49. Tento pokles by byl její vhodnou výměnou potlačen. Další zvýšení výkonu se projevilo nárůstem v otáčkách motoru zhruba od 6500 min⁻¹ do 8000 min⁻¹.

Tabulka 15: Porovnání výkonu motoru s originálním a expanzním výfukem

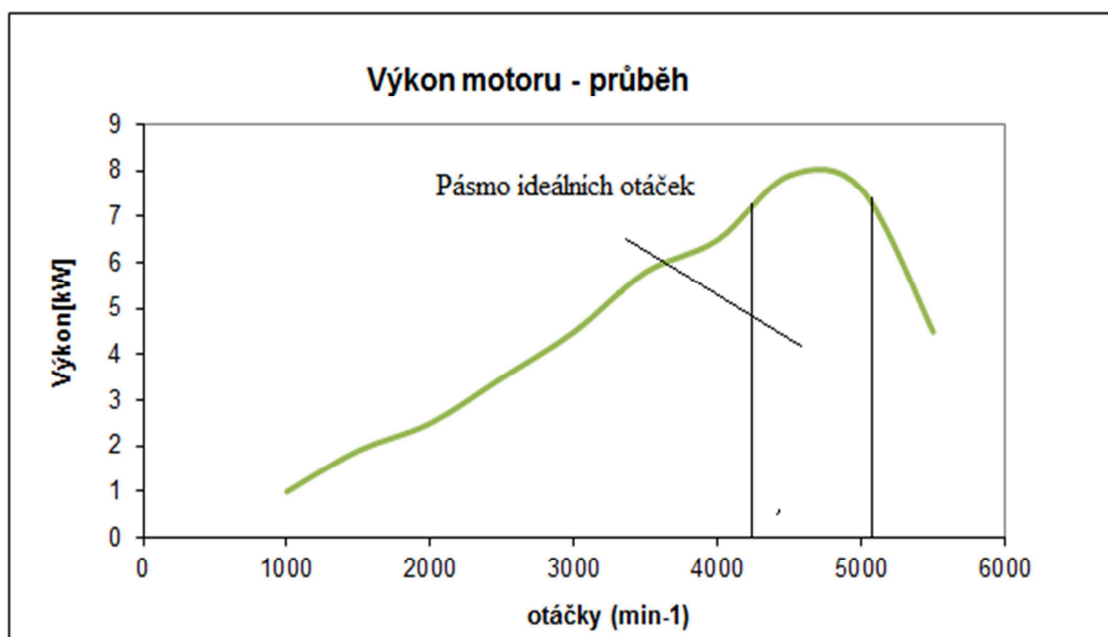
Porovnání výkonů ve stejných otáčkách			
Otáčky motoru n [min ⁻¹]	Sériový výfuk P [kW]	Expanzní výfuk P [kW]	Rozdíl [kW]
5000	2,36	3,12	0,77
5250	2,33	3,12	0,79
5500	2,25	3,09	0,84
5750	2,04	2,96	0,92
6000	1,88	2,88	1,00
6250	1,93	2,83	0,90
6500	1,97	2,76	0,79
		Průměrné zvýšení výkonu	0,86
6750	1,67	2,83	1,15
7000	1,68	2,89	1,21
7250	1,67	3,10	1,43
7500	1,52	3,07	1,55
7750	1,45	3,07	1,62
8000	1,41	2,88	1,47
8250	1,33	2,89	1,56
8500	1,24	2,88	1,65
		Průměrné zvýšení výkonu	1,46

V tabulce 15 je srovnání výkonů sériového a expanzního výfuku při stejných otáčkách motoru. Porovnávané rozmezí je od 5000 min^{-1} do 8500 min^{-1} , kdy v případě expanzního výfuku je vždy dosahován vyšší výkon. V otáčkách motoru od 5000 min do 6500 je výkon u expanzního výfuku vyšší průměrně o 0,86 kW, při překročení 6500 min začíná výkon stoupat a je k dispozici výkon o 1,46 kW vyšší. Z toho srovnání vychází, že při použití expanzního výfuku se posune maximální výkon do vyšších otáček, zatímco u sériového výfuku výkon začal klesat.

Při provozu se u skútru využívá určité pásmo otáček, ve kterých je využíván optimální výkon motoru. V případě použití expanzního výfuku vznikne výkonová špička, kdy stoupá výkon motoru, ale klesá točivý moment motoru. Tato nevýhoda se projeví při jízdě do stoupání, kdy při poklesu otáček mimo ideální pásmo začíná motor ztrácet otáčky a výkon.

Proto je třeba udržovat otáčky motoru v oblasti maximálního výkonu. Dalším problémem vzniká v případě, že se jezdí ve dvou. Motor má maximální otáčky, ale výkon není dostatečný pro dosažení vyšší rychlosti. Tento problém se odstraní použitím výfuku, který je odladěn pro výkon v nižších otáčkách.

Výfuky se označují mezi výrobci jako tzv. „street výfuk“. Tomuto pásmu otáček se musí přizpůsobit ostatní komponenty, které mají vliv na celkový průběh výkonu. Hlavní vliv na správné naladění motoru má variátor. Ten se musí v případě výměny výfuku znovu správně naladit pomocí vhodné hmotnosti válečku, které se musí ve většině případů odlehčit.[18]



Obrázek 50: Výkon motoru průběh

Další vliv na celkové naladění skútru má také odstředivá spojka, ale ta se musí vhodně naladit pomocí tvrdších spojkových pružin. Toto má vliv na vyšší otáčky pro rozjezd motoru, které jsou z důvodu použití expanzního výfuku.

Variátor

Při zvýšení výkonu motoru pomocí expanzního výfuku má největší vliv na správné využívání otáček variátor na obrázku 51. Ten se se většinou musí odladit pomocí změny hmotnosti válečků. Válečky se musí odlehčit z toho důvodu, aby byly zajištěny vyšší otáčky motoru. Lehčí válečky potřebují větší odstředivou sílu ke změně převodového poměru. Výrobci nabízejí spoustu sportovních variátorů, které umožní rychlejší změnu převodové poměru díky vhodně zvolenému dráze, po které se válečky pohybují. Dobrý variátor dokáže zamezit klesání otáček při zrychlování. Při použití sportovního variátoru je nutno použít také spojku s tvrdšími pružinami.



Obrázek 51: Variátor a válečky

Odstředivá spojka a kontrastní pružina

Z důvodu, že některé sportovní variátory potřebují pro svou funkci vyšší otáčky pro rozjezd je nutno použít tvrdší pružiny spojky. Některé sportovní variátory se při rozjezdu otevřou příliš brzy. Proto je nutno tyto dvě části spolu sladit a tím se zajistí optimální rozjezd.



Obrázek 52: Spojka a kontrastní pružina

V případě jízdy do stoupání, když klesají otáčky motoru, až motor ztratí výkon a jede se velmi pomalu, je tento problém způsoben tzv. kontrastní pružinou na obrázku 52. Problém se odstraní výměnou kontrastní pružiny za tvrdší. Princip této pružiny je, že stlačuje řemenice a umožňuje změnu převodového poměru. V případě, kdy je pružina již opotřebená není schopna měnit převodový poměr. Všechny tyto komponenty mají vliv na celkový výkon motoru. Správným sladěním bude využíván výkon v optimálních otáčkách.

6. Závěr

Cílem diplomové práce byl návrh výfukového potrubí dvoudobého motoru. Touto problematikou jsem se zabýval jako jediný ze studentů. Úkolem bylo seznámení se základním principem dvoudobého motoru a popisem výfukového systému a jeho vliv na výkon motoru.

V první části práce je uveden vývoj motocyklů s dvoudobým motorem. Porovnání vyráběných motorů, které jsou používány u skútrů a jejich charakteristiky. Následuje možnosti zdokonalení dvoudobého motoru využitím nových technologií jako je použití přímého vstřikování a tím plnění současných norem pro jejich emise. V závěru kapitoly jsou uvedeny výhody a nevýhody dvoudobých motorů.

Následuje popis dvoudobého motoru a jeho vlastnosti včetně popisu funkce sání a řízení výměny náplně motoru. Další kapitola popisuje výfukovou soustavu motoru včetně jejich charakteristik, které jsou od ní očekávány. Je zde uveden princip rezonančního výfuku včetně popisu jeho funkce na plnění válce motoru. Dále jsou zde uvedeny možnosti řízení výfuku pomocí výfukových přívěrů dvoudobého motoru včetně jejich vlivů na průběh výkonu motoru. Bohužel neexistuje příliš mnoho literatury, která se zabývá touto problematikou. V současné době, co se týká výfuku, jsou kladeny požadavky spíše na očistu výfukových spalin, než na jeho správný vliv na výkon motoru.

Pro návrh výfukového potrubí je nevýhodou poskytnutí málo informací pro výpočet a jeho správnou funkci. Výrobci těchto výfuků mnoho poznatků tají. Tyto informace jsou ceněny jako know-how. V dalších kapitolách jsem se zabýval výpočtem expanzního výfuku, kde je z vypočtených hodnot sestaven nejprve vlastní model výfuku. Následně je popsán postup vlastní výroby expanzního výfuku. V poslední kapitole je experiment pro ověření vlastností vypočteného expanzního výfuku pomocí motorové válcové brzdy. Tento experiment potvrdil, že nově navrhnutý výfukový systém zvyšuje výkon motoru. Po vyhodnocení experimentu jsou stručně popsány další vlivy, které souvisí s výměnou výfukového potrubí pro jeho správnou funkci.

7. Seznam použité literatury:

- [1] VLK, František. *Motorová vozidla I.* 1. vyd. Praha: Československá redakce VN MON, 1989, 224 s.
- [2] Kovanda, Jan., Resl, Ivo.: *Konstrukce automobilů.* ČVUT, Praha, 1997. 120 pp., ISBN 80-01-01624-2.
- [3] APETAUR, Milan a Vladimír STEJSKAL. *Motorová vozidla VI.* 1. vyd. Praha: ČVUT, 1980, 124 s.
- [4] Blair, Gordon P. *Desing and simulation of two-stroke engines,* Society of Automotive Engineers, 1996. 623 s. ISBM 1-56091-685-0.
- [5] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika. 3.,* přeprac. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2007, 685 s. ISBN 978-80-86706-17-7.
- [6] Bell, A. G. *Two-storke performance tuning,* Haynes Publishing, 272 s. ISBN 1-85960-619-3.
- [7] Rauscher, J. *Spalovací motory,* Studijní opory. VUT Brno. 235 s.
- [8] NEPOMUCK, Bernd L a Udo JANNECK. *Technická rukověť motocyklisty:* [technika, údržba, opravy]. 1. vyd. České Budějovice: Kopp, 1999, 478 s. ISBN 80-7232-059-9.
- [9] HUSÁK, Pavel. *Motocykly s dvoudobým motorem:* konstrukce, výpočty a stavba motocyklů. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2011, 280 s. ISBN 978-80-251-22808.
- [10] HUSÁK, Pavel. *Sportovní úpravy dvoudobých motocyklů:* [konstrukce a úpravy maloobjemových strojů sedmdesátých let]. Vyd. 1. v nakl. Computer Press. Brno: Computer Press, 2011, 160 s. ISBN 978-80-251-2575-5.
- [11] Vlk, F. *Vozidlové spalovací motory.* VUT Brno, 2003 1. Vydání. 580 s. ISBN 80-238-8756-4.
- [12] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily.* 3. vyd. Brno: Avid, 2004, iv, 165 s.
- [13] Impexta 3000 s.r.o. Ostrava. *Návod k obsluze skútru Keewy Focus.* 2004. 15 s.
- [14] Apriliatech. *Výfukové přívěry a jejich princip* [cit.2013-05-05].Dostupné z: <http://www.apriliatech.cz/cs/>
- [15] Vlk, F. *Rozvody motocyklových motorů.* VUT Brno [cit. 2013-04-05]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-06-331-343.pdf>

- [16] Procter, G. *Two strokes strike back*. [cit. 2013-04-05]. Dostupné z:
<http://twostrokemotocross.com/2009/06/two-strokes-strike-back/>
- [17] Mickelson, P. [online.][cit. 2013-04-05]. Dostupné z www:
<http://www.snowgoer.com/snowmobiling-features/why-2-stroke-direct-injection-is-a-big-deal/#.UZVNS7XFH5E>
- [18] Scootland. [online]. 2013 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://www.scootland.cz/>
- [19] Yamaha - motor. [online]. 2013 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z:
<http://www.yamaha-motor.eu/designcafe/en/about-design/technology/index.aspx>
- [20] Kawasaki Kips. [online]. 2013 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z:
<http://ajilbab.com/kawasaki/kawasaki-kips-system.htm>
- [21] NGK. Ngk [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.ngk.de/nc/cz/>
- [22] VÚD a.s. Žilina. [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z:
http://www.telecom.gov.sk/externe/ehk_osn/ehkmain.htm

8. Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: Skútr Unibus z roku 1920 [9].....	14
Obrázek 2: Dvoudobý motor se vstřikováním [5]	18
Obrázek 3: Dvoudobý motor popis [7]	20
Obrázek 4: Činnost dvoudobého motoru [14]	21
Obrázek 5: Rozvinutý indikátorový diagram $p - \alpha$ zážehového motoru [11]	22
Obrázek 6: Chybné průběhy hoření [11]	24
Obrázek 7: Rozvodový diagram s řízením (píst, šoupátko, membránový ventil) [6].....	26
Obrázek 8: Rozvod sání pístem [4].....	26
Obrázek 9: Válcové šoupátko [11]	27
Obrázek 10: Kotoučové šoupátko princip [5].....	27
Obrázek 11: Membránový ventil a jeho princip [5]	29
Obrázek 12: Mazání čerstvým olejem s dávkovacím čerpadlem [5].....	31
Obrázek 13: Příčné vyplachování válce [12].....	33
Obrázek 14: Vratné vyplachování válce [5]	33
Obrázek 15: Princip souproudeho vyplachování [4]	34
Obrázek 16: Schéma výfukového potrubí dvoudobého motoru [9]	35
Obrázek 17: Princip expanzního výfuku [6].....	37
Obrázek 18: Optimální tlaková vlna ve výfukovém potrubí expanzní komory [4].....	38
Obrázek 19: Řízení výfuku otočným šoupátkem [5].....	39
Obrázek 20: Systém YPVS [19]	40
Obrázek 21: Systém řízení Rotax RAVE [14].....	41
Obrázek 22: Systém řízení ATAC [15]	42
Obrázek 23: Systém řízení KIPS [19].....	43
Obrázek 24: Reflexní tlumič [11]	44
Obrázek 25: absorpční tlumič [11]	44
Obrázek 26: reflexně-absorpční tlumič hluku [11].....	45
Obrázek 27: Skútr Keeway Focus	48
Obrázek 28: Originální výfuk	50
Obrázek 29: Rozvinutý válec.....	50
Obrázek 30: Úhel natočení klikové hřídele	51
Obrázek 31: Úhel otevření výfuku.....	51
Obrázek 32: Rychlost pístu.....	52

Obrázek 33: Dvoustupňový expanzní výfuk	57
Obrázek 34: Třístupňový expanzní výfuk	60
Obrázek 35: Příruba motoru a výfuková trubka	61
Obrázek 36: Výfuk funkční části	62
Obrázek 37: Pohled 2 na model výfuku.....	62
Obrázek 38: Pohled 3 na model výfuku.....	63
Obrázek 39: Pohled v 2D na model výfuku.....	63
Obrázek 40: Výroba příruby výfuku.....	64
Obrázek 41: Vyrobená příruba výfuku	64
Obrázek 42: Výroba trubičky výfuku	65
Obrázek 43: Vlastní výfuk před dokončení	65
Obrázek 44: Hotový vlastní výfuk.....	66
Obrázek 45: Upevnění skútru na motorové brzdě	67
Obrázek 46: Vnější charakteristika motoru – sériový výfuk	69
Obrázek 47: Vnější charakteristika motoru – expanzní výfuk	70
Obrázek 48: Porovnání momentu motoru	71
Obrázek 49: Porovnání výkonu motoru.....	72
Obrázek 50: Výkon motoru průběh	74
Obrázek 51: Variátor a válečky	75
Obrázek 52: Spojka a kontrastní pružina.....	75

9. Seznam použitých tabulek

Tabulka 1: Emisní hodnoty Euro 1 – 3.[21]	18
Tabulka 2: Tlaky plynů v barech při oběhu dvoudobého motoru (10 bar = 1 MPa)[5] .	22
Tabulka 3: Maximální otáčky a střední pístové rychlosti soudobých vozidel [11]	25
Tabulka 4: Empirické hodnoty pro litrový výkon a výkonovou hmotnost [11]	25
Tabulka 5: Úhly při řízení pístem a šoupátkem [4]	28
Tabulka 6: Hluk dle EHK 63 [22]	46
Tabulka 7: Hluk dle EHK 41 [22]	46
Tabulka 8: Limity emisí dle EHK 47 [22]	47
Tabulka 9: Technické parametry skútru[13]	49
Tabulka 10: Parametry klikového mechanismu	52
Tabulka 11: Koeficienty výfuku [6]	55
Tabulka 12: Návrh délek výfukových sekcí	61
Tabulka 13. Hodnoty výkonu a momentu s originálním výfukem	68
Tabulka 14. Hodnoty výkonu a momentu s expanzním výfukem	69
Tabulka 15: Porovnání výkonu motoru s originálním a expanzním výfukem	72

10. Seznam příloh

Příloha A: Protokol měření sériový výfuk

Příloha B: Protokol měření expanzní výfuk

Příloha C: Dokumentace při měření na Motorové brzdě

Příloha D: Výkres expanzního výfuku