



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

SYSTÉMY VÝMĚNY NÁPLNĚ VÁLCE U DVOUDOBÝCH MOTORŮ

GAS EXCHANGE SYSTEMS OF TWO-STROKE ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Kovář

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Michal Kovář**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.**
Akademický rok: 2020/21

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

Systemy výměny náplně válce u dvoudobých motorů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza vývoje a kritické zhodnocení systémů výměny náplně ve válcích dvoudobých motorů.

Cíle bakalářské práce:

Soustředit informace o vývoji systémů výměny náplně válce aplikovaných u dvoudobých motorů různých výkonových kategorií.

Popsat jednotlivá technická řešení, jejich přednosti a nedostatky.

Nastínit možný budoucí vývoj v této oblasti.

Seznam doporučené literatury:

HEISLER, Heinz. Advanced engine technology. Warrendale, PA: SAE International, c1995. ISBN 1560917342.

ZIMA, Stefan. Kurbeltriebe: Konstruktion, Berechnung und Erprobung von den Anfängen bis heute. 2.

vyd. Wiesbaden: Vieweg, 1999. ISBN 3-528-13115-2.

FUCHS, Anton: Automotive NVH technology. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2015. ISBN 978-3-319-24053-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na analýzu vývoje a kritického zhodnocení systému výměny náplně válce u dvoudobých motorů. Cílem práce bylo pomocí rešerše soustředit různé možnosti výměny náplně válce u dvoudobých motorů různých výkonových kategorií, popsat jednotlivá řešení a poukázat na výhody a nevýhody jednotlivých systémů a následně nastínit možný budoucí vývoj v této oblasti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dvoudobý motor, rozvod sání, vyplachování, výfuk, přívěra, expanzní komora

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on the analysis of the development and critical evaluation of the gas exchange system of two-stroke engines. The aim of the work was to use research to concentrate various options for gas exchange system of two-stroke engines of various power categories, to describe individual solutions and point out the advantages and disadvantages of individual systems and then outline possible future developments in this area.

KEYWORDS

Two stroke engine, inlet valve, scavenging, exhaust, power-valve systems, expansion chamber

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Kovář, M. *Systémy výměny náplně válce u dvoudobých motorů*. Brno, 2021. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 34 s. Vedoucí diplomové práce Václav Píštěk.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Václava Píštěka a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 14. května 2021

.....

Michal Kovář

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Václavu Pištěkovi, DrSc. za pomoc při zpracování této práce. Dále děkuji rodině a přátelům za podporu během studia.

OBSAH

Úvod	11
1 První dvoudobý motor	12
1.1 Dvoudobý motor v klasické podobě	12
1.2 Dvoudobý motor v nynější podobě.....	13
1.3 Nesymetrický rozvod a laděný výfukový systém	13
2 Princip činnosti dvoudobého motoru.....	15
2.1 Sání	15
2.2 Komprese	15
2.3 Expanze.....	15
2.4 Výfuk	15
3 Rozvod sání	17
3.1 Rozvod pístem	17
3.2 Rozvod rotačním diskovým šoupátkem.....	17
3.3 Rozvod válcovým šoupátkem	19
3.4 Rozvod posuvným šoupátkem	19
3.5 Rozvod membránami (jazýčkovým ventilem).....	20
4 Vyplachování.....	21
4.1 Příčné vyplachování.....	21
4.2 Souproudé vyplachování.....	22
4.3 Vratné vyplachování	23
5 Výfuková soustava.....	24
5.1 Výfuková přívěra	24
5.2 Rezonanční komory	25
5.2.1 KIPS (Kawasaki integrated power valve system)	25
5.2.2 ATAC (auto control torque amplification chamber)	26
5.2.3 SAEC (Suzuki automatic exhaust chamber)	26
5.3 Regulace horní hrany výfukového kanálu	26
5.3.1 YPVS (Yamaha power valve system)	26
5.3.2 RAVE (Rotax advanced variable exhaust)	27
5.3.3 AETC (Automatic exhaust timing control)	27
5.3.4 RC-Valve (Remote control valve).....	27
6 Plnění motoru.....	28
6.1 Karburátor	28
6.2 Vstřikování.....	28
6.2.1 Vstřikování do spalovacího prostoru.....	28
6.2.2 Vstřikování do sacího potrubí	29
6.2.3 Vstřikování do prepouštěcího kanálu	29



7	Budoucí vývoj	30
	Závěr	31
	Seznam použitých zkratek a symbolů	34

ÚVOD

Dvoudobý motor prošel mnoha podobami a inovacemi. Z původního jednoduchého, stabilního, naftového motoru pro lokomotivy a továrny se stal motor lehký a výkonný, který se používá v nízkoobjemových motocyklech, vodních skútrech, zahradní technice, sněžných skútrech atd.

V dnešní době jsou tyto motory poměrně utlačované motory čtyřdobými, kvůli emisním normám, protože spalování oleje u dvoudobých motorů není úplně ekologické. Pro splnění emisních norem, je nutné do výfukové soustavy přidat katalyzátor a mazat motor co nejefektivněji, aby nedocházelo ke spalování zbytečně velkého množství oleje. Z těchto důvodů od toho spousta firem upouští a dvoudobé motory už nenabízí, což je dle mého názoru škoda, vzhledem k potenciálu, jaký v nich je.

Některé firmy od toho však neupustily, protože zákazníci požadují lehký a výkonný motor. Vzhledem k množství závodů a soutěží s těmito stroji je na konkurenční firmy vyvíjen obrovský tlak a jsou nuceny vymýšlet nová konstrukční řešení, aby byl motor výkonný a spolehlivý s nízkou spotřebou a emisemi.

V této bakalářské práci je zobrazen vývoj různých konstrukčních řešení systémů nasávání směsi do válce, výměny směsi ve válci a vyfukování spalin z válce, za účelem dosažení lepší účinnosti a větších výkonů motoru.

Na začátku je zde nastíněna historie, jak dvoudobý motor vznikal.

Následuje kapitola o jeho principu činnosti, kde jsou popsány jednotlivé stavy.

V další kapitole se dostáváme k systémům rozvodu sání. Zde jsou rozděleny a vysvětleny základní systémy, které se používaly, případně stále používají.

Navazuje kapitola zabývající se vyplachováním, kde jsou představena různá konstrukční řešení s jejich přednostmi a nedostatky.

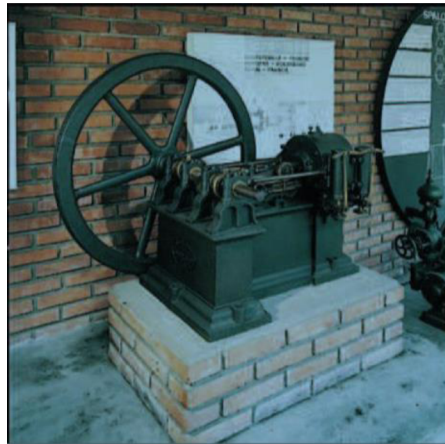
Jednou z hlavních kapitol je také výfuková soustava, která pojednává o speciální konstrukci výfukového potrubí a využití zpětné tlakové vlny pro dosažení lepší efektivity a většího výkonu motoru. Také jsou zde představeni jednotliví zástupci pro výfukovou přívěru.

Vzhledem k možnosti vstřikování paliva přímo do spalovacího prostoru a tím tedy vyplachování spalin pouze vzduchem, se přidala kapitola o plnění motoru, kde jsou popsány možnosti použití karburátoru a vstřikování.

Na závěr je zařazena kapitola budoucího vývoje, ve které je představen můj osobní názor, jak by se mohly dvoudobé motory dále vyvíjet.

1 PRVNÍ DVOUDOBÝ MOTOR

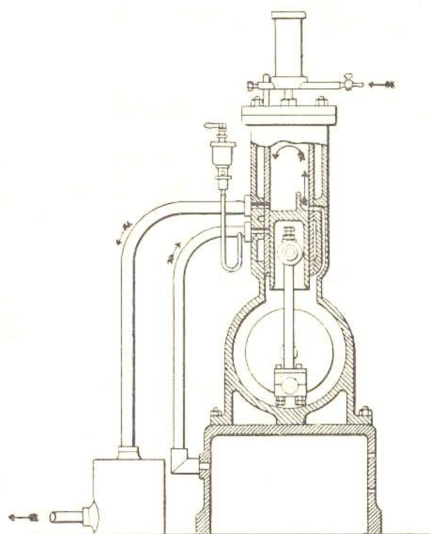
Jeden z prvních použitelných spalovacích motorů byl sestaven v roce 1860 Belgičanem J. J. E. Lenoir. Jednalo se o dvoudobý motor poháněný svítiplynem, avšak rozvod směsi byl podobný jako u čtyřdobého motoru. Výměna směsi se realizovala zpočátku šoupátky a později jako u čtyřdobého motoru pomocí ventilů v hlavě motoru. Následně byl svítiplyn nahrazen odpařovaným benzínem a jednalo se tak o první motor na kapalné palivo. [1]



Obr. 1: Lenoirův spalovací motor s šoupátkovým rozvodem

1.1 DVOUDOBÝ MOTOR V KLASICKÉ PODOBĚ

V roce 1891 přišel Angličan Joseph Day s řešením dvoudobého motoru bez ventilů. Jelikož tento motor ještě neměl přepouštěcí kanály, sání probíhalo pomocí podtlakové membrány v sacím kanálu a druhé membrány v plášti pístu. Po několika letech Joseph Day tuto konstrukci zdokonalil a použil přepouštěcí kanály. Ovládání sání pomocí spodní hrany pístu navrhl v roce 1892 zaměstnanec Frederic Cock a tím došlo k odstranění veškerých řídicích prvků. [2]



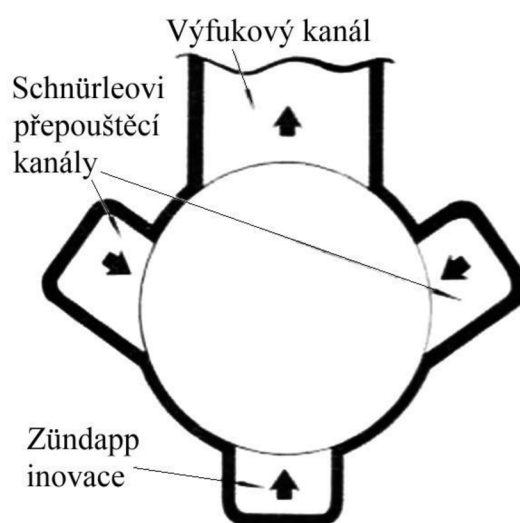
Obr. 2: Konstrukce dvoudobého motoru Josepha Daye [3]

1.2 DVOUDOBY MOTOR V NYNĚJŠÍ PODOBĚ

Za výrobou motoru v takové podobě, v jaké ho známe dnes stojí firmy MZ, DKW a IFA.

Firma DKW koupila v roce 1932 patent na vratné vyplachování pomocí dvou přepouštěcích kanálů od Dr. Schnürlema, který ho vymyslel již 7 let předtím. Tato skutečnost měla výrazný přínos na silniční produkci a tento systém se dodnes používá například v zahradní technice, kde není potřeba vysokých výkonů.

Konkurenční firma Zündapp tento systém převzala a inovovala ho třetím přepouštěcím kanálem přímo naproti výfukovému kanálu, který měl za úkol usměrnit proud směsi ve válci. Díky této konstrukci došlo ke zlepšení výkonových parametrů a přitom i ke snížení spotřeby paliva. [4]



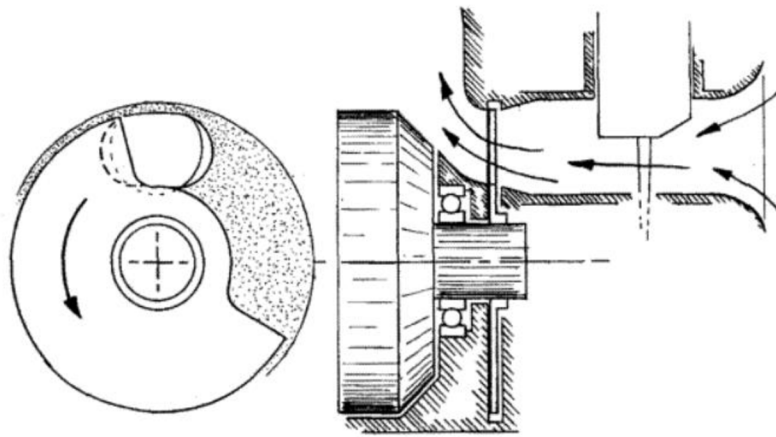
Obr. 3: Varianty přepouštěcích kanálů [5]

1.3 NESYMETRICKÝ ROZVOD A LADĚNÝ VÝFUKOVÝ SYSTÉM

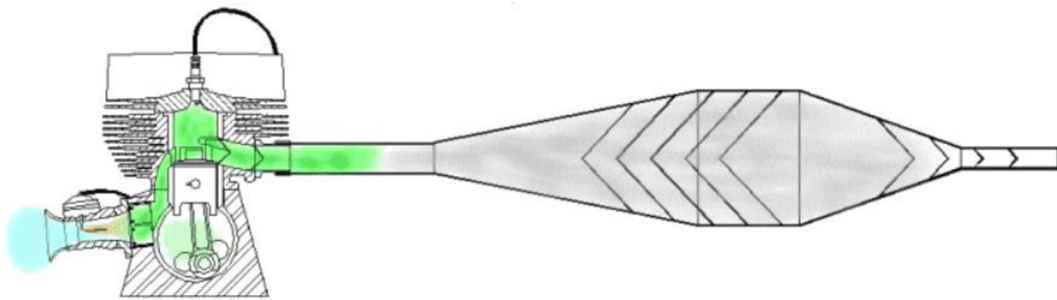
Konstruktér Walter Kaaden ve firmě IFA a MZ v roce 1951 přišel na efektivnější využití paliva pomocí správně zkonstruovaného výfukového potrubí s expanzní komorou. Díky tomu se rapidně zvýšil výkon motoru a snížila spotřeba paliva.

Následně bylo také namontováno rotační diskové šoupátko, které dovolovalo měnit časování sání a tím bylo dosaženo nesymetrického rozvodu a lepších výkonů a účinností. Změnami velikosti a polohy výřezu můžeme měnit výkonové parametry podle aktuální potřeby.

Tyto dvě inovace zásadně změnily dosavadní pohled na konstrukci motorů. Začalo se dosahovat mnohem větších výkonů a lepší spotřeby paliva. [6]



Obr. 4: Rozvod rotačním diskovým šoupátkem [7]



Obr. 5: Výfuková soustava [8]

2 PRINCIP ČINNOSTI DVOUDOBÉHO MOTORU

2.1 SÁNÍ

Nastává při pohybu pístu z dolní do horní úvrati, kdy píst uzavře přepouštěcí kanály. Tím vznikne pod pístem v klikové skříni podtlak. V případě klasického rozvodu pístem se sání realizuje ihned, když plášť pístu odkryje sací kanál. Pokud je rozvod realizován rotačním šoupátkem, sání začíná v místě výřezu disku, který odkryje sací kanál a u jazýčkového ventilu probíhá sání okamžitě, když se začne tvořit podtlak. [9]

2.2 KOMPRESI

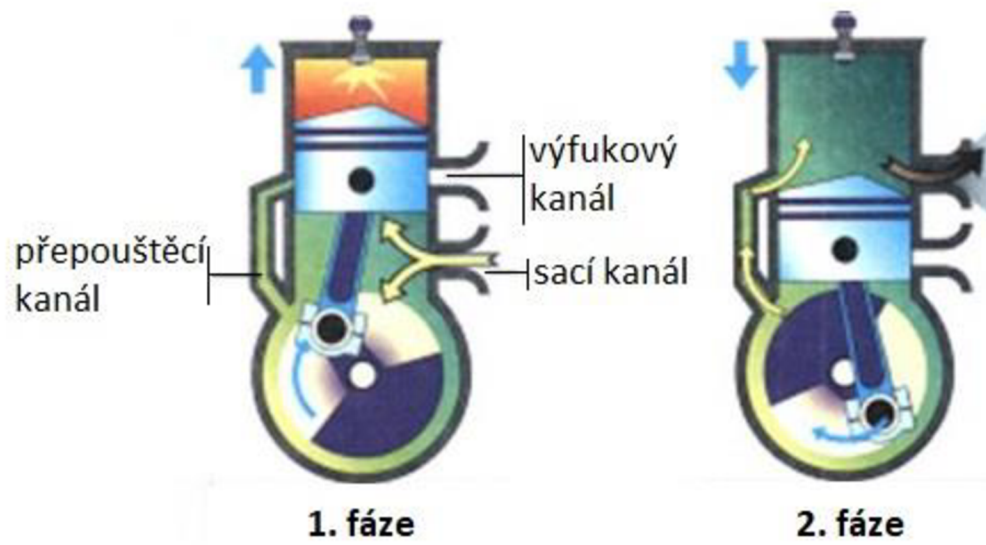
Probíhá ve stejném okamžiku se sáním při pohybu pístu do horní úvrati. Přepuštěná směs vzduchu a paliva je pístem stlačována díky kinetické energii setrvačníku klikového hřídele, získané z předchozí expanze. [9]

2.3 EXPANZE

Je zajištěna díky jiskře ze zapalovací svíčky, která zapálí stlačovanou směs vzduchu s palivem chvíli před dosažením pístu horní úvrati. Tzv. předstih může být stálý po celé spektrum otáček, nebo proměnlivý (při nízkých otáčkách menší, při vyšších otáčkách větší) a může se pohybovat cca od 10° do 30° dle konfigurace motoru. Úplné prohoření paliva nastává, jakmile píst přejede horní úvratě a na píst začne působit tlak od hoření směsi. V této fázi koná motor práci, jedná se o tzv. pracovní zdvih. Současně při začínajícím pohybu pístu do dolní úvrati se začíná stlačovat nasátá směs pod pístem v klikovém prostoru. [9]

2.4 VÝFUK

V závislosti na konstrukci motoru a použití výfukové přívěry, hrana pístu v určité vzdálenosti od dolní úvrati otevírá výfukový kanál. V případě použití výfukové přívěry se horní hrana kanálu posouvá při vyšších otáčkách směrem k horní úvrati, tudíž k otevření výfukového kanálu dochází dříve. V případě menších otáček se posouvá směrem k dolní úvrati a k otevření výfukového kanálu dochází později. Spaliny začínají proudit výfukovým kanálem ven z válce. Následně se hranou pístu otevírají přepouštěcí kanály, skrz které se dostává čerstvá, nasátá směs paliva nad píst. Orientace, tvar a sklon přepouštěcích kanálů má vliv na správné a efektivní vypláchnutí spalovacího prostoru. Pomáhá vytlačit zbytek spaliny ven z válce. Únik čerstvé směsi skrz výfukový kanál při vyplachování je zajištěn správným časováním kanálů a speciálně navrženým výfukovým potrubím s expanzní komorou, kde dochází k zpětné tlakové vlně, která zatlačuje čerstvou směs zpět do válce. [9]



Obr. 6: Činnost dvoudobého motoru [10]

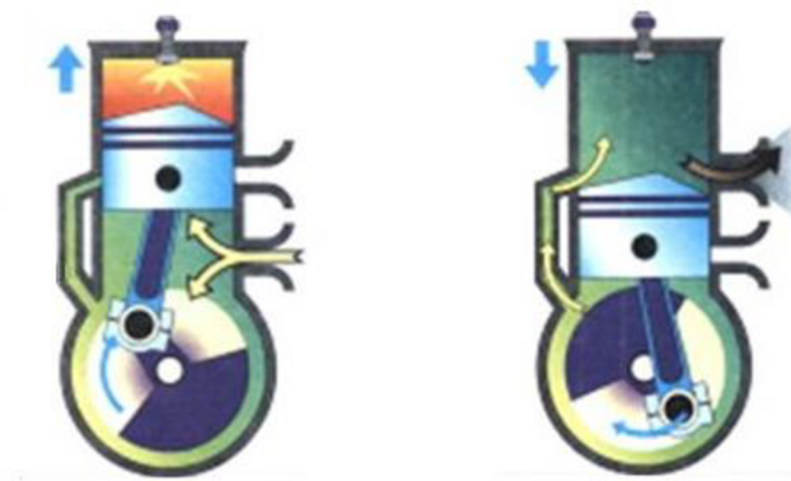
3 ROZVOD SÁNÍ

Aby byl motor efektivní, čili měl malou spotřebu a vysoký výkon, potřebujeme mít správně načasovaný rozvod sání. Ideální pro nás je začít nasávat hned jakmile se píst začne pohybovat z DÚ do HÚ a sání ukončit do 55° za HÚ. Pokud bude časování prováděno pouze pístem, dosáhneme symetrického časování, to znamená, že sání začíná i končí ve stejné poloze pístu, např. sání začne 55° před horní úvratí a končí 55° za horní úvratí. Při rozvodu pístem nejsme schopni toto okno zvětšit, aby byla zachována stejná efektivita. Pokud budeme chtít začít nasávat dřív, způsobí to i pozdější zavření sacího kanálu. Důsledkem toho se může čerstvá směs vracet zpět do karburátoru, budeme mít větší spotřebu a nebude správný chod motoru, protože pod pístem nevznikne dostatečný tlak na přepuštění směsi nad píst a správné vypláchnutí spalin. Aby se zvýšila efektivita a výkon motoru, vymysleli se další způsoby časování sání, které nezávisí na pístu a můžou být tím pádem nesymetrické. [9]

3.1 ROZVOD PÍSTEM

Je to nejstarší a nejjednodušší metoda časování rozvodu sání. Používá se dodnes například v různých křovinořezech a motorových pilách, kde nepotřebujeme obrovský výkon motoru, kvůli jednoduchosti a nákladnosti na výrobu. Časování je realizováno pomocí spodní hrany pláště pístu, který odkrývá sací kanál. Jedná se o symetrický rozvod a abychom dosáhli dostatečného tlaku na přepuštění směsi a efektivitu motoru, musíme uzavřít sací kanál cca 55° za HÚ. To znamená, že sání začne 55° před HÚ a bude trvat pouze 110°, což není úplně ideální, pokud chceme získat větší výkon motoru. Pokud bychom prodloužili délku sání, lehce by se zvedl výkon motoru ve vysokých otáčkách, ale dramaticky by vzrostla spotřeba. [11]

Jasnou výhodou tohoto rozvodu sání je jeho jednoduchost a spolehlivost. To je ovšem na úkor efektivnosti a výkonu kvůli symetričnosti rozvodu.



Obr. 7: Rozvod pístem [10]

3.2 ROZVOD ROTAČNÍM DISKOVÝM ŠOUPÁTKEM

Jedná se o nejstarší typ nesymetrického rozvodu sání. Funguje na principu sání čerstvé směsi přímo do klikového hřídele skrz kartery, kde časování je realizováno pomocí výřezu v rotačním disku, který je nasazen na klikovém hřídeli v klikové skříni u karteru. Otáčení je

zajištěno díky drážkovému spojení. Šoupátko je nasazeno s malou axiální vůlí, takže při pohybu pístu do DŮ, když vzniká pod pístem přetlak, se šoupátko přitlačí ke karteru a tímto se tento prostor utěsní.

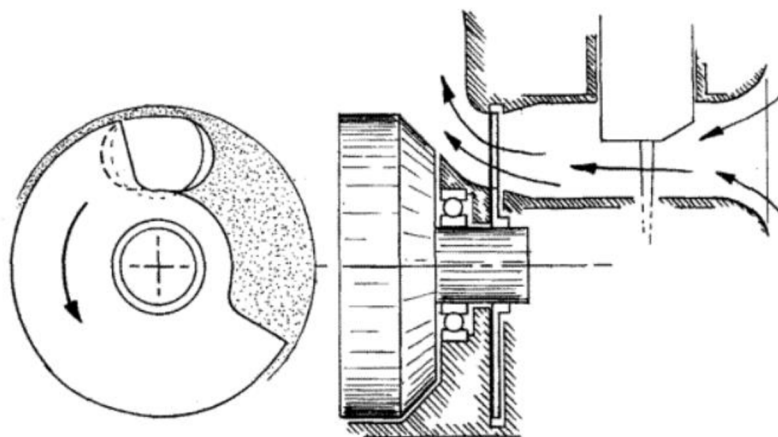
Šoupátka jsou vyrobena z ořezuvzdorných materiálů jako je například Pertinax, používaný v Jawa 90, ocelové plechy nebo v současnosti plasty či kompozitní materiály. Vzhledem k nesymetrickému tvaru je vhodné mít šoupátko co nejlehčí, aby nevytvářelo vibrace ve vysokých otáčkách a motor byl vyvážený.

Díky oleji v benzínu kvůli mazání samotného motoru se nemusí řešit mazání šoupátka, protože to už je vyřešeno právě přimíchaným olejem. Nicméně stále je potřeba volit materiál šoupátka vhodný vůči materiálu karteru, aby nedocházelo ke zbytečnému nadměrnému opotřebení.

Velikostí, počátkem a koncem výřezu v šoupátku, čili časováním sání, se dal ovlivnit průběh výkonu a kroutícího momentu, což je charakteristika motoru, podle toho k čemu byl zrovna motor určený. V minulosti se také dělaly, například na Jawa 90 dobové úpravy. Tam se právě výřez v šoupátku zvětšoval, aby se dosáhlo většího výkonu.

Výhodou tohoto rozvodu sání je to, že oproti pístovému rozvodu jde sání časovat podle potřeby, dále oproti membránovému rozvodu nestojí nasávané směsi v cestě žádná překážka a můžeme mít krátký a poměrně velký kanál pro rychlý přísun směsi.

Avšak nevýhodou je sání přímo do klikové skříně, protože karburátor je umístěn z boku a může překážet zapalování umístěného z boku motoru nebo v případě víceválcových motorů zabírá motor větší šířku. U motocyklu Jawa 90 toto bylo vyřešeno pomocí vyvedeného sacího kanálu vzhůru vedle válce a svislého karburátoru. U motocyklu Jawa 125/657, byl sací kanál vyveden za válec, takže karburátory nijak nepřekážely zapalování, motor nebyl tolik široký a karburátor byl v bezpečí oproti umístění z boku. [12]

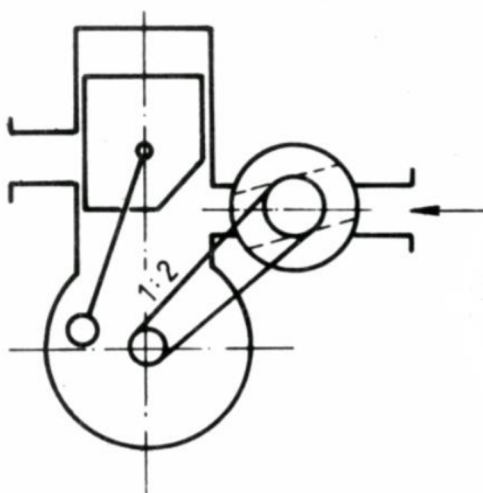


Obr. 8: Rozvod rotačním diskovým šoupátkem [7]

3.3 ROZVOD VÁLCOVÝM ŠOUPÁTKEM

Jde o systém nesymetrického rozvodu, který mohl být celkem jednoduše aplikován na motor s klasickým rozvodem pístem a dosáhnout tak delší doby sání a lepších výkonů. Válcové šoupátko bylo umístěno v sacím kanálu a jednalo se o válec s příčnou dírou ve tvaru sání. Byl poháněn pomocí ozubeného řemenu od klikové hřídele v poměru 1:2. [1]

Hlavním nedostatkem této konstrukce byla velmi krátká doba plného otevření sacího kanálu a motor s tímto systémem byl značně složitější kvůli pohonu šoupátka. Dosahovalo se sice lepších výkonů jak s rozvodem pístem, ale rotační diskové šoupátko bylo značně jednodušší a dosahovalo lepších vlastností.

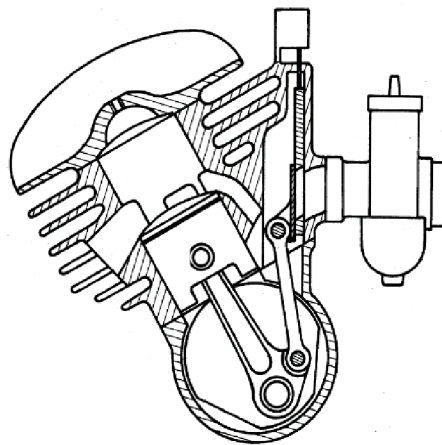


Obr. 9: Rozvod válcovým šoupátkem [1]

3.4 ROZVOD POSUVNÝM ŠOUPÁTKEM

Jedná se o systém použitý v motocyklu Jawa trial, kdy v sacím kanálu byla umístěna posuvná destička, která byla poháněna od klikové hřídele pomocí druhé ojnice a svým pohybem sací kanál buď otvírala nebo zavírala. Utěsnění a mazání bylo stejné jako u rotačního šoupátka pomocí tlaků a oleji v nasávané směsi. Díky tomuto rozvodu máme stejně umístěný karburátor jako v případě pístového rozvodu a mnohem kratší sací kanál než v případě rotačního šoupátka. [13]

Nedostatkem tohoto rozvodu je opět konstrukce kvůli složitosti. Ovšem výhodou byl lepší průběh výkonu v nižších otáčkách kvůli délce sacího kanálu.



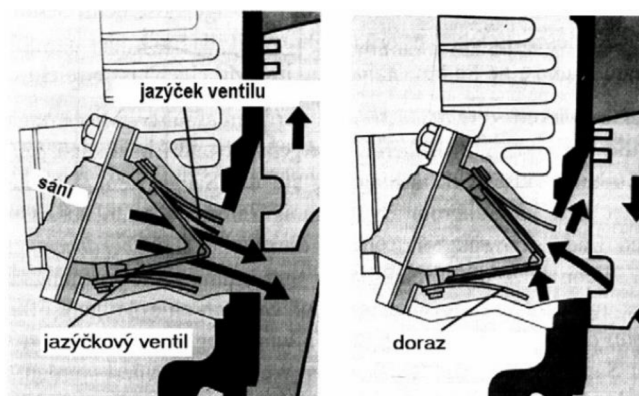
Obr. 10: Rozvod posuvným šoupátkem [14]

3.5 ROZVOD MEMBRÁNAMI (JAZÝČKOVÝM VENTILEM)

V dnešní době nejpoužívanější systém rozvodu sání. Jazyčkový ventil je umístěn do prostoru mezi karburátorem a klikovou skříní, což nám zajišťuje sání přímo do klikové skříně, malou délku sacího kanálu, čili lepší odezvu a bezpečnou zástavbu karburátoru, který se nachází za motorem. Konstrukce se skládá z rámečku ve tvaru střechy, většinou z hliníkové slitiny nebo plastu. Na něm jsou připevněny membrány z kevlaru, které doléhají na rámeček a k nim jsou ještě připevněny dorazy, aby nemohlo dojít ke zlomení membrán. Těsnění je zajištěno díky pogumovanému povrchu rámečku, na který membrány doléhají a vytvořeném následném přetlaku v klikové skříní při pohybu pístu do DÚ. [9]

Tento systém umožňuje začít sání hned, když vznikne v klikové skříní podtlak a končí, jakmile se vytvoří v klikové skříní přetlak, což nastává, když píst jde do DÚ. V závislosti na velikosti podtlaku, který se s otáčkami mění, se „upravuje“ otevření sání. Díky tomu má motor větší kroutící moment v nízkých a středních otáčkách. [11]

Nevýhodou tohoto systému je rámeček, který tvoří překážku sání a při otáčkách nad $10\,000\text{ min}^{-1}$ vytváří turbulentní proudění. Naopak výhodou je ukončení sání ihned po vzniku přetlaku pod pístem.



Obr. 11: Rozvod membránami [1]

4 VYPLACHOVÁNÍ

Správné vyplachování je zásadní pro ideální chod, výkon, účinnost a spotřebu paliva. Vyplachováním se rozumí vytlačení spalin ven z válce skrz výfukový kanál pomocí čerstvé směsi proudící přepouštěcími kanály, aby v prostoru nad pístem zůstala ideálně jen čerstvá směs.

Vyplachování probíhá následovně - po expanzi se začne pohybovat píst do DÚ a začne stlačovat nasátou směs pod pístem a vytváří přetlak v prostoru klikové skříně. Píst nejdříve otevírá výfukový kanál, většina spalin odchází a později se otvírají přepouštěcí kanály, které následně díky vzniklému přetlaku v klikové skříně vytlačí zbytek spalin.

Pro dosažení dobrého vypláchnutí musíme dosáhnout určitého přetlaku pod pístem, proto má prostor klikové skříně velmi malý objem, aby došlo k dostatečnému stlačení a tím k vyvinutí přetlaku. To je zajištěno díky válcovému tvaru setrvačníků klikových hřídelů, které kopírují tvar klikové skříně. V některých případech se do karterů vkládaly tzv. podkovy mezi setrvačníky, které nám záměrně zmenšovali objem klikové skříně.

Pro lepší účinnost je speciálně navržena výfuková soustava s expanzní komorou, která díky zúžení na konci vytvoří zpětnou tlakovou vlnu a vrátí přefouknutou čerstvou směs z výfuku, zpět do prostoru nad píst, když se píst pohybuje směrem do HÚ. Tento systém funguje pouze pro malý rozsah otáček, pro který jsme výfukovou soustavu navrhli a zkonstruovali. Když se budeme pohybovat v jiných otáčkách, bude to mít za následek nedostatečné síly zpětné tlakové vlny a přefouknutí čerstvé směsi až do výfuku, nebo naopak velké síly zpětné tlakové vlny a zatlačení spalin zpět do válce. V obou případech to bude mít negativní vliv na výkon motoru a spotřebu paliva.

Pokud bychom měli jednoduchou výfukovou soustavu jen s trubkou, docházelo by k nedokonalému vyplachování a čerstvá směs by byla přefukována do výfuku, docházelo by k nedokonalému využití paliva a zvýšení spotřeby. [12]

4.1 PŘÍČNÉ VYPLACHOVÁNÍ

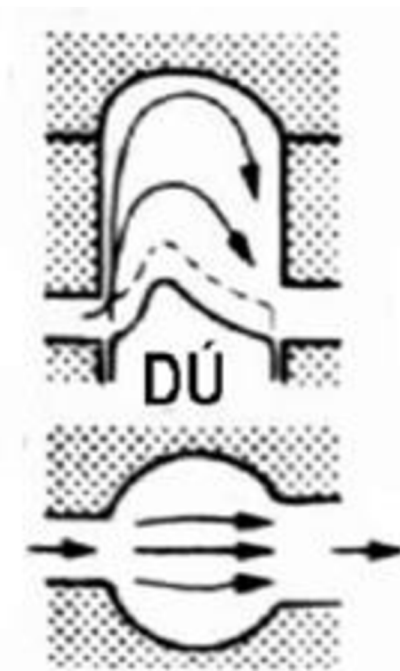
Tento způsob byl použitý na prvních dvoudobých motorech. Jak jeho název napovídá, přepouštěcí kanál byl umístěn přímo naproti výfukovému kanálu a směs se tedy pohybovala napříč válcem. Aby čerstvá směs neproudila rovnou do výfuku, používal se zde píst s tzv. deflektorem, který usměřňuje čerstvou směs po stěně válce směrem vzhůru k hlavě motoru, kde se směs stáčí a tlačí spaliny ven z válce. Deflektor musí být vyšší, než je výška výfukového kanálu z důvodu, aby nedocházelo k samovolnému přefouknutí čerstvé směsi do výfuku.

Píst díky deflektoru byl těžký, neměl těžiště v ose, ale posunutý k jedné straně, což mělo za následek zvýšení setrvačnosti pístu a větší a rychlejší opotřebení jedné strany pístu a válce. Také díky většímu množství materiálu v oblasti deflektoru měla polovina pístu jinou roztažnost, takže musela být zvolena větší vůle mezi pístem a válcem, což mělo za následek klepání, když byl motor studený.

Abychom dosáhli dostatečného kompresního poměru, musí být podle deflektoru tvarován spalovací prostor v hlavě motoru. Zde dochází k vytvoření horkých míst na hranách a

mohlo by zde docházet k samovznícení směsi, proto jsme limitováni velikostí kompresního poměru a tvaru spalovacího prostoru. [1]

Při použití pouze příčného vyplachování je zde spousta nevýhod. Mimo jiné špatné těžiště a teplotní roztažnost pístu, možnost samovznícení při větších kompresních poměrech atd. Pokud však použijeme příčné vyplachování v kombinaci s vratným, tak příčné dopomáhá k lepšímu usměrnění proudu směsi a tím dochází k lepšímu vypláchnutí.



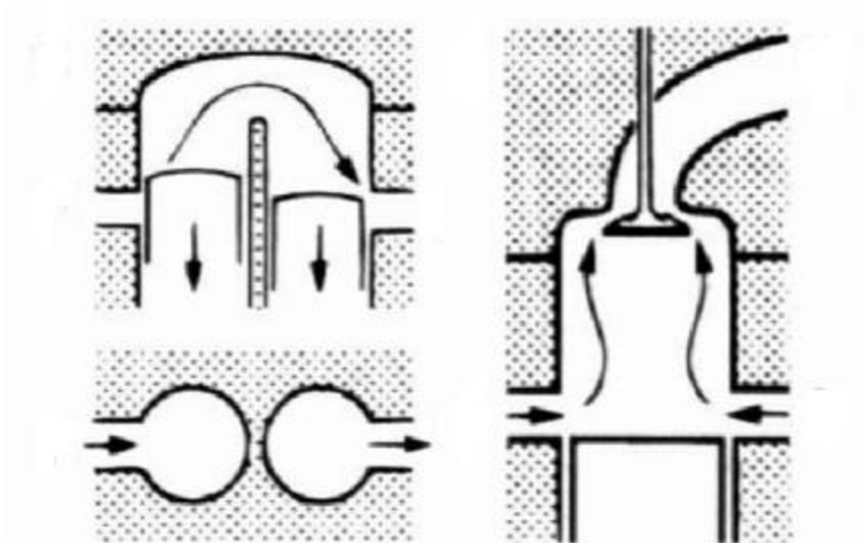
Obr. 12: Příčné vyplachování [1]

4.2 SOUPROUDÉ VYPLACHOVÁNÍ

Toto vyplachování se používalo u dvoupístových motorů, které měly buď rozvidlenou ojnici, nebo centrální ojnici s připojenou druhou ojnici na pomocném čepu. Díky této konstrukci jsme dosáhli nesymetrického rozvodu a mohli použít souprouté vyplachování, takže směr proudění stlačené směsi z přepouštěcích kanálů je stejný jako vytlačování spalín z výfukového kanálu.

Vzhledem k nesymetrickému rozvodu můžeme použít rovné písty bez deflektoru, tím snížíme hmotnost pístu a dostaneme těžiště do osy, takže nebudeme mít nesymetrickou tepelnou roztažnost, můžeme volit menší vůli mezi pístem a válcem, píst a válec se nám bude opotřebovávat na všech stranách stejně a sníží se setrvačnost pístu.

Díky použití dvou pístů, složité konstrukci ojníc a oválného tvaru spalovacího prostoru se tento systém nepoužíval ve velkém. [1]



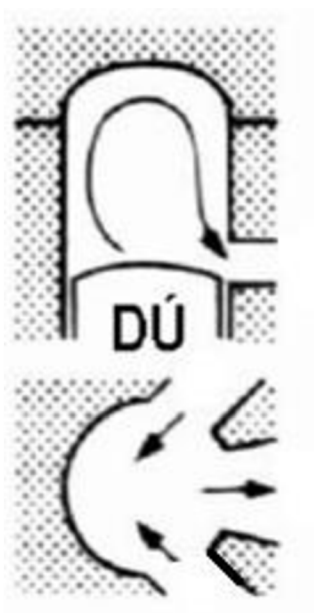
Obr. 13: Souproudé vyplachování [1]

4.3 VRATNÉ VYPLACHOVÁNÍ

Doposud nejdokonalejší vyplachování. Princip spočívá v přepuštění čerstvé směsi z dvou nebo více symetricky umístěných přepouštěcích kanálů na straně výfukového kanálu, přesně směřující proud směsi na zadní stranu válce, kde se směs následně obrací zpět k výfukovému kanálu.

Přepouštěcí kanály musí být přesně vyrobené, aby následně proudila ucelená vlna čerstvé směsi a nedocházelo k víření, protože to způsobuje únik čerstvé směsi do výfuku.

Ve většině případů byl válec opatřený dvěma přepouštěcími kanály. U výkonnějších motorů se používalo více kanálů symetrických, případně navíc ještě jeden kanál přímo naproti výfukovému kanálu pro lepší usměrnění směsi a zdokonalení vyplachování. [1]



Obr. 14: Vratné vyplachování [1]

5 VÝFUKOVÁ SOUSTAVA

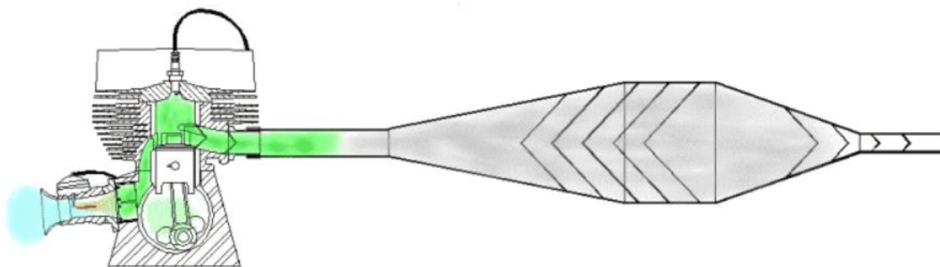
Dříve se používala jen rovná trubka s tlumičem k omezení hluku a vypouštění plynů. Kvůli tomuto však část čerstvé směsi byla přefukována do výfuku a motor měl větší spotřebu a menší účinnost.

Později se přišlo na možnost využití zpětné tlakové vlny při použití laděného výfukového potrubí a díky tomu zlepšit účinnost, snížit spotřebu a zvýšit výkon motoru. Dále také pomocí tvaru a velikosti jsme schopni měnit výkonovou charakteristiku motoru.

Konstrukce takového výfuku se skládá z trubky, která vede od válce do expanzní komory se strmým koncovým kuzelem a následně pokračuje další rovná trubka, na které je přichycený tlumič. Veškeré rozměry jsou speciálně navrženy pro požadovanou výkonovou charakteristiku. Takto navrhnuté výfukové potrubí pracuje ideálně jen v určitém rozmezí otáček. Pro silniční motocykly, kde požadujeme výkon ve vysokých otáčkách je ideální volit výfukovou soustavu s menším objemem expanzní komory a menším průměrem trubek. Naopak pro terénní motocykly je lepší volit výfukovou soustavu s větším objemem expanzní komory a větší průměr trubek, protože nám zajistí vyšší kroutící moment v nižších otáčkách.

Výfukovou soustavu můžeme předběžně navrhnout pomocí univerzálních vzorečků, ale k dosažení nejlepších výkonových charakteristik provádíme experimentálně pokusy a doladíme jednotlivé rozměry.

Princip spočívá v navržení výfukového potrubí tak, aby motor byl „přepřínovaný“. Toho docílíme, když zpětná tlaková vlna zatlačí uniklou čerstvou směs z výfuku zpět do válce těsně před uzavřením výfukového kanálu. Tím tedy dostaneme do spalovacího prostoru více paliva než při použití rovné trubky jako výfuku a dosáhneme lepších výkonových charakteristik. [12] [11]



Obr. 15: Výfuková soustava [8]

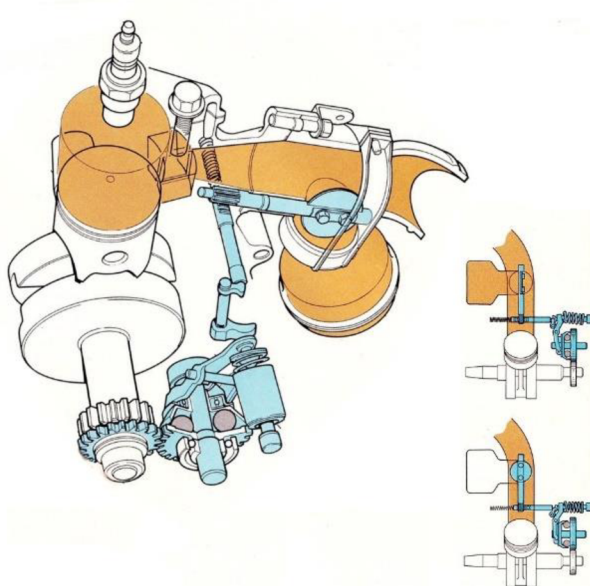
5.1 VÝFUKOVÁ PŘÍVĚRA

Díky výfukové soustavě s expanzní komorou měly dvoudobé motocykly mnohem větší výkony, ale pouze v omezeném rozsahu otáček. Bylo tedy potřeba nějakým způsobem zvětšit použitelný rozsah otáček, aby bylo možné motory používat i k běžnému provozu, kde nebylo možné mít motor stále v ideálních otáčkách. Tento problém vyřešila výfuková přívěra, díky které je výkonová křivka plošší, pomocí například umístěnému jazýčku ve válci, který posouval horní hranu výfukového kanálu a tím se měnilo časování, nebo změnou objemu výfukové soustavy. [15]

5.2 REZONANČNÍ KOMORY

K výfukové soustavě se připojují rezonanční komory, které v závislosti na otáčkách zvětšují nebo zmenšují objem výfukové soustavy. Jak již bylo zmíněno, pro nižší otáčky používáme výfukovou soustavu s větším objemem a pro vysoké otáčky s nižším objemem. Proto máme navrženou výfukovou soustavu pro vysoké otáčky, k ní připojíme rezonanční komoru a zavíráním nebo otvíráním kanálu měníme objem soustavy. Pokud bychom měli kanál rezonanční komory zavřený v nízkých otáčkách, docházelo by k předčasnému vrácení zpětné tlakové vlny a do válce by se zpět zatlačily i spaliny, proto kanál otevřeme, zvětší se objem výfukové soustavy, zpětná tlaková vlna se dostane k válci později a zatlačí do válce jen čerstvou směs. S rostoucími otáčkami se bude kanál přivírat a ve vysokých otáčkách, pro které je navržena výfuková soustava, je kanál plně uzavřen.

Základní nevýhodou rezonanční komůrky je její umístění blízko válce a zajištění jejího otevírání a uzavírání tak, aby byla zaručena její těsnost. Následnou výhodou je možnost použití motoru v širším spektru otáček.



Obr. 16: Rezonanční komora systém ATAC [16]

5.2.1 KIPS (KAWASAKI INTEGRATED POWER VALVE SYSTEM)

Kombinace více systémů. Z válce vychází hlavní výfukový kanál a dva přídatné kanály, které jsou odstředivě ovládnuty pomocí válcovitého šoupátka s výřezy a následně je zde ještě připojena rezonanční komora k jednomu kanálu. Při nízkých otáčkách jsou přídatné kanály uzavřeny a rezonanční komora je otevřena, aby se zvětšil objem výfukového systému a dosáhli jsme lepší průběh kroutícího momentu. Naopak ve vysokých otáčkách se rezonanční komora zavírá a otvírají se přídatné kanály, které pomáhají k lepšímu vyplachování ve vysokých otáčkách a tím k dosahování větších výkonů. [15]

5.2.2 ATAC (AUTO CONTROL TORQUE AMPLIFICATION CHAMBER)

Systém s rezonanční komorou umístěnou vedle výfukového kanálu. Komora je ovládána odstředivě za pomoci ventilu.

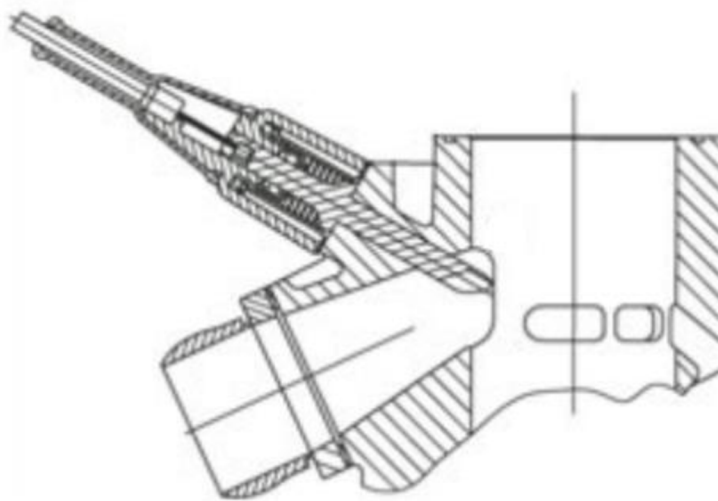
5.2.3 SAEC (SUZUKI AUTOMATIC EXHAUST CHAMBER)

Rezonanční komora je umístěna v hlavě válce. Ovládání komory zajišťuje servomotor, který pootáčí válcové šoupátko s výřezem a tím buď komoru připojuje nebo odpojuje. Servomotor dostává impuls z řídicí jednotky podle definovaných otáček, aby chom dostali plynulý průběh výkonu.

5.3 REGULACE HORNÍ HRANY VÝFUKOVÉHO KANÁLU

Pro lepší účinnost je používanější varianta výfukové přívěry změna horní hrany výfukového kanálu, což má zásadní vliv na vyplachování a omezuje únik čerstvé směsi do výfuku.

K nevýhodám zde patří nutnost řešení čištění přívěry, aby nedocházelo k zadírání a při neodborném a špatném nastavení může dojít k destrukci pístu. Jednoznačnou výhodou je větší účinnost tohoto systému, větší rozsah použití otáček a jednodušší zástavba a ovládání.



Obr. 17: Regulace horní hrany systém RAVE [17]

5.3.1 YPVS (YAMAHA POWER VALVE SYSTEM)

Jednalo se o první použití tohoto systému. Přívěra byla válcového tvaru s výřezem umístěna u horní hrany výfukového kanálu a svým natáčením snižovala horní hranu výfukového kanálu skoro na polovinu původní výšky. To mělo pozitivní vliv na průběh výkonu v nízkých a středních otáčkách a zvýšení kroutícího momentu v nízkých otáčkách, protože tolik

neunikala čerstvá směs do výfuku při výplachu. Ve vysokých otáčkách je přívěra plně otevřena, aby bylo dosaženo správného časování pro plný výkon.

Přívěra byla ovládána zpočátku odstředivým mechanismem a později elektronicky pomocí servomotoru a řídicí jednotky.

Vzhledem ke kontaktu přívěry s horkými spaliny je potřeba zajistit samočisticí schopnosti, protože se spaluje benzín s olejem a vytváří se karbon, jinak by mohlo dojít k zadírání přívěry a následně vzniku vůlí. Dále je nutné mít přívěru vyrobenou z kvalitního materiálu odolného proti opalování, otěru a s dobrou teplotní roztažností. [1]

5.3.2 RAVE (ROTAX ADVANCED VARIABLE EXHAUST)

Původně nožová posuvná přívěra ovládaná přetlakem ve výfukové soustavě, kde z výfuku vedl kanálek do komory s membránou, na které byl upevněn nůž přívěry. S otáčkami rostl přetlak a tím se nůž vytahoval a rostla výška výfukového kanálu. Vracení nože bylo zajištěno pomocí pružiny.

Později bylo ovládání nahrazeno solenoidem pomocí ocelového lanka. Otevření přívěry zajišťoval solenoid ovládaný řídicí jednotkou, a vracení probíhalo pomocí pružiny. Jmenovaný systém měl velký úspěch u motocyklu Aprilia RS 125. Tento systém v závislosti na řídicí jednotce měl výhodu v tom, že na volnoběžné otáčky mohla být přívěra buď otevřená nebo pulzovala kvůli samočištění. Při jízdě už fungovala klasicky, nízké otáčky zavřená, vysoké otáčky otevřená. [18]

5.3.3 AETC (AUTOMATIC EXHAUST TIMING CONTROL)

Systém AETC používá posuvné válcové přívěry složené z většího počtu nožů. Přívěra je ovládána servomotorem od řídicí jednotky a stejně jako v případě systému RAVE zajíždí do válce a mění výšku výfukového kanálu. Na jeden válec jsou použity dvě takovéto přívěry kvůli použití oválného tvaru výfukového kanálu s přepážkou uprostřed, aby přívěry optimálně kopírovaly tvar výfukového kanálu. [19]

5.3.4 RC-VALVE (REMOTE CONTROL VALVE)

Použití dvojice nožových přívěr ovládaných servomotorem od řídicí jednotky v závislosti na otáčkách. Obdobný systém jako u systému AETC. Velký úspěch u motocyklů Honda NSR.

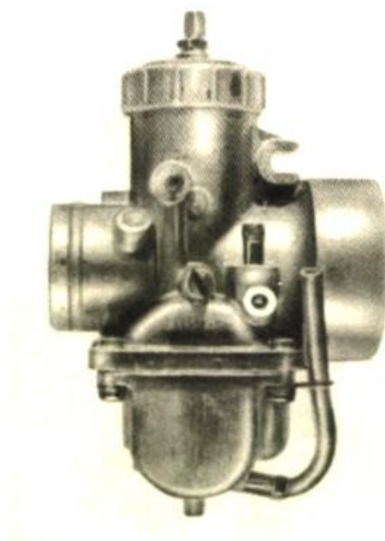
6 PLNĚNÍ MOTORU

6.1 KARBURÁTOR

Jedná se o nejjednodušší způsob, jak smísit vzduch s palivem.

Rozdělujeme je na více druhů podle směru proudění na horizontální, spádové, polospádové a vertikální, dále podle způsobu regulace na karburátory se škrťací klapkou nebo šoupátkové a následně samostatně ještě na karburátory bez plovákové a podtlakové. [20]

Pro všechny karburátory platí to samé. Karburátor je umístěn vždy před sacím kanálem. Skrz tělo karburátoru se podtlakem nasává vzduch a ten vtahuje palivo do proudu vzduchu, kde se spolu mísí. Směs pokračuje do sacího kanálu a pokračuje tak jak již bylo řečeno. [21]



Obr. 18: Karburátor Mikuni s centrální plovákovou komorou [21]

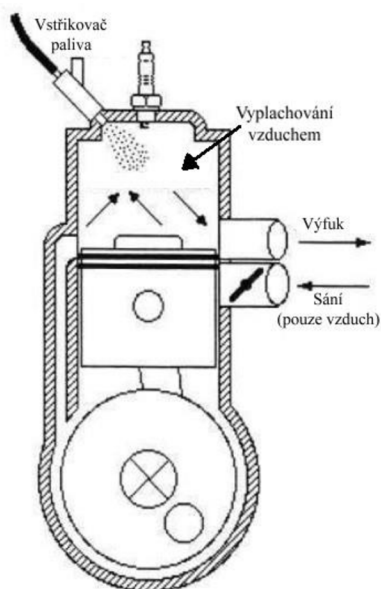
6.2 VSTŘIKOVÁNÍ

Díky vstříkování můžeme přesněji dávkovat množství paliva při určitých otáčkách. Následně se motor stává efektivnější a jsme schopni dosahovat vyšších výkonů při menší spotřebě. Hlavní výhodou byla u leteckých motorů, kde v různých výškách máme různý tlak vzduchu a tím potřebujeme i jiné množství paliva. Což pro vstříkování nebyl problém nastavit.

6.2.1 VSTŘIKOVÁNÍ DO SPALOVACÍHO PROSTORU

Pro výkonové vlastnosti a efektivitu motoru by měl být tento systém ideální. Díky nasávání čistého vzduchu nedochází při vyplachování k úniku paliva do výfuku. Vstříknutí paliva do válce začíná po uzavření výfukového kanálu pístem.

Vzhledem ke krátké době mezi vstříknutím paliva a zapálením směsi, nedochází k ideálnímu promísení paliva s nasátým vzduchem. Jedním z hlavních problémů však je konstrukce trysky, která musí vstříknout palivo do přetlaku vytvořeným stlačováním vzduchu a následně musí vydržet tlak a teplotu vzniklou při expanzi. [21]



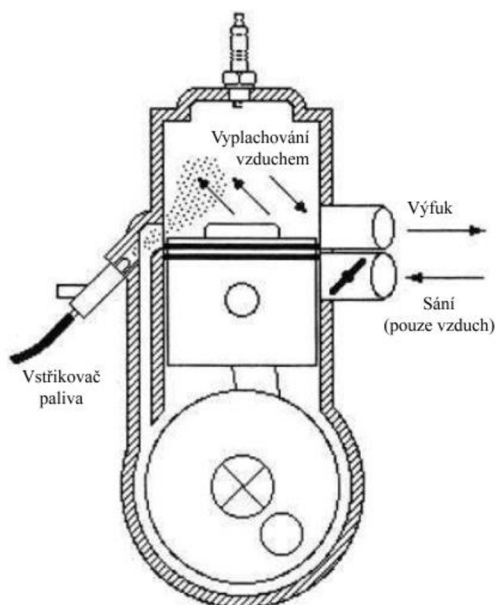
Obr. 19: Vstřikování do spalovacího prostoru [22]

6.2.2 VSTŘIKOVÁNÍ DO SACÍHO POTRUBÍ

Efektivita motoru je o něco lepší než u použití karburátoru. Oproti vstřikování do spalovacího prostoru je jednodušší konstrukce trysky, protože nemusí odolávat takovým tlakům a teplotám, palivo můžeme vstřikovat delší dobu a dochází k ideálnímu promísení směsi. [20]

6.2.3 VSTŘIKOVÁNÍ DO PŘEPOUŠTĚCÍHO KANÁLU

Kombinuje výhody předchozích variant. Vypláchnutí spalin zajišťuje nasávaný vzduch, takže nedochází k úniku paliva do výfuku, tryska nevstřikuje palivo proti přetlaku vytvořenému od stlačování a nepřichází do kontaktu s extrémními teplotami a tlaky při expanzi. [21] [22]



Obr. 20: Vstřikování do přepouštěcího kanálu [22]

7 BUDOUCÍ VÝVOJ

Na základě provedené rešerše vývoje systémů výměny náplně válce u dvoudobých motorů zřejmě z hlediska sání do budoucna odstoupí i rozvod pístem kvůli vysokým emisím. Patrně se bude používat nesymetrický rozvod v podobě rotačního diskového šoupátka nebo v podobě membrán, kvůli lepší efektivitě motoru. Použití způsobu vyplachování je a bude jednoznačně účinnější při kombinaci vratného s příčným, aby docházelo k lepšímu usměrnění směsi. Pokud má motor pracovat s co nejnižšími emisemi, bude muset být použita speciální výfuková soustava u všech dvoudobých motorů.

V posledních letech se začíná čím dál více používat vstřikování místo karburátoru, což je určitě lepší vzhledem k emisím, protože jde lépe a přesněji regulovat bohatost směsi. Dále je při tomto způsobu odděleno mazání pístu s válcem čili už neprobíhá skrz olej v benzínu, tím pádem nedochází k tak významnému spalování oleje a získáváme nižší emise. Dle mého názoru budeme v budoucnu již vídat motory pouze se vstřikováním.

V neposlední řadě si všímám nástupu dvoudobých motorů s přeplňováním ať kompresorem nebo turbodmychadlem. V dnešní době se dvoudobé motory s přeplňováním začínají objevovat v oblasti sněžných skútrů, kde mají poměrně velký úspěch.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo shromáždění informací o vývoji dvoudobého motoru z hlediska jeho konstrukce ohledně výměny náplně ve válci. Hlavní konstrukční změny se odehrávaly v rozvodu sání, kde se od symetrického rozvodu sání přešlo k nesymetrickému, díky kterému se dosahovalo větších výkonů. V současnosti se v menší míře používá rozvod pístem v zahradní technice, díky jeho jednoduchosti. V ostatních výkonnějších strojích je ve většině případů použit rozvod membránami, které zaručují lepší plnění válce.

Další významnou změnou byl způsob vyplachování, kde se používá kombinace vratného vyplachování s příčným, kvůli lepšímu usměrnění směsi a pro dosažení rychlejšího a efektivnějšího vypláchnutí. Takovéto vypláchnutí zajišťuje 5 přepouštěcích kanálů. Největším přínosem však bylo zkonstruování výfukového potrubí s expanzní komorou a využití zpětné tlakové vlny, která nám zatlačí přefouknutou čerstvou směs zpět z výfuku do válce. Tato skutečnost sice hodně zvýšila výkony motorů a jejich efektivitu, ale pouze v určitých otáčkách. Z tohoto důvodu přišlo řešení výfukových přívěr, aby se rozšířilo spektrum použitelných otáček. Jednalo se o dva základní principy, jak toho docílit. Prvním z nich byla změna objemu výfukové soustavy a druhým změna polohy hrany výfukového kanálu. Aktuálně nejpoužívanější formou výfukové přívěry je regulace horní hrany výfukového kanálu, u které mají výrobci různá konstrukční řešení v závislosti na stylu ovládní, buď elektronicky nebo mechanicky.

Vzhledem k stále přísnějším emisním normám přichází na řadu vstřikování, díky kterému jsme schopni vyplachovat spaliny pouze vzduchem a nedochází k tak razantnímu úniku nespáleného benzínu do výfuku. Dále již není olej přimíchán v benzínu, ale je nezávisle přiváděn do namáhaných míst, což má za následek snížení emisí, protože není spalován olej.

I proto se ve svém nastínění budoucího vývoje systému výměny náplně válce u dvoudobých motorů přikláním k názoru, že zřejmě bude využíván nesymetrický rozvod sání, speciální výfuková soustava, plnění motoru vstřikováním paliva a případně přeplňování motoru.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] RAUSCHER, J. *Spalovací motory*. VUT Brno: Studijní opory.
- [2] Joseph Day (inventor). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Day_\(inventor\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Day_(inventor))
- [3] 1905 Joseph Day Patent Notice. In: *Oldmarineengine* [online]. [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <http://www.oldmarineengine.com/discus/messages/1/93671.html>
- [4] CAMERON, Kevin. Exploring Two-Stroke Motorcycle Engine Design. In: *Cycle world* [online]. [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://www.cycleworld.com/exploring-two-stroke-motorcycle-engine-design/>
- [5] BOOST PORTS. In: *Modelengineneeds* [online]. [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: http://www.modelengineneeds.org/design/boost_ports.html
- [6] Walter Kaaden. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Walter_Kaaden
- [7] THE ROTARY VALVE. In: *Doclecture.net* [online]. [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://doclecture.net/1-32452.html>
- [8] Why do two-stroke engine exhaust pipes look so strange?. In: *Motor Vehicle Maintenance & Repair* [online]. [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://mechanics.stackexchange.com/questions/24755/why-do-two-stroke-engine-exhaust-pipes-look-so-strange>
- [9] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. Praha: Sobotáles, 2001. ISBN isbn80-85920-76-x.
- [10] Dvoutaktní, 2-taktní motor. In: *Zahradní technika - Dvořák* [online]. [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://www.sekacky-pily.cz/dvoutaktni-nebo-ctyrtaktni-motor-jaky-je-jejich-rozdil-jake-maji-vyhody/n66/>
- [11] BELL, A. a A. BELL. *Two-stroke performance tuning*. 2nd ed. Newbury Park, Calif., USA: Haynes North America, 1999. ISBN 1859606199.
- [12] BLAIR, Gordon P. *Design and simulation of two-stroke engines*. Ed. 1st. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1996. ISBN 1-56091-685-0.
- [13] MOLCAR, Martin. *Soutěžní Jawy let 80*. 4. část. Bussines Media CZ: Supermoto, 2010. ISBN 978-80-86411-6.

- [14] Dvoudobý motor se sacím kanálem ovládaným šoupátkem. In: *Databáza patentov Slovenska* [online]. [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://skpatents.com/4-215731-dvoudoby-motor-se-sacim-kanalem-ovladanym-soupatkem.html>
- [15] NEPOMUCK, Bernd a Udo JANNECK. *Technická rukověť motocyklisty*. 5., rozš. vyd. Přeložil Jiří VOKÁLEK, přeložil Tomáš KOHOUT. České Budějovice: Kopp, 2009. ISBN 978-80-7232-354-8.
- [16] 1986 Honda ATAC system. In: *Flickr* [online]. [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/tblazier/48553483702>
- [17] *Aprilia RS 125 service manual*. Lugo - Italy: DECA s.r.l, 2002.
- [18] Rave Valve Explained. In: *Dootalk* [online]. [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://www.dootalk.com/forums/topic/257909-rave-valve-explained-synchronization-made-easy/>
- [19] Two-stroke engine. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Two-stroke_engine#Reed_inlet_valve
- [20] HUSÁK, Pavel. *Motocykly s dvoudobým motorem: konstrukce, výpočty a stavba motocyklů*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-2280-8.
- [21] HUSÁK, Pavel. *Motocykly s dvoudobým motorem*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1978.
- [22] BLAIR, Gordon P. *The basic design of two-stroke engines*. Ed. 1st. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1990. ISBN 1-56091-008-9.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ATAC	Auto control torque amplification chamber
AETC	Automatic exhaust timing control
<i>DÚ</i>	Dolní úvrat'
<i>HÚ</i>	Horní úvrat'
KIPS	Kawasaki integrated power valve system
RC-Valve	Remote control valve
RAVE	Rotax advanced variable exhaust
SAEC	Suzuki automatic exhaust chamber
YPVS	Yamaha power valve system