



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

DVOUDOBÉ MOTORY ZÁVODNÍCH MOTOCYKLŮ KATEGORIE GP

TWO-STROKE ENGINES OF ROAD RACING GP MOTORCYCLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VÍT OPLUŠTIL

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LUBOMÍR DRÁPAL

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Vít Opluštil

který/která studuje v bakalářském studijním programu

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

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

Dvoudobé motory závodních motocyklů kategorie GP

v anglickém jazyce:

Two-stroke engines of road racing GP motorcycles

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Sestavení přehledu technických specifikací a použitých konstrukčních řešení u dvoudobých motorů silničních závodních motocyklů kategorie Grand Prix.

Cíle bakalářské práce:

Vypracujte přehled význačných a technicky zajímavých konstrukčních řešení dvoudobých motorů silničních závodních motocyklů kategorie Grand Prix. Přehledně uveďte jejich hlavní parametry. Zhodnoťte jejich vývoj a výhledy do budoucna.

Seznam odborné literatury:

- [1] 1998 Motorsports Engineering Conference Proceedings Volume 2: Engines and Drivetrains. SAE International, 1998. ISBN: 0-7680-0319-9.
- [2] VLK, F. Vozidlové spalovací motory. Nakladatelství Vlk, Brno, První vydání, 2003. ISBN: 80-238-8756-4.
- [3] MTZ: MOTORTECHNISCHE ZEITSCHRIFT. Springer Automotive Media.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lubomír Drápal

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 2.11.2009

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Anotace:

Cílem práce je přehled a popis konstrukčních řešení dvoudobých závodních motocyklů od prvního nasazení v závodě až po současnost, včetně nástinu dalšího přepokládaného vývoje v budoucnosti.

Práce se též zabývá vývojem jednotlivých funkčních částí dvoudobého motoru v průběhu let a jejich vliv na modernizaci dvoudobého motocyklu pro běžné použití.

Klíčová slova:

Dvoudobý motor, silniční závodní motocykl, výkon, rozvod motoru

Annotation:

The aim of this thesis is description of two-stroke road racing motorcycles dated from first race in GP championship to present, including an explanation of next probable development in future.

Thesis deals with development of particular main parts of two-stroke combustion engine over time too and its influence for modernizing two-stroke motorcycle for daily use.

Keywords:

Two-stroke engine, road racing motorcycle, power, engine timing

Bibliografická citace:

OPLUŠTIL, V. *Dvoudobé motory závodních motocyklů kategorie GP*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 74 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lubomír Drápal.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Ing. Lubomíra Drápala, a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 25. května 2010

Vít Opluštil

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Lubomíru Drápalovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc, panu Ing. Martinu Molcarovi, zástupci firmy Ricardo Prague s.r.o., za svoje poskytnuté poznatky a materiály pro zpracování bakalářské práce, a přátelům a kolegům z FSI VUT Brno, které jsem měl čest poznat.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Vývoj motocyklů s dvoudobým motorem	2
2.1	Vznik dvoudobého motoru	2
2.2	Vznik dvoudobého cyklu v jeho klasické podobě	4
2.3	Vznik moderního dvoudobého motoru	7
2.4	Objev nesymetrického rozvodu a expanzní komory ve výfukovém potrubí	8
2.5	Použití odděleného mazání motoru a ovládání výfukového kanálu	10
2.6	Přímé vstřikování	11
3	Konstrukce sportovního dvoudobého motoru.....	12
3.1	Definice a základní popis.....	12
3.2	Srovnání dvoudobého a čtyřdobého motoru	14
3.3	Druhy řízení rozvodu sání.....	15
3.3.1	Rozvod pístem	16
3.3.2	Rozvod rotačním diskovým šoupátkem.....	16
3.3.3	Rozvod sání posuvným šoupátkem.....	21
3.3.4	Rozvod sání válcovým šoupátkem.....	22
3.3.5	Rozvod sání membránami (jazýčkovým ventilem)	23
3.4	Způsoby vyplachování válce.....	25
3.4.1	Příčné vyplachování.....	26
3.4.2	Souproudé vyplachování.....	27
3.4.3	Vratné vyplachování	28
3.5	Výfuková soustava.....	29
3.5.1	Laděné výfukové potrubí s expanzní komorou.....	30
3.6	Výfukové přívěry	31
3.6.1	Regulace objemu výfuku připojováním rezonanční komory.....	31
3.6.2	Změna časování rozvodu regulací horní hrany výfukového kanálu	34
4	Struktura a historie šampionátu mistrovství světa silničních motocyklů.....	39
4.1	Charakteristika závodů mistrovství světa silničních motocyklů.....	39
4.2	Historie Velké ceny (Grand Prix) silničních motocyklů.....	40
5	Závodní motocykly jednotlivých objemových tříd.....	42
5.1	Třídy do 50 a do 80 cm ³	42
5.1.1	Suzuki 50 RP68 (1968).....	42
5.1.2	Tomos 50 (1971).....	44
5.2	Třída do 125 cm ³	45
5.2.1	Suzuki 125 RS67/68 (1967).....	46
5.2.2	Aprilia RSA 125 (2007).....	47
5.3	Třída do 250 cm ³	48
5.3.1	Kawasaki KR 250 (1979).....	49
5.4	Třída do 350 cm ³	50
5.4.1	Jawa 350 V4 typ 673 (1968).....	51

5.5	Třída 500 cm ³	54
5.5.1	Yamaha YZR 500	54
5.5.2	Honda NSR 500	61
6	Budoucnost a perspektivy dvoudobého motoru.....	66
	Závěr bakalářské práce	69
	Seznam použitých zdrojů	71
	Seznam použitých značek a symbolů	74

1 Úvod

V této práci je mapována historie a vývoj dvoudobého spalovacího motoru, samostatná kapitola popisuje všechny používané druhy rozvodu výměny směsi, tedy oblast konstrukce motoru, která má stěžejní vliv na parametry dvoudobého motoru. Dále je dvoudobý motor srovnán se čtyřdobým z hlediska konstrukce a popsána etapa, kdy dvoudobé motory kralovaly na okruzích šampionátu Grand Prix silničních motocyklů, včetně představení konstrukčních zajímavostí u představitelů každé z jejích tříd. V závěrečné části je pojednáváno o možnostech, jakými lze dvoudobý motor modernizovat pro plnění ekologických norem, které v současnosti výrazně omezují prodej motocyklů s těmito motory.

Dvoudobý motor prošel ve 20. století obrovským vývojem, z původně mechanicky jednoduchého motoru určeného pro velké naftové lokomotivy a stabilní motory do továren vznikl výkonný motor o nízké hmotnosti, používaný ve motocyklech, sněžných a vodních skútrech. Právě tyto dopravní prostředky, používané mimo dopravy osob i pro zábavu, požadují nízkou hmotnost a výkonný motor pro svou dynamiku. Od vzniku motocyklu se proto lidé snaží měřit rychlost a spolehlivost strojů. Už s první zástavbou spalovacího motoru do podvozku vznikla touha porovnat svůj stroj s konkurencí a dobrými výsledky v závodech si udělat reklamu pro lepší prodej prvních motocyklů. Vznikaly tak různé závody, jak vytrvalostní, tak okruhové, kde vítězí nejvyšší průměrná rychlost. Tyto rychlostní závody donutily konstruktéry motorů ke zvyšování výkonů. Od okamžiku sestrojení prvního motocyklu Gottliebem Daimlerem měly čtyřdobé motory dominantní postavení a jejich vývoj byl na vyšším stupni, takže podávaly mnohem vyšší výkony a do 60. let 20. století dominovaly závodním tratím. Vývoj německých závodních týmů však v dalších letech prozkoumal možnosti časování motoru a konstrukce výfuku a dvoudobé motory postupně svými výkony deklasovaly i moderní japonské víceválce. Marketingové agentury týmů závodících v mistrovství světa využily úspěchů na závodních tratích a svět zaplavily sportovně laděné silniční stroje, v 80. a 90. letech přímo výkonné závodní repliky pro civilní použití.

V průběhu 80. let ale ve Spojených státech kvůli stále se rozrůstající dopravě, zhoršujícímu se ovzduší zavedli ekologické normy pro nově prodávané dopravní prostředky, které se v průběhu let stále zpřísňují, v Evropě v současnosti platí norma Euro 5, která vylučuje prodej dvoudobého motocyklu bez účinného katalyzátoru.

Řešením pro ekologický dvoudobý motor spalující část oleje použitou pro mazání motoru je použití přímého vstřiku paliva do válce s účinným katalyzátorem výfukových plynů, jako ho má např. skútr Aprilia SR 50 DiTech.

2 Vývoj motocyklů s dvoudobým motorem

2.1 Vznik dvoudobého motoru

V moderních dějinách se pokoušela o vznik mechanické síly, která by nahradila sílu živočišnou nebo energii přírodních zdrojů, spousta vědců nebo vynálezců. V 18. století docházelo k růstu průmyslu a zvýšení těžby nerostů na úkor tradičního zemědělství, proto pro pohon velkých strojů např. v dolech a transportu materiálu na větší vzdálenosti chyběla výkonná pracovní síla, která by požadavky doby uspokojila.

Výbušný motor ve svých skicách popisoval už legendární Leonardo Da Vinci, šlo ovšem o teoretické úvahy nepodložené experimentem. Stejně tak se v roce 1680 holandský fyzik Christian Huygens teoreticky zabýval motorem poháněným střelným prachem, avšak nikdy jej fyzicky nerealizoval v praxi.

Jeden z prvních zaznamenaných pokusů o formu spalovacího motoru pochází z poloviny 17. století, kdy francouzský vědec Hautefeuille experimentoval se střelným prachem, jakožto palivem. Prudký průběh hoření ovšem jistě činil tomuto vědci problémy, jež zamezily dalšímu vývoji.

Základní kinematické uspořádání podobné spalovacímu motoru měl však parní stroj, který nezávisle na sobě vyvinuli v roce 1769 James Watt, anglický průkopník parního stroje, a francouzský inženýr N. J. Cugnot, jenž umístil svůj parní stroj do tříkolového podvozku s řízeným a poháněným předním kolem, což byl první dopravní prostředek s pístovým motorem.[9]

Koncepce spalovacího motoru s vnitřním spalováním ovšem měla své zřejmé výhody a vědci v Evropě na ní intenzivně pracovali. Výsledky na sebe nenechaly dlouho čekat. Anglický inženýr Robert Street si v roce 1794 nechal patentovat spalovací motor poháněný parami terpentýnového oleje a vzduchu, ale motor pro svoji složitost nebyl prakticky použitelný.

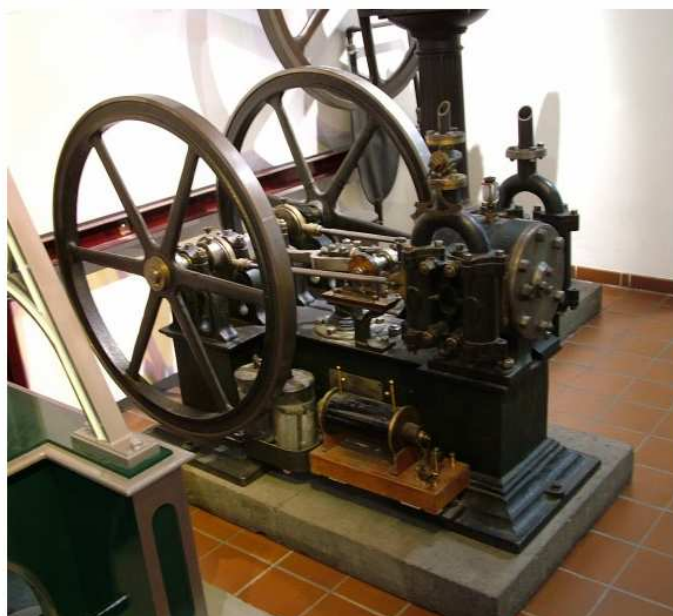
Jedním z prvních funkčních dopravních prostředků se spalovacím motorem bylo vozidlo pro potřeby armády, postavené v roce 1807 Isaacem de Rivazem. Jako válec zde sloužila upravená dělová hlaveň a elektrickou jiskrou byla pod pístem zapalována výbušná směs svítiplynu a vzduchu. Po zážehu směsi byl píst vymrštěn nahoru a přes ozubenou tyč poháněl pastorek s lanovým převodem na kola. Motorový vozík byl sice funkční, ale k jeho rozvoji nebo výrobě ve více kusech nedošlo.

První spalovací motor vyrobitelný ve větších sériích, jež byl na takové úrovni, aby se dal použít pro pohon strojů a vyrábět, navrhl Belgičan J. J. E. Lenoir. V roce 1860 sestrojil dvoudobý motor spalující tehdy běžně rozšířený svítiplyn. Motor to byl dvojčinný, svítiplyn byl zažehován elektrickou jiskrou, rozvod směsi obstarávala šoupátka. Výměna směsi ovšem

probíhala podobně jako u čtyřdobého motoru, zde šoupátky, u pozdějších motorů až do objevu výměny směsi přepouštěcími kanály řídily rozvod ventily v hlavě válců jako u motorů čtyřdobých. Účinnost tohoto motoru byla jen 3 %, zkušební motor dával výkon 1 k při 80 min⁻¹.

Prototyp se nakonec dočkal sériové výroby, podle pramenů bylo vyrobeno okolo 3000 kusů ve verzích 0,5-9 k, které byly prodávány jak v domácí Francii, tak i v sousední Anglii. Později Lenoir zastavěl svůj motor do podvozku a nahradil svítiplyn odpařovaným benzínem a tak bylo poprvé použito kapalné palivo pro pohon vozidlového motoru.

Lenoirův motor však vykazoval vysokou spotřebu maziva a nespolehlivé zapalování, proto se příliš nerozšířil. [5]



Obr. 1: Lenoirův spal. motor, rok 1861, exponát z Deutsche Museum, Mnichov [8]

Na americkém kontinentě se pokoušel o vývoj dvoudobého motoru inženýr George Brayton. Motor spalující kerosin z roku 1873 s dvěma válci se sice neprosadil, přesto se dá tento motor považovat za jeden z prvních bezpečných motorů na tekuté palivo, přičemž bezpečnost tehdejších motorů vůči požáru byla velmi nízká.

S souvislosti s původním návrhem dvoudobého motoru se objevuje několik jmen, jelikož v 70. a 80. letech 19. století pracovala na vývoji po Evropě i Severní Americe spousta nadšenců. Jedním z nich byl i skotský inženýr Dugald Clerk (též udávaný jako Clark). Svůj dvoudobý motor představil v roce 1867. Motor neměl ještě přepouštěcí kanály, jaké známe v dnešní podobě, ale výměna plynů probíhala prostřednictvím ventilů v hlavě válce ovládaných vačkou jako u čtyřdobého motoru. Směs paliva, vzduchu a maziva byla tlačena

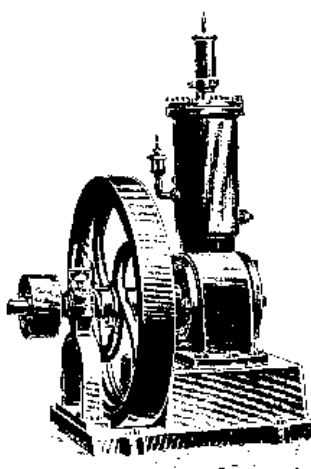
do válce přetlakem, který vytvářel mechanický kompresor, jež si dal Clerk patentovat v roce 1881 a později patent tohoto motoru prodal do General Motors, pobočky Detroit Diesel Company. Tento cyklus s ovládáním výměny směsi pomocí ventilů v hlavě válců je nazýván jako Clerkův a používal se později v dieselových motorech větších objemů, a to v lokomotivách a lodích. Pro spalování benzínu a menší objemy nebyl příliš vhodný.

Též slavný konstruktér prvního automobilu, Karl Benz, představil v roce 1879 svoji verzi ventilu ovládaného dvoudobého motoru. [10]

2.2 Vznik dvoudobého cyklu v jeho klasické podobě

Skutečný bezventilový dvoudobý motor, jehož koncepce se přiblížila dnešnímu pojetí, nechal patentovat Angličan Joseph Day v roce 1891. Svému motoru dal název „bezventilový dvoudobý motor“, protože na ventilové motory se vztahoval patent Ottova čtyřdobého motoru, představeného v roce 1867. Ve své době byla novinka se zajímavými technickými řešeními. Sání motoru bylo ovládání podtlakovou membránou v kanálu sání, což vlastně byla primitivní podoba jazýčkového ventilu používaného u dnešních motorů se symetrickými rozvodovými daty. Druhá membrána se nacházela v plášti pístu, protože tato verze ještě neměla přepouštěcí kanály, jak se používají dnes. Přepouštěcí kanály Day použil až o několik let později ve své zdokonalené konstrukci. Bylo vyrobeno cca 250 kusů, které sloužily k pohonu malých generátorů.

Úplné odstranění jakýchkoliv řídicích prvků provedl rok po představení motoru, v roce 1892, Dayův zaměstnanec Frederic Cock. Sání bylo už ovládáno spodní hranou pístu, tak jak je ovládáno u dnešních symetricky řízených motorů. Tato dvojice konstruktérů se dá považovat za tvůrce dvoudobého motoru dnešního pojetí. Dochovaly se jen dva kusy tohoto průkopnického motoru, jeden se nachází v Deutsche Museum v Mnichově. [11]



Obr. 2: Dvoudobý bezventilový motor Josepha Daye [11]

Když přihlédneme k vývoji dějin, dvoudobý motor vznikl zjednodušením čtyřtaktního cyklu. Většina konstruktérů se zabírala vývojem čtyřdobého motoru s ventilovým rozvodem, protože dokud nebyly objeveny přepouštěcí kanály, konstruktéři měli problém během jedné otáčky klikové hřídele vystřídat v motoru všechny funkční cykly: sání, kompresi, expanzi, výfuk. Zákazníci prvních spalovacích motorů požadovali vyšší výkon těchto primitivních jednotek, a dvě doby byly způsob, jak získat teoreticky dvojnásobný výkon z daného objemu. Přesto se první motory pracující na dvě doby uplatnily hlavně jako naftové motory velkých objemů, benzínové motory byly však pro svoji jednoduchost, poměr výkon/hmotnost ideální jako pohonná jednotka motocyklů. [11]

První motocykl sestrojil německý inženýr Gottlieb Daimler v listopadu 1885. Do dřevěného rámu s postranními kolečky zabudoval vertikální čtyřdobý motor o objemu 264 cm³ a výkonu 0,5 k při 800 min⁻¹, což jeho stroji s názvem „Reitwagen“ udělilo maximální rychlost 12 km/h .

Pro zákazníky toužící po jízdě na novém vynálezu, motocyklu, jej začal v roce 1894 vyrábět první sériový výrobce, německá firma Hildebrand & Wolfmüller. Bylo vyrobeno pár stovek kusů, přesto se jednalo o úspěch.

Motocykl v nábožensky založené době přelomu 20. století byl označován jako „pekelný stroj“, ostatně jako většina v té době neobvyklých dopravních prostředků se spalovacím motorem. Klasické první motocykly byly v podstatě čtyřdobé motory zabudované do neodpruženého bicyklového rámu, neměly převodovku a přenos síly přímo z klikové hřídele na zadní kolo zajišťoval často padající a prokluzující kožený řemen, který se trhal a vyžadoval posyp kalafunou. Tomuto typu prvního motocyklu se říkalo motocykleta (v českých zemích to byla Laurin&Klement Slavia z roku 1899 s výkonem 1,25 k).

S revolucí v samotné koncepci motocyklu i dvoudobého spalovacího motoru přišel v roce 1908 anglický konstruktér Alfred A. Scott. Jeho mnoha patenty ověřená konstrukce nastolila koncepci klasického motocyklu pro 20. století. Během vývoje svých motocyklů si nechal patentovat na 50 technických inovací. Dvoudobý cyklus přestal být jen výsadou stacionárních průmyslových motorů nebo pomocných motorků do jízdních kol, naopak Scott svými vysokootáčkovými dvoutakty hravě převyšoval výkony čtyřdobých konkurentů stejného zdvihového objemu a od roku 1900. Scott laboroval s dvoudobým motorem pro použití ve člunech a jízdních kolech už od roku 1900, později motorek s výkonem 2 k umístil do rámu kola Premier, avšak v roce 1908 přišel s kompletním motocyklem, jehož technické novinky stojí za zmínku:

- svislý dvoudobý řadový dvouválec 450 cm³, tříkanálový válec, písty s deflektorem, setrvačnick mezi válci
- kapalinové chlazení hlavy válců, později i válce (další použití až o 60 let později u závodní silniční Suzuki), chladič kapaliny nad motorem

- otevřený trojúhelníkový rám (někdy zvaný též „dámský“) z válcovaných trubek, motor umístěn ve spodu rámu pro snížení polohy těžiště a lepší ovladatelnost (novinka proti upraveným bicyklovým ráům)
- dvoustupňová převodovka s neutrálem řazená nožně při vypnuté spojce
- primární i sekundární převod pomocí řetězu (doposud řemenové převody přímo od klikové hřídele)
- startovací páka, z čehož plyne i absence šlapátek
- pevné ploché stupačky
- prototyp měl přední teleskopickou vidlici, pro výrobu nahrazenou vahadlovou



Obr. 3: Revoluční motocykl Scott, rok 1908 [13]

Od roku 1911 značka Scott Engineering Company používá rozvod sání rotačnímu šoupátky a od roku 1914 je pak použito kapkového ztrátového mazání motoru, pohon rotačních šoupátek z převodovky a sloučení motoru a převodovky v jeden celek. Po celou dobu výroby až do 60. let 20. století používá firma Scott výhradně dvoudobé motory s kapalinovým i vzduchovým chlazením, přičemž kapalinou chlazené válce byly opatřeny, pro firmu typickým, rudým nátěrem.

V roce 1939 firma zdokonalila vratné vyplachování Dr. Schnürleho (viz dále) a nechala si patentovat přídatný, tzv. „boost“ kanálek naproti výfukovému kanálu. Tato konstrukce byla uplatněna a zdokonalena v 70. letech 20. století v silničním sportu. Motocykly Scott byly velmi úspěšné také v motocyklových závodech Tourist Trophy.[12]

Po první světové válce došlo k velkému rozvoji dvoudobých motocyklů malých kubatur, společnost chtěla levné a nenáročné stroje a dvoudobý motor byl díky objevům firmy Scott na takové úrovni, že mohl tyto požadavky, oproti dražším čtyřdobým strojům, naplnit. Hned po 1. sv. válce, v roce 1919, staví dánský inženýr Jorgen Skaft Rasmussen svůj první přídatný dvoudobý motorek o objemu 123 cm³ pro jízdní kola, což byl začátek úspěšné existence německé značky DKW, která se stala v roce 1928 na několik let největších světovým výrobcem motocyklů. DKW vyráběla výhradně dvoudobé motory, používala je

v automobilech, a svoje motory prodávala po celém světě mnoha malým výrobcům motocyklů. Její pokrokový produkční model DKW RT 125 okopírovaly po válce společnosti BSA, Harley Davidson a mnozí jiní. Automobilový víceválec DKW rovněž používal švédský Saab, který se svým dvoudobým programem slavil úspěchy.

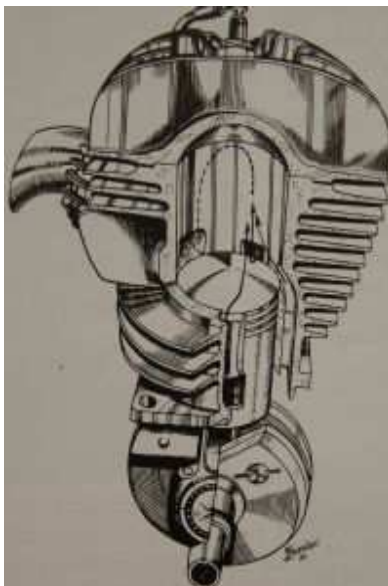
2.3 Vznik moderního dvoudobého motoru

Značka DKW spolu se svými pokračovateli IFA a MZ je nazývána průkopníkem dvoudobého cyklu. Její vývojář, ing. Zoller, prosadil do výroby dvoupístové provedení jednoválce, které vyvinul Ital Marcellino pro rakouskou firmu Puch v roce 1923.



Obr. 4: Dvoupístový motor Puch [12]

DKW v meziválečném období porážela na závodních tratích soupeře se svými vodou chlazenými motory s přeplňováním, avšak největším přínosem silniční produkci bylo objevení vratného vyplachování Dr. Schnürlem v roce 1925, který svůj patent prodal v roce 1932 firmě DKW. Největší konkurent DKW, německá firma Zündapp, převzal tento systém vratného vyplachování, avšak kvůli hrozbě finančního postihu za obcházení patentu její konstruktér ing. Küchen doplnil dva prepouštěcí kanály třetím pomocným „boost“ kanálkem (podobně jako patent Scott), který usměrňoval proud směsi ve válci. Nové uspořádání prepouštěcích kanálů dovolilo použít plochý píst, snížit i o třetinu spotřebu paliva a zvýšit výkonové parametry. Tento systém později používali všichni výrobci motocyklových motorů a u jednodušších motorů a agregátů pro zahradní techniku, kde není potřeba velký výkon a vyžaduje se jednoduchá konstrukce, se používá vratné vyplachování dodnes.



Obr. 4: Řez motorem Zündapp Derby 200 s vratným vyplachováním s třetím (řídícím) kanálem [12]

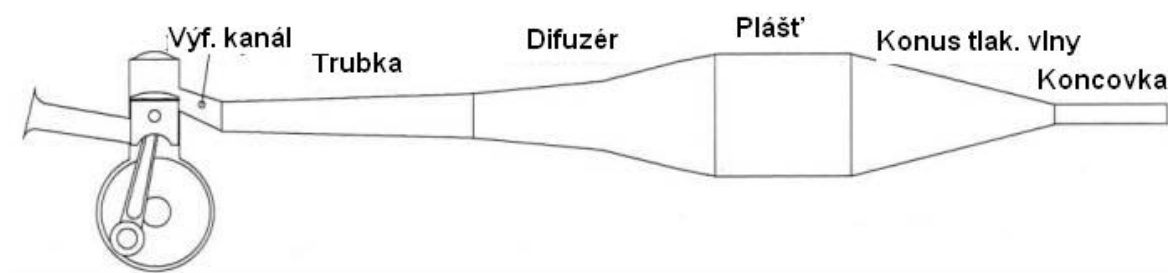
Dvoupístovými motory s nesymetrickým rozvodem se kromě DKW a Puch zabývaly firmy Trojan, která měla podobné uspořádání jako DKW, a Garelli, která stála u zrodu tohoto systému. [12]

V této meziválečné době existovalo v Evropě mnoho výrobců motocyklů s dvoudobými motory, šlo především o kubatury do 350 cm³, většinou však výrobci přistoupili na klasický model dvoudobého motoru, a to řízení rozvodu pístem s vratným vyplachováním (např. u nás rozšířená Jawa 350 nebo Jawa 50 Pionýr), které se dalo považovat za moderní až do 60. let 20. století.

2.4 Objev nesymetrického rozvodu a expanzní komory ve výfukovém potrubí

Fakt, že jednoduchá koncepce dvoupístových motorů nevystačila konstruktérům moderních vysokovýkonných dvoudobých motorů do dnešních dní, má na svědomí šefkonstruktér závodního oddělení tehdy východoněmecké MZ/IFA, ing. Walter Kaaden. Roku 1951 zdokonalil objev konstruktéra továrny DKW Ericha Wolfa, expanzní komoru ve výfukovém potrubí, která umožňuje mnohem efektivnější naplnění válce směsí, výrazné zvýšení výkonu a úsporu paliva. V roce 1954 jeho závodní stroj byl prvním motocyklem bez přeplňování, který překročil litrový výkon 100 k. Kaadenův pozdější spolupracovník, Daniel Zimmermann, v roce 1951 na svůj soukromý závodní motocykl IFA 125 namontoval rotační

diskové šoupátko, karburátor umístil z boku klikové skříně a dovolil tak motoru polohou výřezu v rotačním šoupátku plně měnit parametry rozvodu motoru, čímž absolutně překonal jak klasický rozvod pístem, kdy kanály ve válci řídí poloha pístu, tak i dvoupístové motory, které mají o něco výhodnější časování rozvodu než rozvod pístem levných motorů.



Obr. 5: Schéma výfukového potrubí s expanzní komorou [4]

Tyto dva nové objevy, rozvod rotačním šoupátkem a výfukové potrubí s expanzní komorou, se staly charakteristické pro závodní stroje MZ a ihned v roce 1951 přinesly navýšení výkonu o 25 %. Vývoj v laboratořích MZ směřoval až k litrovému výkonu 200 k/l v roce 1961, čímž dvoudobé motory tohoto výrobce výkonově překonaly nejmodernější čtyřdobé speciály v té době používané.

Nebýt studené války mezi Východním Německem a Západem v té době, značka MZ měla podle všech předpokladů potenciál zúročit svůj velký přínos ve vývoji dvoudobého motoru v zasloužený titul mistra světa silničních motocyklů v roce 1961, ale její jezdec a zároveň testovací technik Ernst Degner byl uplacen japonskou Suzuki a při útěku s sebou odvezl části motoru a důležité poznatky nasbírané za léta vývoje v MZ.

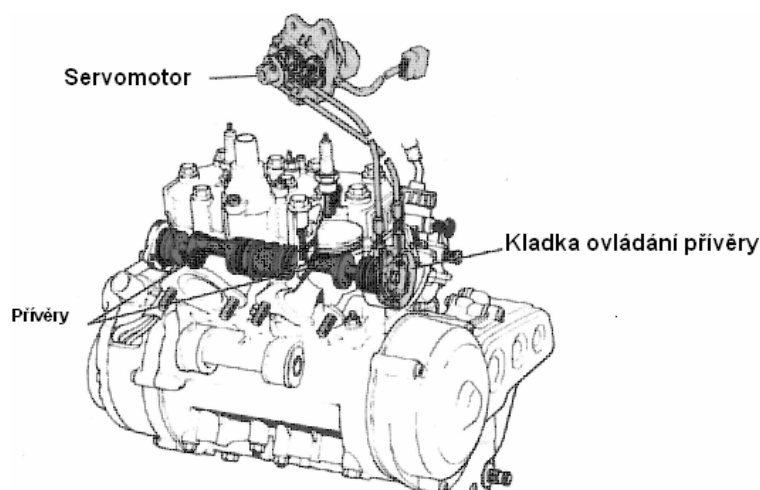
Přestože se dá dívat na tuto krádež know-how z různých úhlů, dalšímu rozvoji konstrukce dvoudobého motoru to jedině pomohlo. Jak je známo, ve státech komunistického bloku byl zoufalý nedostatek moderních technologií a materiálů, proto konstruktéři z těchto zemí byli značně limitováni výběrem materiálů a museli často konstrukčně řešit zdánlivě banality, protože jim bylo zakázáno používat již vyvinuté a osvědčené moderní komponenty ze Západu.

Japonská Suzuki, která teprve několik let vyráběla produkční motocykly, ze začátku zdařilé kopie úspěšných evropských značek, nyní měla slušný základ pro úspěch ve sportu a takřka přes noc se stala s kopií závodní MZ z předešlého roku mistrem světa, a vůbec prvním mistrem světa s dvoudobým motorem. [8]

2.5 Použití odděleného mazání motoru a ovládání výfukového kanálu

V 60. letech nastal pověstný „nástup“ japonských značek na světové trhy. Dvoudobá technika byl ve světě na vzestupu, Suzuki a Kawasaki nabízely pro zákazníky dvoudobé tříválce o objemu až 750 cm³. Motory měly oddělené mazání, takže nebylo už nutno při tankování u benzinové pumpy pracně odměřovat množství oleje, stačilo nalít olej do oddělené nádržky a čerpadlo dávkovalo v závislosti na otáčkách množství oleje do sacího kanálu, případně jiných míst přímo v motoru. Výhoda tohoto uspořádání, kromě většího pohodlí při používání, byla i v nižší spotřebě oleje a tedy i nižším zanášením motoru karbonem, vznikajícím při spalování oleje v palivové směsi. Z toho plynou delší servisní intervaly nutné pro výměnu svíček a dekarbonizaci motoru, snížily se nároky na údržbu. [7]

Koncem 60. let japonská Yamaha, velmi úspěšná v silničním sportu i motokrosu, začala experimentovat s náhradou rotačního šoupátka v sání membránami, tzv. jazýčkovým ventilem. Sání rotačním šoupátkem sice ve sportu fungovalo výborně, ale umístění karburátoru z boku klikové skříně někdy dělalo problémy s umístěním přídatných komponent jako alternátor, modul zapalování atd. Membrána se umístila jednoduše do sacího kanálu a otevírala se při podtlaku v sání. Je to jednoduchá metoda, prvně použitá už u prvních dvoudobých motorů v 19. století, ale poměrně nespolehlivá, protože obyčejná plechová membrána se pulzacemi sání rozkmitá a může prasknout. Přesto byla vyvinuta technologie pogumování, která již funguje spolehlivě a oproti rotačnímu šoupátku tato membrána přináší lepší průběh výkonu v nižších otáčkách a používá se u výkonných dvoudobých motorů dodnes. [2]



Obr. 6: Výfuková rotační přívěra Yamaha YPVS [3]

Dalším přínosem Yamahy ze 70. let je její převratný systém výfukové přívěry YPVS (Yamaha Power Valve System), čili regulace polohy hrany výfukového kanálu, který má za cíl dosáhnout ploché křivky výkonu a krouticího momentu, což je slabina dvoudobého motoru. Do té doby měly výkonné motory úzké pásmo využitelného výkonu ve vyšších otáčkách, bylo nutné často řadit a proto měly závodní motocykly 60. let i 16 rychlostních stupňů. Postupem doby zavedli výfukové přívěry všichni výrobci výkonných dvoudobých motorů. [7]

2.6 Přímé vstřikování

V 80. letech 20. století začaly v USA platit první emisní normy významněji omezující množství uhlovodíků a oxidu uhelnatého. Z toho důvodu se některé modely s dvoudobými motory přestaly nabízet a výrobci byli se tímto aspektem vážně zabývat. V polovině 90. let byly zavedeny katalyzátory, které představovaly odpor ve výfukové soustavě, čímž poklesl nejvyšší výkon, avšak množství škodlivin bylo sníženo o významných 70-80 %. Stále zpříšňující se ekologické limity však způsobily ukončení prodeje nejvýkonnějších sériových motocyklů s dvoudobými motory (např. Aprilia RS250 v roce 2002) a postupné omezování výroby i v nižších kubaturách.

V 90. letech italská Aprilia vyvinula ve spolupráci s australskou společností Orbital systém přímého vstřikování benzínu do válce DiTech pro své skútry SR 50, což byl velký pokrok k účinnějšímu plnění motoru a výraznému snížení škodlivin ve výfukových plynech. [7]. Přímé vstřikování vyvinula i exkluzivní italská firma Bimota na svém dvouválci 500 Vdue s výkonem 110 k a vahou 150 kg. Zavedení vstřikování snížilo spotřebu o 60 %, kleslo o 85 % množství škodlivin ve výfukových plynech oproti klasickému dvoudobému motoru a je technologií budoucnosti.[14]



Obr. 7: Sestava pohonné jednotky skútru Aprilia SR50 DiTech [14]

3 Konstrukce sportovního dvoudobého motoru

3.1 Definice a základní popis

Dvoudobý spalovací motor je tepelný stroj s vnitřním spalováním, měnící energii expandujících spalin ve válci na mechanickou energii prostřednictvím vratného pohybu pístu. Přímočarý vratný posuvný pohyb pístu je prostřednictvím klikové hřídele měněn na rotační energii klikové hřídele, která přes spojku a převodovku pohání stroj, ve kterém je motor umístěn.

Motor je nazýván dvoudobý právě proto, že vykoná pracovní cyklus během dvou zdvihů (dob) pístu, tj. během jedné otáčky klikové hřídele, což je v obloukové míře 360° . Ve srovnání s častěji používaným čtyřdobým motorem tedy dvoudobý motor vykoná za stejný počet otáček dvakrát více pracovních cyklů.

Dvoudobý motor bývá obecně nazýván tříkanálový, neboť se při výměně směsi a vyplachování používají tři základní druhy kanálů, a to sací, výfukový a vícenásobný přepouštěcí. Přepouštěcí kanál propojuje prostor v klikové skříni pod pístem se spalovacím prostorem nad pístem.

Na rozdíl od motoru čtyřdobého, dvoudobý cyklus při každém zdvihu pístu vykonává dva cykly najednou, takže na každý cyklus (sání, komprese, expanze, výfuk) je méně času oproti čtyřdobému motoru, který má na každý cyklus samostatný zdvih. Kliková skříň a dolů se pohybující píst při expanzi spalin na pístem působí jako dmychadlo a stlačuje v klikovém prostoru nasátou směs.

Třecí plochy uvnitř motoru jsou mazány směsí oleje v palivu (obvykle míscí poměr olej/palivo 1:20 – 1:50), které se mísí hned do nádrže s palivem. U motoru zahřátého na provozní teplotu se palivo na horkých stěnách odpařuje a olej ulpívá na stěnách a maže třecí plochy – plochu válce, kde se pohybuje píst s kroužky, pístní a ojnicí čep, ložiska klikové hřídele. Přesto část oleje je palivem strhávána a spálena, což způsobuje typický modrý kouř při zátěži motoru nebo po studeném startu, kdy se palivo neodpařuje od oleje a většinu oleje s sebou unáší do spalovacího prostoru, kde je olej ve větší míře než obvykle spalován.

Nevýhodou tohoto pevně daného poměru oleje v palivu je fakt, že se musí přidat do oleje množství oleje nutné pro maximální zatížení a otáčky, tedy to největší množství, které motor může pro dostatečné mazání vyžadovat. Přitom pro otáčky volnoběhu stačí pro bezpečné mazání směšovací poměr okolo 1:180, což je téměř desetina celkového množství. Proto se u moderních motorů používá oddělené olejové čerpadlo, které dopravuje do sacího kanálu motoru nebo přímo třecích ploch množství oleje závislé na otáčkách motoru.

Výměna směsi ve válcích je řízena pouze pohybem pístu ve válci, píst svou horní hranou (dnem) otevírá a zavírá výfukové a přepouštěcí kanály a spodní hrana pístu zase řídí otevření kanálu sacího. Sací kanál proto bývá ve válci položen většinou níže směrem ke

klikové skříně, v případě modernějšího rozvodu šoupátkem a jazýčkovými ventily je sání realizováno přímo do klikové skříně a píst nemá na řízení rozvodu sání žádný vliv. V případě diesellových dvoudobých motorů a některých starých konstrukcí motor nasával směs paliva skrz ventil v hlavě válce podobně jako u čtyřdobého motoru, tento případ je však dnes již ojedinělý. [4]

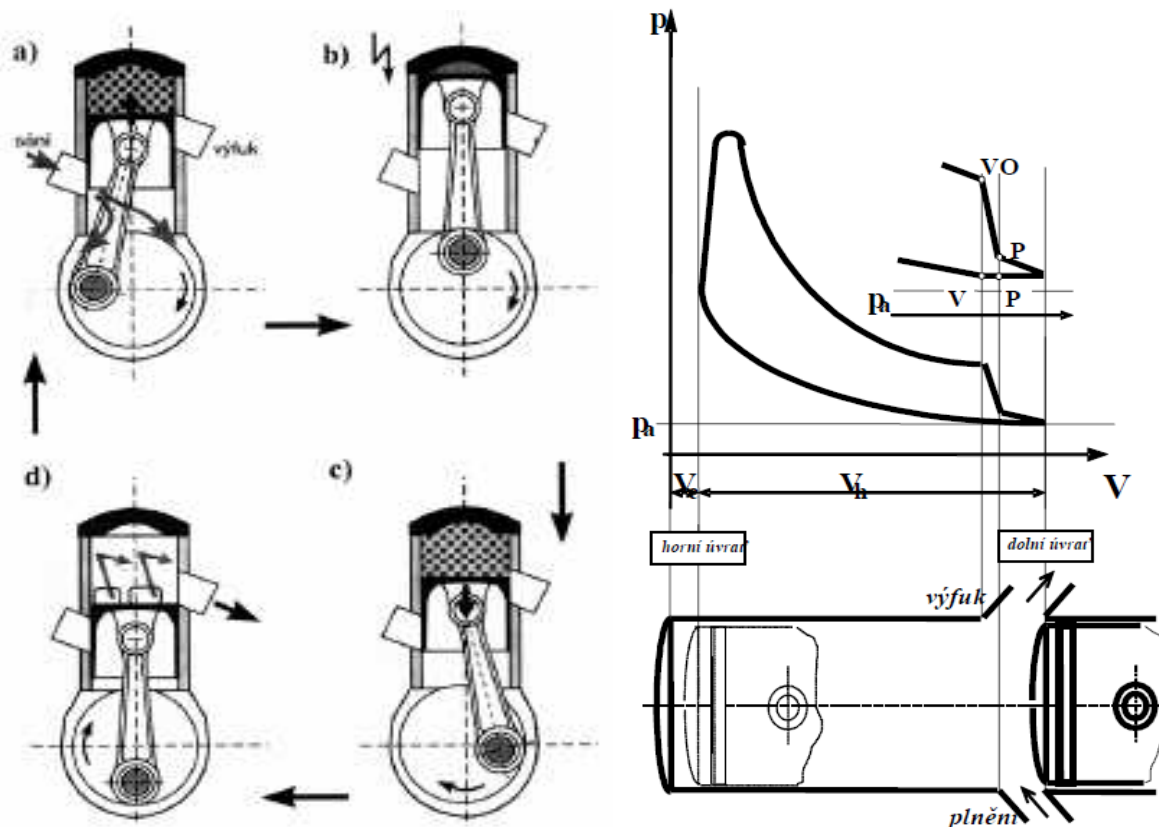
Činnost dvoudobého motoru

Sání: poté, co píst, pohybující se směrem do horní úvrati, uzavře svým pláštěm přepouštěcí kanály, vznikne v klikové skříně vlivem zvětšování prostoru podtlak 0,02-0,04 MPa. Otevřením sacího kanálu stoupajícím pístem začne samotné sání do klikového prostoru, v případě rotačního šoupátka sání probíhá otevřením sacího kanálu výřezem v diskovém šoupátku, v případě jazýčkového ventilu probíhá sání okamžitě po vzniku podtlaku v prostoru pod pístem (obr. 8 a)

Komprese: zároveň se sáním pod pístem probíhá ve spalovacím prostoru nad pístem stlačování (komprese) směsi paliva se vzduchem. Zdrojem energie pro překonání tohoto zdvihu, kdy není získávána práce, je kinetická energie roztočeného setrvačníku klikové hřídele (obr. 8 b)

Expanze: jiskra od zapalovací svíčky, která cca 16° před horní úvrati (HÚ) zažehne stlačenou směs paliva ve spalovacím prostoru. Plně prohoření paliva začíná po překonání horní úvrati a na dno pístu začíná působit tlak spalin o velikosti 25-40 MPa. Motor koná práci, probíhá pracovní zdvih motoru. Pohybem pístu směrem k dolní úvrati dohází v prostoru pod pístem k stlačování nasáté směsi paliva (obr. 8 c)

Výfuk: přibližně 65° před dolní úvrati pístu (DÚ) končí expanzní pracovní zdvih a horní hrana pístu otevírá výfukový kanál. Stlačené spaliny proudí kanálem do výfukového potrubí. Poté hrana pístu odkrývá i přepouštěcí kanály, stlačená směs paliva začíná vytlačovat spaliny ven z válce. Vlivem počátečního dynamického tlaku ve výfukové soustavě se zbytkové spaliny při otevření přepouštěcího kanálu nejdříve vrací směrem ke klikové skříně, což zvyšuje tlak předběžného stlačení 0,03 MPa na vyplachovací tlak o velikosti 0,08 MPa. Tvar a úhel kanálů zde má vliv na proudění směsi do spalovacího prostoru a na efektivitu, s jakou budou všechny spaliny vytlačeny do výfuku. Rovněž je požadováno, aby konstrukce kanálů a časování rozvodů zamezilo úniku směsi do výfuku, čemuž se zabráňuje krom vratného vyplachování i vhodně navrženým výfukovým systémem s expanzní komorou, přičemž se využívá zpětné tlakové vlny, která zatlačuje do výfuku unikající čerstvou směs zpátky do válce (obr. 8d) [2]



Obr. 8: Schéma cyklů dvoudobého motoru a p-V diagram se závislostí na otevření kanálů [5]

3.2 Srovnání dvoudobého a čtyřdobého motoru

Výhody dvoudobého motoru oproti čtyřdobému

- Vyšší měrný výkon – vyplývá z dvojnásobného počtu pracovních zdvihů, ale z důvodu kratší doby určené pro sání a především kvůli míšení čerstvé směsi se spalinami při výplachu je skutečný výkon vyšší max. o 50 %
- Méně pohyblivých součástí – pouze tři hlavní části: píst, ojnice, kliková hřídel
- Jednoduchá konstrukce – absence ventilového rozvodu, menší počet součástí, nižší náklady na výrobu, menší setrvačnost pohybujících se součástí
- Poměr výkon/hmotnost- výkonnější motor při nižší hmotnosti udává lepší koeficient než těžší jednotka o stejném výkonu
- Větší pružnost motoru – větší nárůst krouticího momentu při poklesu otáček, maximální moment může být dosažen při nižších otáčkách

- Rovnoměrnější průběh krouticího momentu – vlivem dvojnásobného počtu pracovních zdvihů má motor rovnoměrnější chod, dvoudobý jednoválec se vyrovná plynulostí čtyřdobému dvouválci
- Nenáročná obsluha – odpadá rozvodový a tlakový mazací systém
- Menší následky při přetočení motoru – nehrozí při velmi vysokých otáčkách (při podřazení) kontaktu ventilů s pístem
- Snadnější spouštění v mrazech – menší odpor pohybujících se součástí vlivem absence rozvodového mechanismu a díky uložení klikové hřídele na valivých ložiscích
- Menší vibrace – způsobeno větším počtem pracovních zdvihů za otáčku [5] [2]

Nevýhody klasického dvoudobého motoru oproti čtyřdobému

- Vyšší měrná spotřeba paliva – je způsobena nedokonalým vyplachováním a úniky čerstvé směsi při výplachu do výfuku. Dvojnásobný počet sacích cyklů
- Horší plnění – i před dvojnásobný počet pracovních zdvihů kvůli výkon zdaleka nedosahuje dvojnásobku výkonu čtyřdobého motoru
- Vyšší spotřeba oleje – vlivem spalováním oleje při ztrátovém mazání směsí paliva a oleje
- Vyšší obsah škodlivin v výfukových plynech – spalováním oleje vzniká větší množství nespálených uhlovodíků, což má za následek problematické plnění emisních norem u klasických dvoudobých motorů s karburátorem
- Vyšší tepelné zatížení – vlivem dvojnásobného počtu zážehů za otáčku vzniká v motoru více tepla, jsou namáhány především zapalovací svíčky a píst motoru
- Neklidný běh naprázdno – je způsoben nedokonalým vypláchnutím prostoru válce od spalin, což ve finále způsobuje, že se nevznítí úplně každý pracovní zdvih, protože mezi elektrodami svíčky není dostatečně bohatá směs
- Větší hluk motoru – větší počet cyklů znamená větší objem plynů, které protékají přes sání i výfuk. Hluk vytváří i valivá ložiska klikového hřídele a proudění plynů členitými kanály v motoru
- Obtížné vyvažování víceválcových klikových hřídelí – čepy hřídelí jsou lisované v setrvačnicích, taktéž ojnicní čepy jsou zalisovány, proto je nutná vysoká přesnost [5] [2]

3.3 Druhy řízení rozvodu sání

Za 150 let vývoje dvoudobého motoru se konstrukce kanálů a způsob rozvodu směsi zdokonalila natolik, že v dnešní době je rozvod směsi ve válci plně nesymetrický, což je pro dobré výkonové parametry nezbytné.

Symetričnost rozvodu zjednodušeně vyjadřuje, jak brzy se před dolní úvratí kanály (výfukový, prepouštěcí) otevrou, tak brzy se i zavřou. Tento jev je nežádoucí především u sání, kdy symetrický rozvod dovolí otevření sání cca 55° před HÚ a 55° za HÚ se zavírá. Pokud bychom chtěli tento úhel sání zvětšit a plně využít podtlaku v klikové skříní k nasátí maximálního množství směsi, můžeme otevřít sací kanál spodní hranou pístu už několik stupňů za DÚ, avšak zavřen musí kanál být bezpodmínečně v úhlu 55° za HÚ jako u symetrického rozvodu. Proto se i stejný úhel před HÚ musí otevřít. Pokud bychom toto neučinili, píst by pohybem směrem k DÚ nestlačoval směs v prostoru pod pístem, tak jak má, ale stále ještě otevřeným sacím kanálem by vytlačoval zpět již nasátou směs zpátky do karburátoru, což by mělo za následek velké zvýšení spotřeby a motor by nemohl fungovat, protože by nebyla v klikové skříní stlačována směs na tlak nutný k prepouštění stlačené směsi do válce a tedy výtlaku spalín do výfuku (vyplachování). [2]

3.3.1 Rozvod pístem

Nejstarším typem ovládní sání je tedy klasický symetrický rozvod pístem, kdy otevření a zavření sacího kanálu řídí spodní hrana pístu (obr. 8). Kanál je tedy umístěn ještě ve válci a z hlediska konstrukce je tento způsob sání nejjednodušší, avšak výkonově není příliš uspokojivý, protože je pevně dán okamžik zavření sacího kanálu, který vlivem konstrukce dvoudobého motoru nemůže být větší mírou měněn. Okamžik zavření kanálu bývá okolo 55° za HÚ. Pokud se tento úhel zvětší, dramaticky roste spotřeba a výkon může nepatrně vzrůst jen v nejvyšších otáčkách, pak prudce padá. Sání vlivem symetričnosti se tedy otevírá relativně pozdě a na krátkou dobu, celkově cca 110° otáčky klikové hřídele.

Tento systém je používán od samého začátku bezventilových dvoudobých motorů a u levných motorů pro zahradní techniku se používá dodnes. Nevyžaduje žádné další mechanismy k řízení sání a je dán čistě jen polohou sacího kanálu vůči spodní hraně pístu. [4]

3.3.2 Rozvod rotačním diskovým šoupátkem

Tento typ nesymetrického sání poprvé vyzkoušel v roce 1951 technik závodního oddělení východoněmecké MZ, Daniel Zimmermann. Princip spočívá v sání přímo do klikové skříně přes clonu, která sestává z tenkého kotoučku z otěruvzdorného materiálu, jež je poháněn se stejnými otáčkami od klikové hřídele. Kotouč je nasazen s malou axiální vůlí na klikové hřídeli – může se tedy posunovat v drážkovaném vedení, a protože se otáčí s malou boční vůlí do 0,5 mm mezi dvěma rovnoběžnými stěnami, vlivem přetlaku pod pístem při uzavřeném sání se kotouč tlačí na vnější víko komory a tím je utěsněn. První primitivní šoupátko bylo vyrobeno z řezného ocelového kotouče cirkulárky, později se osvědčil pertinax (Jawa 90) a jiné pevné materiály, které snášejí otěr. Dnes se používají krom ocelového plechu jak speciální plasty, tak materiály na bázi pryskyřic. [8]

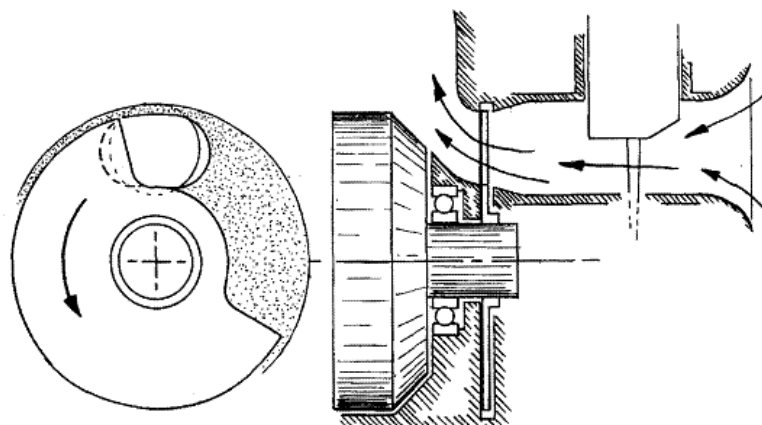


Obr. 9: Karbonové (vlevo) a plechové rotační šoupátko s příslušnými stěnami [15]

Šoupátko je za běhu mazáno směsí oleje a paliva z karburátoru, přesto je nutno při konstrukci volit vhodnou kombinaci šoupátko-komora, aby nedocházelo k přílišnému opotřebení (obr.9). Rovněž pro jeho excentrický tvar je vhodné, aby použitý materiál byl co nejlehčí, z důvodu odstředivých sil ve vysokých otáčkách.

Dobu otevření sání určuje právě výřez v diskovém šoupátku, což bylo především u závodních strojů výhodné, neboť se dá výměnou šoupátka měnit výkonová charakteristika motoru, např. úzké pásmo výkonu v nejvyšších otáčkách u silničního motoru nebo plochý průběh krouticího momentu u terénního stroje.

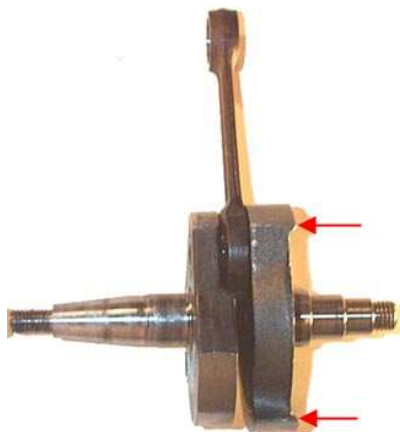
Rozvod rotačním šoupátkem byl vždy populární hlavně u sportovních a závodních strojů. Velká výhoda spočívá ve velmi krátkém sacím kanálu do klikové skříně, kanál může mít velký průřez s minimálními ztrátami proudění a oproti jazýčkovému ventilu při otevřeném sání nestojí v kanále žádná překážka, která by způsobovala odpor a vznik turbulencí. Vysokootáčkový motor také vyžaduje co nejkratší dobu otevírání i zavírání sacího kanálu. Tyto aspekty jsou také důvodem, proč rozvod rotačním šoupátkem stále používá značka Aprilia u svých silničních závodních strojů ve třídě 125 cm³. [1]



Obr. 10: Schéma funkce sání přes rotační diskové šoupátko [4]

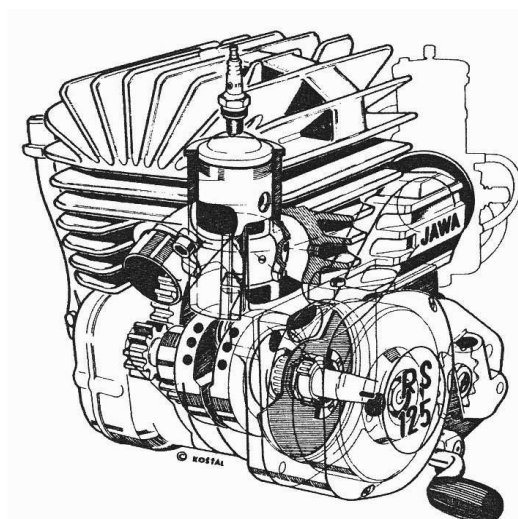
Naopak nevýhodou tohoto uspořádání je karburátor umístěný z boku klikové skříně, což především u řadového dvouválce či čtvercového čtyřválce (závodní Jawa 350 V4 673) s karburátory po stranách motoru znamená velké zvětšení stavební šířky a v případě kapotovaného motocyklu zvětšení aerodynamického odporu. Karburátor po straně také může clonit umístění alternátoru a zapalování na klikové hřídeli.

Důmyslným řešením byla konstrukce použitá u skútrů Piaggio Vespa, kdy rotačním šoupátkem bylo přímo rameno setrvačníku klikové hřídele, takže karburátor byl upevněn přímo na odlitku klikové skříně a rozvod řídil obvodový výřez v setrvačnicku, takže netěsnil bok klikové hřídele, ale obvod (obr. 11; šipky značí počátek a konec otevření sacího kanálu). Karburátor byl umístěn nad motorem, takže odpadl problém široké zástavby. Jedinou nevýhodou zde je utěsnění, které se nehodí na velmi vysoké otáčky.



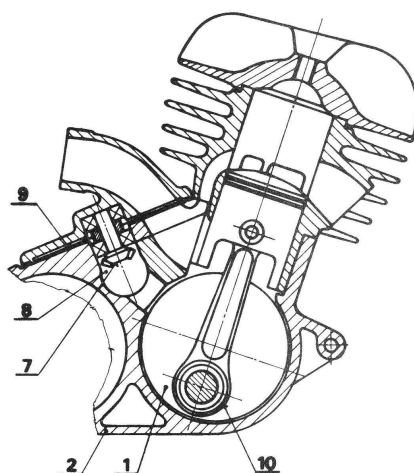
Obr. 11: Kliková hřídel Piaggio Vespa s výřezem na obvodu setrvačníku [1]

Jiná modifikace rotačního šoupátka využívá klasické boční šoupátko, ale sací kanál je stočen směrem za motor, kde je umístěn i karburátor. Nevýhodou je příliš dlouhý kanál sání, který není ideální pro maximální výkon ve vysokých otáčkách, ale přináší lepší průběh krouticího momentu, proto se toto uspořádání používalo spíše v motokrosových a enduro motocyklech, např. Jawa 125/657. Výhodou také je, že karburátor není tolik vystaven poškození jako při bočním umístění a odpadají problémy s umístěním vzduchového filtru a tlumiče sání. [16]



Obr. 12: Řez motorem Jawa 125/657 [34]

Jiným typem bylo zase rotační šoupátko, které nebylo umístěno na klikové hřídeli, ale pomocí pravouhlého převodu bylo vyvedeno za válec (válce) a ovládalo diskové šoupátko s osou otáčení kolmo na klikovou hřídel. Výhodou tohoto uspořádání bylo prostorové uspořádání jako u klasického pístového rozvodu, tzn. karburátor se nacházel za válcem. Nevýhoda spočívala v řešení převodu o 90°. Původní patent na tuto konstrukci měla československá Jawa, která řešila převod hřídelí s kuželovým převodem (obr. 13).



Obr. 13: Rotační šoupátko umístěné kolmo na osu klikové hřídele [34]

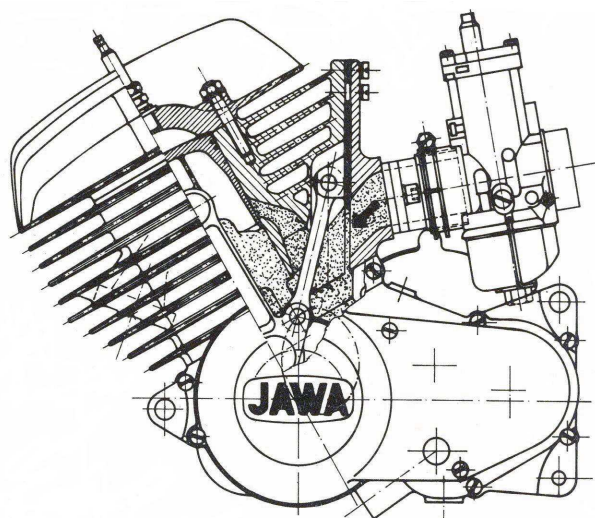
Neobvykle řešený pohon rotačního šoupátka měly lodní a závodní čtyřválcové boxer německé firmy König. Jedno šoupátko ovládalo najednou karburátory pro dvě dvojice válců a převod byl řešen ozubeným řemínkem, který byl pomocí dvou kladek usměřován od klikové hřídele a poháněl velké rotační šoupátko. Protilehlé válce měly společnou klikovou komoru a konají souhlasně stejné zdvihy. Tato konstrukce inspirovala rakouskou firmu Rotax u svých sněžných skútrů, jen převod k šoupátku zajišťovala ozubená kola. Systém, kdy jedno šoupátko ovládá dva válce, se používá dodnes u závodních silničních speciálů. Stejně tak i japonská Yamaha použila tento upravený systém na svém V4 motoru stroje YZR 500, kdy jsou použita šoupátka dvě, každé ovládající dvojici válců (obr. 42) [1]



Obr. 14: Čtyřválec typu boxer německé firmy König s řemenovým pohonem šoupátka [17]

3.3.3 Rozvod sání posuvným šoupátkem

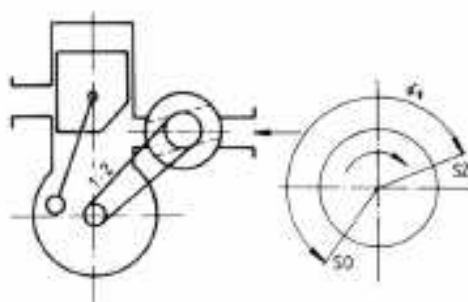
S tímto provedením experimentovala v 70. letech československá Jawa. Ovládání sacího kanálu ovládala posuvná destička spojená čepem s táhlem (v podstatě malou ojnicí) poháněnou klikovou hřídelí. Destička podle otáček klikové hřídele jezdila v úzké šachtě šoupátka s minimální vůlí a byla utěsněna rozdílem tlaků podobně jako rotační šoupátko. Toto provedení se vyznačovalo karburátorem umístěným klasicky za motorem a mělo vynikající průběh křivky krouticího momentu, proto bylo použito u sportovního trialového motocyklu. [16]



Obr. 15: Motor Jawa Trial s rozvodem sání posuvným šoupátkem [34]

3.3.4 Rozvod sání válcovým šoupátkem

Válcové šoupátko používala bylo populární především pro poměrně jednoduchou přestavbu z klasického rozvodu pístem na nesymetrický rozvod. Jednalo se o válec s příčným otvorem ve tvaru části sacího kanálu, který se otáčel ve válcové komoře rovnoběžně s klikovou hřídelí a byl poháněn jednoduchým převodem od klikové hřídele, nejčastěji ozubeným řemínkem, v poměru otáček 1:2, což dovoľovala symetrie rozvodu obou zdvihů dvoudobého motoru. Toto řešení sice přinášelo prodloužení doby sání, avšak kvůli malému funkčnímu průměru válce a pomalému otevření kanálu trvalo plné otevření sacího kanálu jen krátce. Podobné řešení bylo použito u závodních přeplňovaných motorů DKW v roce 1938 (obr. 22). [5]

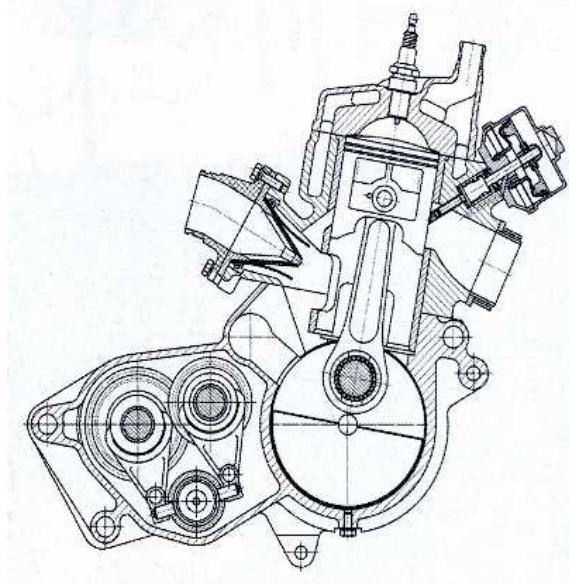


Obr. 16: Schéma sání řízeného válcovým šoupátkem [5]

3.3.5 Rozvod sání membránami (jazýčkovým ventilem)

V 70. letech přišel japonský výrobce motocyklů Yamaha s modernizací sání přes membránu ovládanou podtlakem v sacím kanálu, které je u dvoudobých motorů známo od 20. let 20. století, avšak nebylo tehdy spolehlivé, neboť plechová membrána v té době trpěla rozkmitáním a praskáním v místě pevného uchycení k rámečku. Tehdejším limitem pro pravidelný běh motoru bylo 5000 min^{-1} .

Yamaha vyrábí též hudební nástroje, proto má s kmitáním a membránami bohaté zkušenosti. Navrhla střešovité rámeček z hliníkové slitiny nebo polyuretanu, ve kterém je umístěno více menších membrán, které jsou v maximální otevřené poloze bržděny dorazy. V místě dosedání membrán je rámeček pogumován pro omezení rázů. Membrány byly dříve vyrobeny z tenkého plechu o max. tloušťce 0,3 mm, nyní se vyrábějí ze syntetických materiálů jako kevlar, textit atd. Membrány (jazýčky) se otevírají už při sebemenším podtlaku v klikové skříni, jakmile se píst začne vracet do dolní úvrati a na membránu působí přetlak, dosedne do svého sedla a zabránuje vracení směsi paliva ke karburátoru. [2]



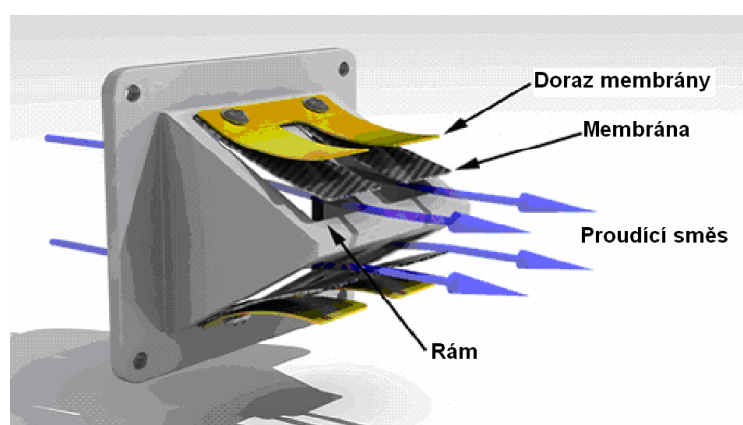
Obr. 17: Motor Rotax 125 s membránovým sání a výfukovou přívěrou RAVE [16]

Rozvod membránami přinesl oproti rozvodu kotoučovým šoupátkem více krouticího momentu do nízkých a středních otáček, neboť sání probíhá podle aktuálního podtlaku vznikajícího pod pístem, který se otáčkami mění, není tedy nastaveno pevně dané otevření pro nejvyšší otáčky, což je zde nevýhoda rotačního šoupátka vhodného spíše pro závodní silniční motory.

Výhodou tohoto uspořádání je prostorová nenáročnost, když se komora s tělesem membrán umístí mezi motor a karburátor a palivo se sáno přímo do klikové skříňe. V 80. letech byly šoupátka přivedeny k dokonalosti a staly se spolehlivým rozvodem sání, který se

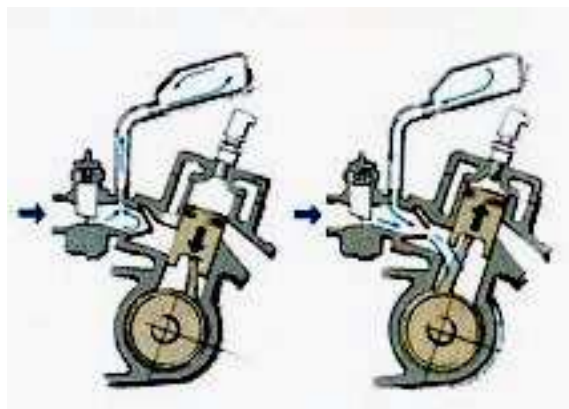
v dnešní době používá u všech výkonných dvoudobých motorů. Jedinou nevýhodou systému je odpor rámečku s membránami, které v otáčkách nad $10\,000\text{ min}^{-1}$ působí odpor v sání a vznik turbulencí. Tyto ztráty jsou však malé a má smysl je potlačit jen u závodních motorů, kde je důležitý především výkon v otáčkách.

Účinnost membránového sání lze zvýšit využitím pulzací v sání, kdy lze vhodně navrhnout objem sacího systému včetně tlumiče sání. K sacímu kanálu se připojuje potrubí s komorou určitého objemu, navrženou pro nejčastěji používané otáčkové pásmo. Při daných otáčkách pak lze s pulzační komorou dosáhnout dokonalejšího plnění využitím dynamického přeplňování setrvačným proudem směsi paliva. [4]



Obr. 18: Pohled na otevřené membránové sání při podtlaku [18]

V 80. letech bylo firmou Yamaha sání membránami doplněno pulzační nádobkou, umístěnou mezi válec a karburátor. Tento systém YEIS (Yamaha Energy Induction System) sloužil k lepší odezvě motoru po přidání plynu a cílem byl nárůst krouticího momentu v nízkých a středních otáčkách. Funkce spočívá v hromadění (indukci - odtud český název „indukční systém“) čerstvé směsi v nádobce vlivem setrvačnosti proudění plynů po uzavření jazýčkového ventilu a tato nahromaděná směs pak může být okamžitě nasána při dalším sacím zdvihu, aniž by se musela nejprve tvořit směřováním v karburátoru. [19]



Obr. 19: Indukční systém sání Yamaha YEIS [19]

3.4 Způsoby vyplachování válce

Metodika vyplachování dvoudobého motoru má zásadní vliv na výsledný výkon a krouticí moment, spotřebu paliva a množství škodlivin ve spalinách.

Výměna plynů, tj. spalin a čerstvé směsi paliva a vzduchu, probíhá u dvoudobého motoru během jednoho zdvihu, což obnáší určité problémy s ideálním vypláchnutím. Doba výplachu je relativně krátká, cca 100-130° celkové otáčky hřídele.

Pro dvoudobý motor je důležitý co nejmenší volný objem v klikové skříni, neboť čím menší objem zde bude, tím více se zde nasátá směs může stlačit a tím lépe funguje přepouštění do válce. Proto setrvačníky klikové hřídele mají válcový tvar, aby je kliková skříň mohla co nejvíce kopírovat, někdy se vkládají i mezi setrvačníky tzv. podkovy, aby se co nejvíce eliminoval i škodlivý prostor mezi setrvačníky mimo oblast pohybu ojnice. [5]

Pro míru stlačení směsi pod pístem se používá pojem „primární kompresní poměr“ a jedná se o poměr součtu zdvihového objemu a volného objemu klikové hřídele ku objemu klikové skříně.

Čerstvá směs je pak stlačována pístem v klikové skříni na tlak 0,03 MPa. Tento tlak je po otevření přepouštěcích kanálů navýšen až na 0,08 MPa, neboť spaliny se vlivem počátečního dynamického tlaku po otevření kanálů tlačí směrem do klikové skříně a ještě více stlačují množství čerstvé směsi. Jakmile píst odkryje svou horní hranou přepouštěcí kanály, stlačená směs proudí do válce a spalovacího prostoru a svým proudem vytlačuje ven zbytky spalin, jejichž přetlak již významně poklesl otevřením výfukového kanálu, přičemž výfukový kanál se otevírá o něco dříve než kanály přepouštěcí.

U dvoudobých motorů s tímto srážením se dvou typů plynů ve válci je tedy rozhodující metoda, jakou vytlačíme všechny spaliny z válce do výfuku, avšak nedojde k promísení čerstvé směsi a nevyužitelných spalin, které snižují účinnost motoru. Tento

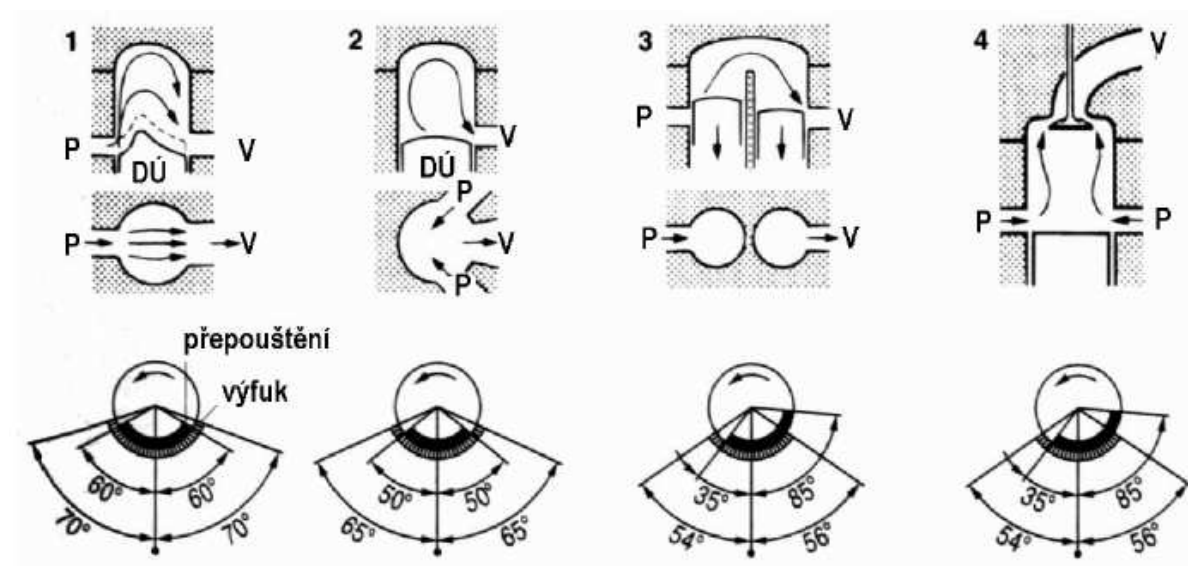
aspekt víceméně úspěšně řeší systém více přepouštěcích kanálů, které formují čerstvou směs z jejich ústí do pomyslného bloku, který vytlačí spaliny směrem k výfuku.

U nedokonalého vyplachování s primitivním výfukovým systémem s rovnou trubkou však dochází k únikům směsi do výfuku, palivo nasáté motorem není plně využito a roste spotřeba.

Narozdíl od čtyřdobého motoru, pro správnou funkci vyplachování válce směsí je důležitý protitlak ve výfukovém potrubí, který zamezí při výplachu úniku směsi do výfukového kanálu. Tento protitlak lze vytvořit konstrukcí výfukového systému s expanzní komorou, jehož kónické zúžení na konci objemové části komory odráží tlakové vlny, které se pohybují zpět směrem k válci a zatlačí úniky čerstvé směsi zpět do válce. Daný protitlak však funguje pouze pro určité relativně úzké pásmo otáček, při jiných otáčkách, než pro které je konstruováno, je protitlak menší a dochází k únikům paliva do výfuku, při větším protitlaku je do válce zatlačena i část spalin a klesá účinnost spalování. [2]

3.4.1 Příčné vyplachování

Jedná se o nejstarší způsob použitý už na prvních dvoudobých motorech s kanály. Příčné se nazývá z toho důvodu, že přepouštěcí kanál se nachází naproti výfukovému kanálu, tedy při výplachu se směs pohybuje napříč válcem směrem k výfuku. Proudění směsi ve válci je usměrňováno výběžkem na pístu, tzv. deflektorem, který musí být vyšší než výška výfukového kanálu a usměrňuje proud čerstvé směsi z jednoho či více přepouštěcích kanálů po přilehlé straně válce směrem k hlavě válce a pak dolů směrem k výfuku (obr. 19-1).



Obr. 20: Způsoby vyplachování válce [5]

Nevýhodou tohoto systému byla nízká účinnost vyplachování, kdy přes hranu deflektoru část směsi proudila přímo do výfuku. Další problémy činila velká hmotnost pístu a různá teplotní roztažnost poloviny pístu na straně deflektoru, rovněž píst neměl těžiště v ose pístu, proto docházelo k nestejněměnému opotřebení a zvýšení setrvačnosti pístu. Spalovací prostor musel kopírovat tvar pístu, docházelo ke vzniku horkých oblastí na tvarových hranách, proto vývoj spalovacího prostoru byl značně limitován. Kvůli větší masě dna pístu musela být pro větší roztažnost dna pístu volena větší vůle pístu ve válci, proto tyto motory ve studeném stavu po startu klepaly. Deflektor byl vystaven záru spalovacího prostoru, proto se o něj čerstvá směs ohřívala. [5]

V současnosti se tato konstrukce pro svoje značné nevýhody nepoužívá.



Obr. 21: Píst s deflektorem [1]

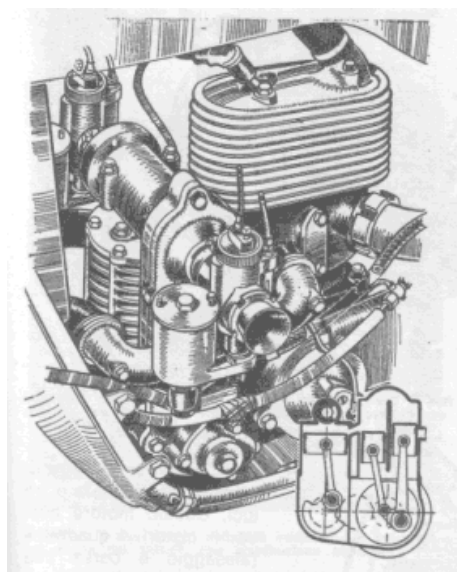
3.4.2 Souproudé vyplachování

Vyplachování se nazývá souproudé z důvodu stejného směru proudění stlačené směsi z přepouštěcího kanálu i vytlačovaných výfukových plynů. Tento způsob výplachu je typický především pro dvoupístové motory, které se staly populárními od roku 1920 pro svůj nesymetrický rozvod, neboť písty byl ve stejné rovině pouze při horní úvrati, jinak byl vždy jeden píst výše než druhý vlivem geometrie rozvidlené ojnice při otáčení klikové hřídele (obr. 19-3).

Výhodou tohoto uspořádání v té době, kromě různého okamžiku otevření kanálů vůči zavření, byl fakt, že písty nepotřebovaly deflektor, byly tedy ploché, měly vůči své ose souměrnou roztažnost, mohly být tedy ve válcích umístěny s menšími vůlemi. Čerstvá směs proudila z přepouštěcího kanálu v jednom cylindru válce, obtékala spalovacím prostorem přepážku oddělující oba cylindry. Tato přepážka tvoří u dvoupístového motoru clonu, která brání proudění směsi přímo do válce, což by u jednopístového motoru bez usměrňovacího výběžku na dně pístu jistě nastalo. [5]

Nevýhodou dvoupístového uspořádání byl nevhodný (oválný) tvar spalovacího prostoru, velká hmotnost dvojice pístů a konstrukce ojnice, která byla rozvidlená do tvaru písmena Y (motory Puch) nebo byla použita centrální ojnice a na ní pomocí čepu připojena druhá, takže soustava ojníc tvořila pohyblivý tvar písmena U (systém DKW).

Dvoupístové motory slavily úspěchy před 2. svět. válkou u závodních přeplňovaných motorů DKW 250 typ SS a ULD, což byly vodou chlazené dvoupístové jednoválce s přeplňováním pomocí pístového dmýchadla a rozvodem sání válcovým šoupátkem. [12]



Obr. 22: Dvoupístový motor DKW ULD 250 ccm s přeplňováním, model 1938 [20]

3.4.3 Vratné vyplachování

Princip vratného vyplachování je prozatím vrcholem vyplachování válce směsí, který se používá dodnes. Vyvinul jej v roce 1926 německý konstruktér Dr. Adolf Schnürle pro vznětové dvoudobé motory, avšak v roce 1932 jeho patent odkoupila německá firma DKW a po vypršení autorských práv po 2. světové válce se tento systém uplatnil ve všech moderních dvoudobých motorech.

Vytlačení spalín z válce obstarává proud čerstvé směsi z páru nebo více párů přesně směřovaných prepouštěcích kanálů, nejméně však mohou být použity dva kanály ústící ze strany výfukového kanálu, které směřují proud směsi na zadní stěnu válce, ve spalovacím prostoru se směs obrací zpátky k výfukovému kanálu - odtud název vratné vyplachování (obr. 4 a obr. 19-2).

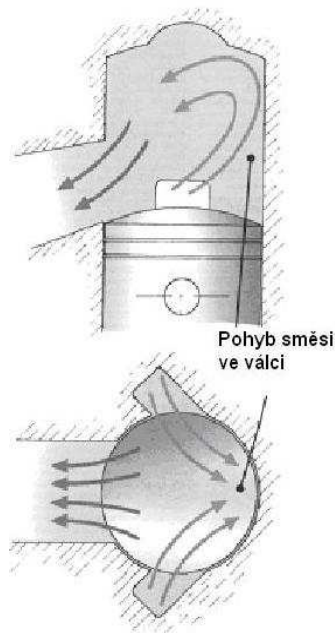
Tento systém nevyžaduje žádné zvláštní prvky na výrobu, pouze je nutné sladit páry prepouštěcích kanálů přesně proti sobě a pod úhlem směrem ke spalovacímu prostoru, aby se

vytvořila celistvá vlna směsi proudící kolmo vzhůru a nedocházelo k víření čerstvé směsi, kvůli kterému by docházelo k únikům čerstvé směsi přímo do výfuku.

Základní uspořádání se dvěma kanály bylo doplněno firmami Zündapp a Scott ve 30. letech 20. století pomocným, tzv. boost kanálkem naproti výfukovému kanálu, čímž byl hlavní proud lépe směřován a vyplachování v prostoru nad pístem se zdokonalilo.

Továrny tento poznatek rychle zúročily v závodech a japonské továrny v 60. letech vratné vyplachování zdokonalily použitím přídatných přepouštěcích kanálů, ale stále musí platit, že pravá strana válce musí být přísně symetrická s levou, tudíž je důležitá přesná výroba odlitků a frézování kanálů (obr. 21).

Vratné vyplachování přineslo výhodu mnohem dokonalejšího vypláchnutí válce směsí než u všech jiných variant výplachu, umožnilo použít píst s plochým dnem a především výrazně snížit spotřebu a zvýšit výkon, neboť čerstvá směs již takovou měrou neuniká do výfuku jako u předchozích systémů. [12]



Obr. 23: Vratné vyplachování dvoudobého motoru [3]

3.5 Výfuková soustava

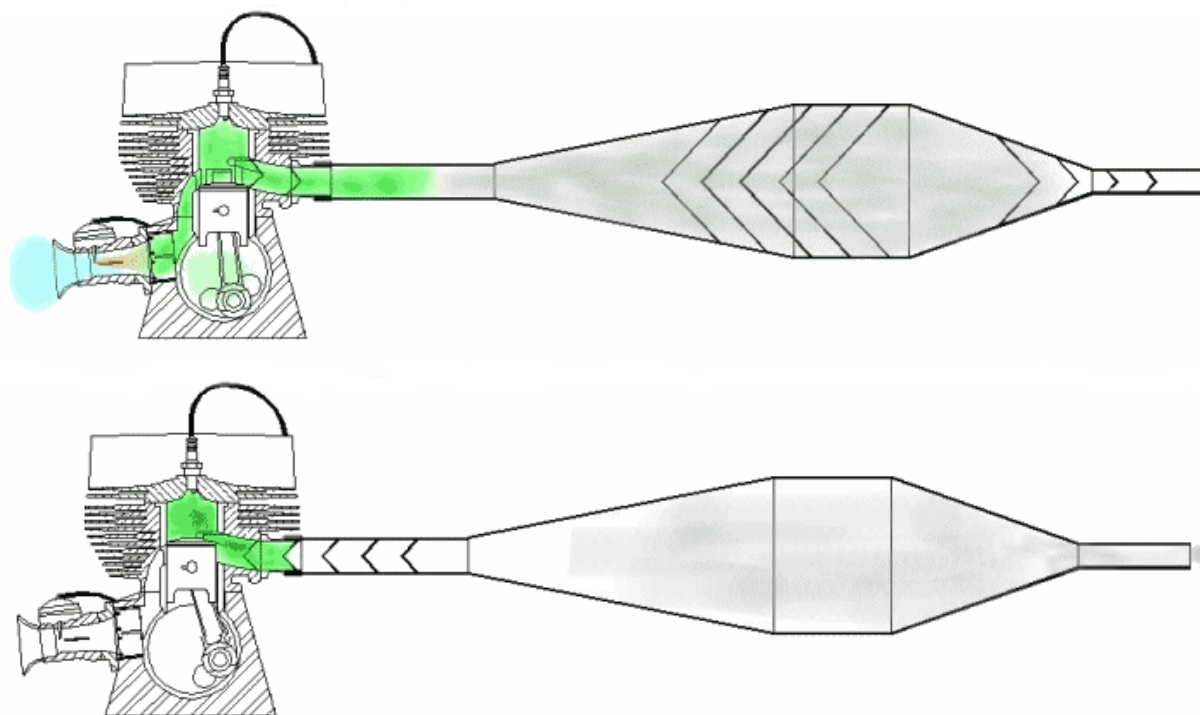
Výfukové potrubí bylo u dvoudobých motorů až do poloviny 20. století totožné s čtyřdobým, výfuková trubka s tlumičem sloužily pouze k utlumení unikajících plynů z výfukového kanálu. U klasického dvoudobého motoru část čerstvé směsi uniká při výplachu válce do výfuku, což je důvod vyšší spotřeby a menší účinnosti.

3.5.1 Laděné výfukové potrubí s expanzní komorou

Problém s únikem směsi do výfuku odstranili ve vývojových laboratořích německé DKW, kde po 2. světové válce pracovali na dalším vývoji dvoudobého motoru, neboť čtyřdobá konkurence měla stále lepší výkonové parametry a nižší spotřebu. Práce na vývoji nového výfuku se ujal konstruktér Erich Wolf.

Perspektivu shledával v řešení, jak tlakovou vlnou ve výfukovém traktu zatlačit zpět do válce unikající čerstvou směs. Zformoval proto objemnou kuželovitou komoru se strmým koncovým kuželem, která slouží k primárnímu odrazu tlakových vln směrem zpět k válci. Tato komora prokázala, že motor má lepší parametry než s obyčejnou trubkou zakončenou tlumičem. Větších úspěchů však s tímto výfukovým systémem dosáhl v roce 1951 až šéf závodního oddělení východoněmecké MZ, ing. Walter Kaaden, který s vědeckým přístupem analyzoval a zkoušel délky potrubí, úhly kuželů a průměry potrubí. Zjistil tak, že laděný výfuk ideálně pracuje jen pro určité pásmo otáček, a právě v tomto funkčním pásmu jeho laděné potrubí s expanzní komorou pracuje jako dmychadlo, který zatlačuje unikající směs výfukem zpátky do válce a motor tak stlačuje a zapaluje více směsi, než by stlačoval bez tohoto potrubí. Analýza chování tlakových vln je však i v dnešní době těžko předvídatelná, proto se s výfuky experimentovalo na brzdě a zkoušely se jednotlivé verze. Pro vysoké otáčky je vhodné kratší potrubí menšího objemu s menším průměrem trubek, naopak pro dobrý krouticí moment v nižších otáčkách je ideální větší objem komory s většími jednotlivými průměry. Existují univerzální vzorce, pomocí kterých se dají přibližně vypočítat základní rozměry, avšak jemné doladění probíhá experimentálně. Délka potrubí musí být navržena tak, aby tlaková vlna, pohybující se rychlostí zvuku 343 m/s, dorazila do výfukového kanálu přesně v okamžiku před zavřením kanálu pístem. Na obr. 24 nahoře se právě od strmé kuželovité části odrazila tlaková vlna a do výfukového potrubí uniká čerstvá směs, vyobrazena zeleně. Na spodním obrázku už tlaková vlna dorazila k válci a zatlačuje směs zpět do válce, zatímco výfukové plyny unikají z výfuku ven.

Je tedy zřejmé, že potrubí nemůže účinně pracovat ve všech otáčkách, ale je navrženo pro určité otáčkové pásmo podle použití motocyklu. Proto sportovní motocykly mají jemné odstupňování převodových stupňů, aby motor mohl pracovat v pásmu otáček, kdy je motor nejlépe plněn. [4] [1]



Obr. 24: Princip využití tlakové vlny u laděné výfukové komory [10]

3.6 Výfukové přívěry

Technologický vývoj dvoudobých motorů se stal od 60. let 20. století doménou japonských výrobců. Dvoudobý motor se stal výkonnější než čtyřdobý, avšak problémem bylo v případě vysokovýkonných motorů úzké pásmo využitelného výkonu a krouticího momentu, což bylo dáno konstrukcí výfuku, jenž zamezoval úniku čerstvé směsi do výfuku většinou pouze ve vysokých otáčkách. Proto se hledal způsob, jak učinit křivku plošší. Účinným řešením zde byly výfukové přívěry ve válci, řídicí buď horní hranu výfukového kanálu a tím pádem i rozvod motoru, nebo ovládající pomocné výfukové kanály, případně měnily objem výfukového systému připojováním pomocných rezonančních komor. [7]

3.6.1 Regulace objemu výfuku připojováním rezonanční komory

Protože pro správnou funkci vyplachování je při různých otáčkách potřeba různý objem výfukového systému, používají se oddělené rezonanční komůrky s ovládáním v závislosti na otáčkách motoru. Při nízkých otáčkách je rezonanční komora plně otevřena a navyšuje svým objemem kapacitu výfukového systému, neboť píst se v nižších otáčkách pohybuje pomaleji a proto by při objemu výfukového systému pro vysoké otáčky docházelo

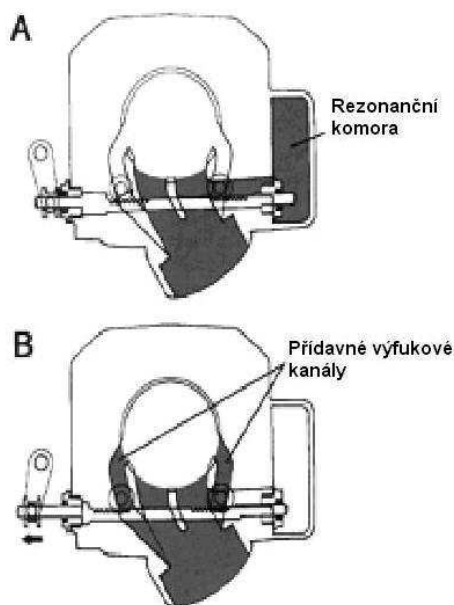
k předčasnému doražení tlakové vlny k válci a tlaková vlna by zatlačila směs do válce až příliš, takže by se do válce zpátky dostala i část výfukových plynů. Plné otevření kanálu komory zajistí dostatečný rozpínací účinek výfukových plynů a zabraňuje vniknutí čerstvé směsi do výfuku. S rostoucími otáčkami se kanál vedoucí k rezonanční komoře přivírá, takže objem komory se zmenšuje a rytmus pulzování výfukového plynu se přizpůsobuje otáčkám.

Při vyšších otáčkách je rezonanční komora úplně zavřena a motor pracuje jako klasický motor s výfukovým systémem vyladěným na vysoké otáčky.

Každá firma vyrábějící sportovní a závodní dvoudobé motory má svůj způsob ovládání:

3.6.1.1 Kawasaki KIPS

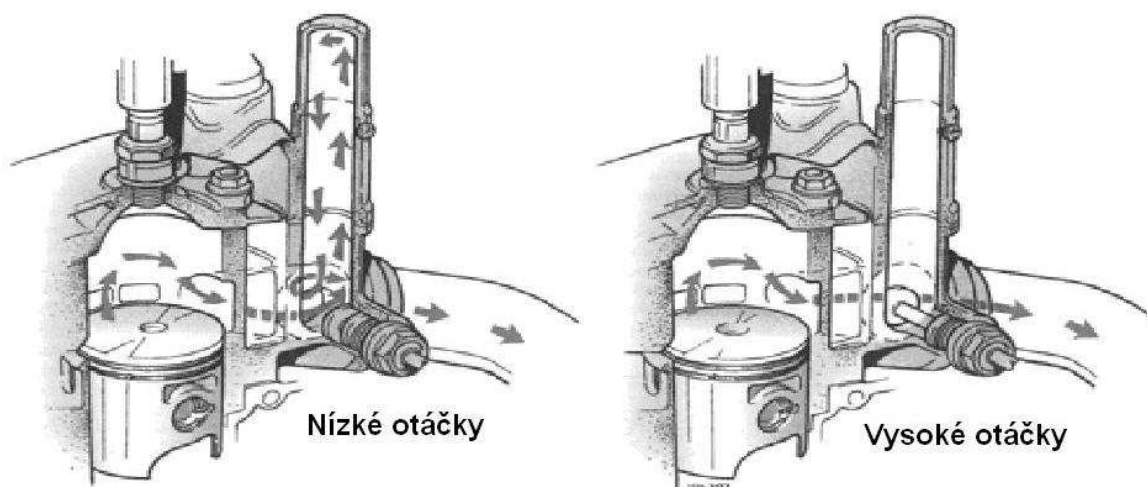
KIPS (Kawasaki integrated power valve system) – hlavní výfukový kanál je doplněn o dva pomocné kanálky, v nichž se nachází dvě svisle umístěna válcovitá šoupátka s výřezy odstředivě ovládaná pomocí soutyčí s převodem. Jeden z pomocných kanálků je spojen s rezonanční komorou, která je pro nízké otáčky plně otevřena, pomocné kanálky jsou zavřeny a motor má navíc funkční jen hlavní výfukový kanál, což prospívá průběhu krouticího momentu v nižších otáčkách. Pro vysoké otáčky je komora zavřena a pomocné výfukové kanály jsou plně průchozí, což zase svědčí vyplachování ve vysokých otáčkách. Tento systém důmyslně využíval zapojování rezonanční komory [7]



Obr. 25: Rezonanční komora Kawasaki KIPS [3]

3.6.1.2 Honda ATAC

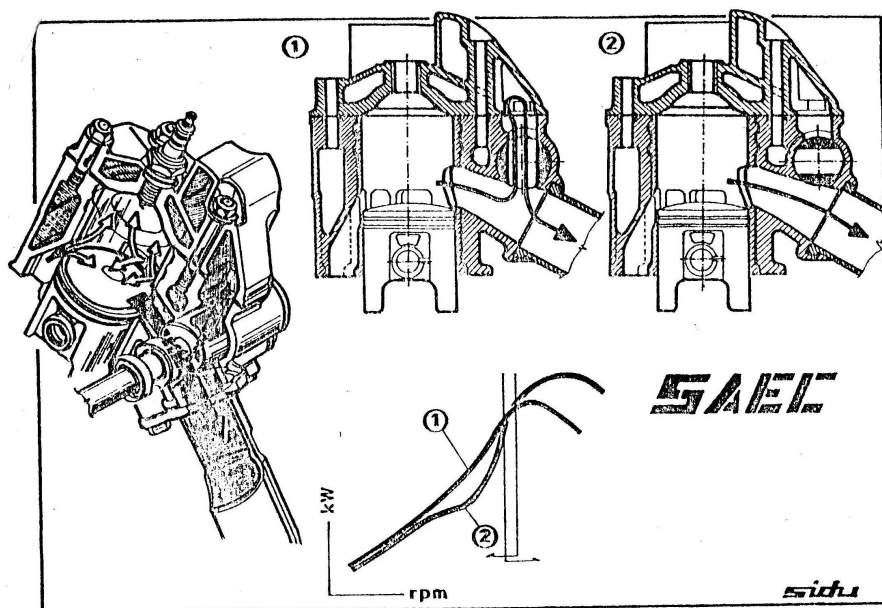
ATAC (Auto Control Torque Amplification Chamber) – rezonanční komora je umístěna vedle výfukového kanálu a s ním je propojována pomocí ventilu, ovládaného odstředivě řízeným mechanismem. Tento systém Honda používala u svých motokrosových, produkčních i závodních GP strojů. Předchozí verze používala otočnou škrticí klapku místo ventilu, avšak příliš se neosvědčila kvůli častému zanášení karbonem. [7]



Obr. 26: Rezonanční komora Honda ATAC [3]

3.6.1.3 Suzuki SAEC

SAEC (Suzuki Automatic Exhaust Chamber) – válcové vodorovné šoupátko s výřezem připojuje k výfukovému systému rezonanční komoru v dutině hlavy válce. Funkce je podobná jako u systému KIPS od Kawasaki, specialitou je ovšem ovládání přívěry pomocí servomotoru, do kterého zasílá impulsy řídicí jednotka. Graf na obr. 27 znázorňuje význam otevřené rezonanční komory. Při otevřené komoře (1) má motor plynulý průběh křivky, avšak s brzkým maximem. Nárůstem otáček vyše řídicí jednotka signál k servomotoru k odpojení komory (2) a motor pracuje s maximálním výkonem ve vyšších otáčkách. Z grafu je patrné, že k přepnutí přívěry by mělo dojít v okamžiku, kdy již motor má lepší výkonové parametry s odpojenou komorou. Skloubením silných úseků jednotlivých grafů získáme výkonovou křivku s plynulým průběhem, bez propadu v nízkých otáčkách, který by nastal u motoru bez přívěry.



Obr. 27: Schéma funkce systému Suzuki SAEC a vliv otevření na průběh výkonu [34]

3.6.2 Změna časování rozvodu regulací horní hrany výfukového kanálu

Jiným způsobem, v současnosti u sportovních motorů používanějším pro svoji vyšší účinnost, je pohyblivá poloha horní hrany výfukového kanálu ve válci. Pohyblivá hrana má velmi důležitý vliv na kvalitu vyplachování a zabraňuje velkou měrou únikům směsi do výfuku.

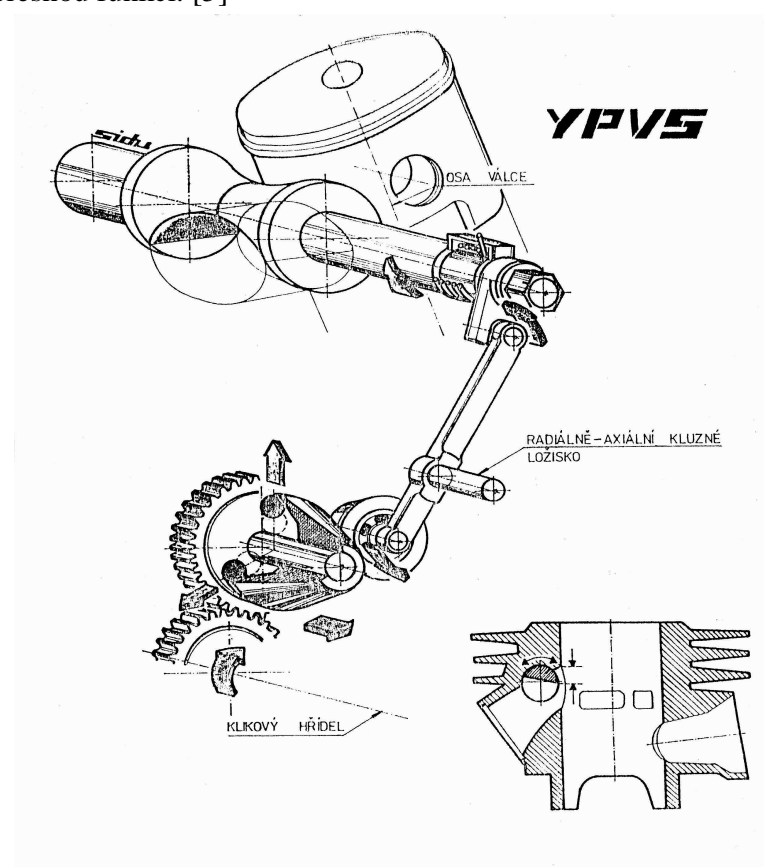
3.6.2.1 Yamaha YPVS

Vůbec první systém tohoto druhu představila v roce 1977 japonská Yamaha na svém závodním stroji YZR 500 OW 35 a hned první závod byl vítězný. V místě horní hrany výfukového kanálu bylo vodorovně umístěna válcová přívěra s výřezem ve tvaru hyperboloidu, takže výřez přívěry při natačení stále kopíruje tvar válce. Přívěra byla ovládána převodem pomocí servomotoru, který byl ovládán odstředivě, později elektronickou řídicí jednotkou. Tento systém pracoval poměrně spolehlivě a netrpěl zadíráním jako posuvné přívěry (obr. 6).

Výhodou regulace polohy výfukového je zlepšení průběhu výkonu v nízkých a středních otáčkách a odstranění úniku směsi do výfuku při výplachu válce. Při nízkých otáčkách přívěra významně sníží horní hranu výfukového kanálu, takže výfukový kanál má jen takřka poloviční výšku oproti plně otevřenému stavu, což má pozitivní vliv na krouticí

moment v nízkých otáčkách. Rostoucími otáčkami se hrana zvyšuje až do plného otevření, potřebného pro plný výkon a maximální průtok plynů z válce.

Nevýhodou výfukové přívěry je omezená životnost a nutnost údržby, neboť samotná přívěra je v přímém styku s horkými spaliny, tudíž musí být vyrobena z materiálů odolných opalování, s dobrou tepelnou roztažností a přívěru je nutno čistit od karbonu, který se na ní usazuje v průběhu činnosti motoru, neboť dochází ke spalování oleje ve směsi. Proto se při její konstrukci musí uvažovat samočisticí schopnost od karbonu, jinak dochází k zadírání přívěr a nadměrnému opotřebení ovládacím mechanismů přívěry, což způsobuje vznik vůlí a nepřesnou funkci. [5]

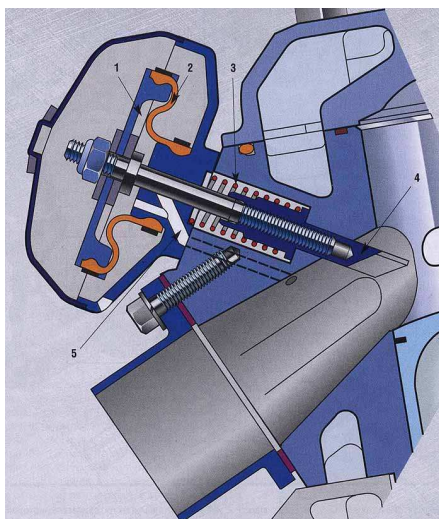


Obr. 28: Schéma funkce výfukové přívěry YPVS od Yamahy [34]

Yamaha používala přívěru válcovou, později přešla na přívěry tzv. gilotinového typu – přívěra měla tvar šikmého nože, který zajížděl směrem do válce. Další velcí výrobci preferovali především nožové přívěry, neboť byly prostorově výhodnější a kompaktnější:

3.6.2.2 Rotax RAVE

Rakouský Rotax vyvinul v roce 1986 systém **RAVE** (Rotax Advanced Variable Exhaust), kdy je posuvná přívěra ve výfuku ovládána přetlakem ve výfukovém potrubí. Kanálek vede z výfukového potrubí do komory s membránou, na které je upevněn nůž přívěry. Se stoupajícími otáčkami a rostoucím přetlakem ve výfukovém systému se přívěra nadzvedává a otevírá více průřez výfukového kanálu. Zpětný návrat zajišťuje vinutá pružina působící proti přívěře. Ovládání přetlakem z výfuku bylo později nahrazeno ovládáním servomotorem pomocí ocelové lanka, kdy servomotor otevíral přívěru a zpětný chod zajišťovala vratná pružina. [21]



Obr. 29: Výfuková přívěra Rotax RAVE s nožovým šoupátkem [21]

3.6.2.3 Suzuki AETC

Suzuki AETC (Automatic Exhaust Timing Control) – válcová posuvná přívěra je složena z většího počtu nožů: verze AETC je složena ze dvou nožů, u verze Super AETC se používají na jednu přívěru části tři, z různých materiálů o podobné teplotní roztažnosti. Funkce je podobná jako u systému RAVE, přívěra zajíždí šikmo pod úhlem do válce a reguluje horní hranu výfukového kanálu, avšak je ovládána elektronicky servomotorem pomocí řídicí jednotky a jeden válec má dvě takovéto válcové přívěry, tudíž jedna složená přívěra ovládá polovinu výfukového kanálu. Uspořádání je voleno z důvodu optimálního tvaru výřezu v přívěrách, aby přívěry kopírovaly dvoudílné oválné okno výfukového kanálu dělené uprostřed přepážkou. Suzuki tento systém používala u všech svých vysokovýkonných dvoudobých motorů včetně závodních strojů kategorie GP. [10]



Obr. 30: Trojdílná výfuková přívěra Suzuki Super AETC z motoru Suzuki RGV 250 Gamma [22]

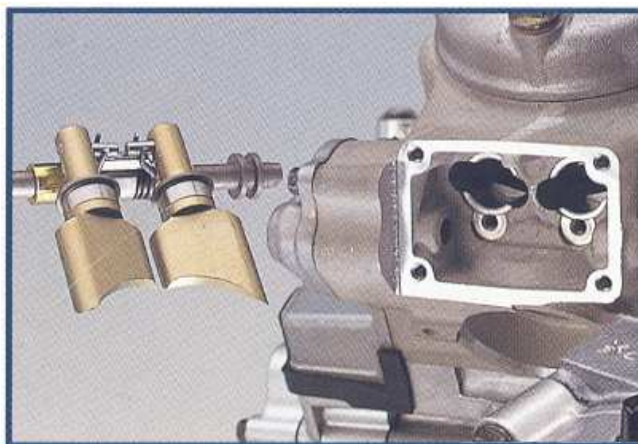
3.6.2.4 Honda RC-Valve

RC-Valve (Honda Remote Control Valve) – systém pracuje podobně jako AETC od Suzuki, pouze s tím rozdílem, že výfukový kanál ovládá dvojice jednoduchých nožových přívěr ovládaných servomotorem pomocí řídicí jednotky v závislosti na otáčkách. Tento systém byl použit u sportovních silničních strojů modelové řady NSR.

Honda dále vyvinula systém **HPP (Honda Power Port)**, který ve své první vývojové fázi ovládal pomocí škrticí klapky připojování rezonanční komory k výfukovému systému, v následující fázi už byla použita válcová přívěra podobná systému YPVS regulující horní hranu výfukového kanálu a v závislosti na otáčkách připojovala a v nízkých otáčkách odpojovala pomocné výfukové kanálky. [10]

V průběhu vývoje výfukových přívěr byly představeny i další konstrukce, avšak většinou napodobují nebo kombinují výše zmíněné uspořádání. V současnosti se u dvoudobých sportovních motorů používají především posuvná šoupátka nožového typu jako na obr. 31.

Vývoj dvoudobého motoru od roku 1998 se přesunul především do sféry motokrosových strojů a popis těchto systémů již přesahuje náplň práce. [3]



Obr. 31: Moderní nožové výfukové přívěry (Yamaha YZ 125) [34]

4 Struktura a historie šampionátu mistrovství světa silničních motocyklů

4.1 Charakteristika závodů mistrovství světa silničních motocyklů

Mistrovství světa silničních motocyklů je nejvyšší formou silničního motocyklového závodění, v současnosti vypsáno pro tři objemové kategorie: 125 cm³, Moto 2 (která nahradila dřívější dlouholetou kategorii 250 cm³ čtyřdobými stroji o obsahu 600 cm³) a nejvyšší třídou MotoGP, omezenou objemem na 800 cm³. Tyto motocykly jsou speciální závodní stroje ručně stavěné v určitém počtu kusů, využívají nejmodernější technologie bez omezení nákladů a nevycházejí se sériových strojů tak jako litrové závodní motocykly z kategorie mistrovství světa Superbike. Z tohoto důvodu tudíž nemohou být provozovány jinde než na závodních tratích. Pro motocykl je kromě nejvyššího dovoleného objemu válců předepsána nejnižší pohotovostní hmotnost celého stroje, počet válců motoru a další limity, které zajišťují vyrovnanost startovního pole a zamezují vzniku konstrukcí, které by se vzdalovaly klasickému pojetí motocyklu.

První Velká cena (Grand Prix) silničních motocyklů byla poprvé uspořádána v roce 1949 Mezinárodní motocyklovou federací (FIM – Fédération Internationale de Motocyclisme). Veřejná práva pro televizní přenosy a sponzoring od té doby vlastní asociace Dorna. Jednotlivé závodní týmy jsou sdružovány do asociace IRTA (International Road Racing Team Association) a výrobci závodních strojů hájí svá práva pod asociací MSMA (Motorcycle Sport Manufacturers Association). MSMA má právo veta v případě hlasování o technických změnách na motocyklech. Předpisy a změny v pravidlech mají na starost tyto čtyři asociace, které jsou souhrnně označovány jako „komise“.

V každé kubatuře startuje okolo dvacítky závodníků. Pozice na startu závisí na výsledku z kvalifikační jízdy (dříve více kvalifikačních jízd, tzv. tréninků), která se jede před hlavním závodem a výsledný nejlepší čas rozhoduje o nejlepším umístění na startovním roštu. Zde jsou jezdci seřazeni v několika řadách, do hlavního závodu vjíždějí z místa zařazením prvního rychlostního stupně, avšak až do roku 1987 motocykl startoval do závodu roztlačením.

V současnosti seriál sestává z 18. závodů po celé planetě, z důvodu krize byly týmy nuceny omezit tradiční páteční kvalifikace, přesto pronájem špičkového motocyklu na jednu soutěžní sezonu stojí v přepočtu 60-70 milionů korun. [23]

4.2 Historie Velké ceny (Grand Prix) silničních motocyklů

V průběhu více než 50-ti let bylo zavedeno vícero závodních kategorií, omezených objemem válců, a to 50, 80, 125, 250, 350 a 500 cm³. Od začátku závodní série v roce 1949 přibližně do poloviny 60. let patřily vítězství ve všech objemových třídách jednoznačně čtyřdobým strojům, avšak v průběhu 60. let pokročil vývoj dvoudobého motoru do fáze, kdy čtyřdobý motor zaostával výkonem. Ve třídách 50 cm³ a 125 cm³ tento jev byl patrný už od počátku 60. let, v roce 1962 získala Suzuki v kategorii 50 cm³ titul mistra světa jako první motocykl s dvoudobým motorem, v průběhu 70. let už dvoudobé závodní motory kompletně vytlačily čtyřdobé stroje ze závodních tratí a kromě experimentu továrny Honda, kdy byl vyvíjen nakonec neúspěšný čtyřdobý čtyřválcový motor s oválnými písty a 32 ventily, se až do roku 2002 výhradně používaly dvoudobé motory pro svůj vyšší měrný výkon.

Třída 50 cm³ byla pro rok 1984 nahrazena třídou 80 cm³, která se stala doménou především italských a španělských výrobců, avšak v 90. letech byla zrušena a nejnižší třídou se staly stroje o obsahu 125 cm³. V roce 1996 se také jel poslední závod motocyklů s postranním vozíkem, sidecarů.

Nejvyšší třída mistrovství světa, MotoGP (dříve tradiční 500 cm³) prošla za poslední léta velkými změnami. Od poloviny 70. let do roku 2002 se jí účastnily maximálně čtyřválcové dvoudobé nebo čtyřdobé, avšak čtyřdobé motory na výkony dvoudobých strojů by potřebovaly téměř dvojnásobný objem. Dvouválce a tříválce se také objevovaly, neboť měly nižší váhový limit a stroje mohly být při menším špičkovém výkonu lehčí, avšak maximální rychlosti čtyřválců byly vyšší a proto tyto konstrukce neměly moc šancí na úspěch. Např. v roce 2002 byl váhový limit pro dvouválce a tříválce 135 kg, pro čtyřválcové 145 kg, což činí 10 kg rozdílu, ale větší počet válců znamená také větší počet sacích kanálů (ventilů), větší množství nasáté směsi do motoru, a tím větší výkon. [6]

V roce 2002 byly výrazně změněny pravidla umožňující start čtyřdobých strojů o obsahu 990 cm³, které v té době produkovaly přibližně stejný výkon. Důvod této změny je prostý, nákladný vývoj dvoudobých speciálů již neměl žádný přínos pro sériové stroje, neboť poslední silniční dvoudobý motocykl o obsahu 500 cm³ byl vyroben od tohoto ukončení před 15. lety v roce 1987. Přestože náklady na vývoj nového čtyřdobého motoru byly obrovské, podařilo se využít přidání objemu 490 cm³ a postupem času podávaly vyšší špičkový výkon než dvoudobé pùllitry, proto se od roku 2003 ve startovním poli dvoudobé pùllitry neobjevily a jejich éra v této třídě zanikla. Od roku 2007 je objem omezen na 800 cm³ a uspořádání maximálně 6 válců, přičemž s počtem válců roste i minimální přípustná hmotnost stroje. Pro rok 2012 se plánuje návrat na litrový objem.

Rokem 2010 končí etapa dvoudobých motorů obsahu 250 cm³, spolu s nimi jezdí čtyřdobé stroje o obsahu 600 cm³ a od sezony 2011 budou závodit čistě jen čtyřdobé motory. Důvod je obdobný jako u zaniklé třídy 500 cm³ – poslední silniční 250ka byla prodána v roce

2002, a vývoj čtyřdobých motorů obsahu 600 cm³ je velmi přínosný pro využití poznatků pro vývoj sportovních silničních strojů téhož objemu, jež jsou na světě velmi populární.

V současnosti jsou dvoudobé stroje třídy 125 cm³ předepsány nejnižší hmotností stroje 80 kg, motor může být pouze jednoválcový. Na tomto stroji nemůže startovat jezdec starší 28. let nebo 25 let případně nasazení závodníka do konkrétního závodu, který neabsolvuje celý seriál mistrovství světa, tzv. nasazení na divokou kartu.

Ve třídě 250 cm³ v případě dobíhajících dvoudobých motorů je počet válců omezen na dva a nejnižší hmotnost je minimálně 100 kg. [23]

Vývoj v datech:

1949: Začátek šampionátu mistrovství světa silničních motocyklů Grand Prix

1962: Otevřena nová třída 50 cm³

1962: Ernst Degner jedoucí na Suzuki získává ve třídě 50 cm³ první titul mistra světa na dvoudobém motocyklu

1976: Jede se poslední ročník na nejslavnějším, ale i nejnebezpečnějším závodě celého šampionátu, Isle of Man Tourist Trophy, který byl vyřazen z řetězce závodů pro nevyhovující bezpečnost a častá úmrtí jezdců

1977: Yamaha YZR 500 OW35 představuje motor s proměnlivým časováním výfuku pomocí výfukové přívěry

1982: Yamaha YZR 500 OW61 poprvé použila koncepci vidlicového čtyřválce ve třídě 500 ccm, která se později stala standartem až do roku 2002

1983: Zrušena třída 350 cm³

1984: Koncern Michelin představil radiální pneumatiky pro motocykly

1987: Upuštění od startu závodu roztláčením motocyklu jezdcem

1988: Poprvé použity karbonové brzdy na závodním motocyklu, Wayne Rayney s nimi vítězí na Yamaze při VC Velké Británie

1992: Honda jako první představuje u své NSR 500 zapalování dvou válců najednou, tzv. „Big-Bang“

1993 Honda NSR 500 vybavená vstřikováním paliva překonává rychlostní hranici 320 km/h

1998: Pro závodní motocykly je předepsáno pouze bezolovnaté palivo

2002: Povolen start čtyřdobých strojů o objemu 990 cm³

2010: Poslední rok, kdy startují dvoudobé stroje v kubatuře 250 cm³, nahrazeny jsou čtyřdobými řadovými čtyřválcí objemu 600 cm³ [23]

5 Závodní motocykly jednotlivých objemových tříd

5.1 Třídy do 50 a do 80 cm³

Nejmenší kubatura bývala vždy nazývána jako „kolibří“ třída, v kalendáři mistrovství světa byla vypsána mezi léty 1962 – 1983. Od roku 1984 byl objem motoru navýšen na maximálně 80 cm³, s tímto objemem závodily motocykly nejmenší třídy až do roku 1989.

Celá éra těchto malých motorů patřila dvoudobých strojům, které ze začátku sekundovala čtyřdobá Honda, které se podařilo v roce 1965 se svým modelem RC115 získat jediný titul mistra světa pro čtyřdobý stroj v této kategorii. Tento technicky zajímavý čtyřdobý motor měl 2 válce, dva ventily na válec, devítistupňovou převodovku, rozvod DOHC a podával 15 k při 20000 min⁻¹ ačkoliv bylo možné krátkodobě točit i 23000 min⁻¹.

Stroje tříd 50 a 80 cm³ měly specifickou stavbu – úzká 18“ kola, štíhlou nádrž, vysoko umístěný motor a kapotáž tvarovanou tak, aby vzduch obtékal stroj i pod motocyklem.

V roce 1968 přišlo v platnost nařízení omezující počet válců na jeden a počet rychlostí převodovky na 6. Omezení mělo za účel vyvíjet koncepci motorů použitelných i pro sériovou výrobu a redukovat vývoj technicky zajímavých, ale příliš složitých monster. Honda i Suzuki kvůli této reguli odstoupily pro další sezony ze závodů, což umožnilo nástup mnoha později tradičních evropských značek s menšími rozpočty: Kreidler a proti němu jeho úspěšný úpravce Van Veen-Kreidler, Derbi, Jamathi (konstruovaný slavným Janem Thielem), Tomos, Morbidelli, Minarelli, Zündapp, Bultaco, Garelli, ABF, československá AHRA, dále Maico, Villa a jiní.

Třída 50ccm, i po zvětšení maximálního objemu na 80 cm³, se v 80. letech vyznačovala úspěchy španělských značek Derbi a Bultaco, které používaly kapalinou chlazené jednoválce a klasické konstrukce rámu. Proti nim stála konkurence výrobců z Německé spolkové republiky Kreidler, Zündapp a Krauser, z nichž posledně jmenovaný proslavil samonosný rám z hliníkových profilů a s tímto strojem Krauser LCR 80 získal výrobce dva tituly mistra světa. Firma Kreidler byla specialistou na malé dvoudobé motory, pro ni typický byl horizontální jednoválec s kapalinovým chlazením a sáním pomocí rotačního šoupátka. Její výkony v 60. a 70. letech jí díky 7. titulům mistra světa (budeme-li počítat i stroje závodící s úpravou holandské ladičské dílny Van Veen) řadí mezi nejúspěšnější značky této kubatury. [6]

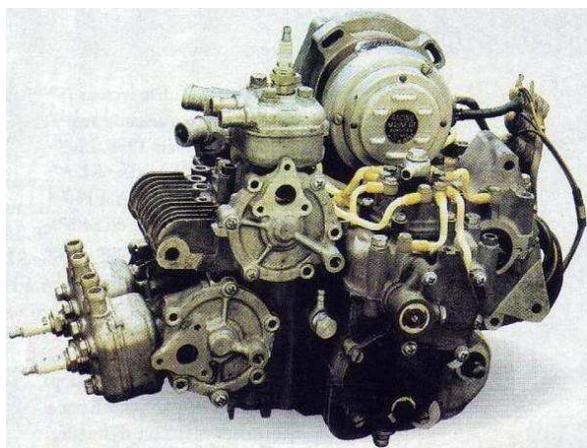
5.1.1 Suzuki 50 RP68 (1968)

Hned první ročník třídy 50 cm³ vyhrála japonská Suzuki, jejíž stroje zaznamenaly oproti sezoně 1961 pozoruhodného zvýšení výkonů u svým strojů o 50 i více procent. Bylo tomu tak díky emigraci závodníka východoněmecké MZ, Ernsta Degnera. Degner s sebou do

týmu přinesl cenné poznatky s konstrukcí rotačních šoupátek a stavbou výfukových komor, rovněž výfukový kanál otočený dozadu a použití přímého výfukového potrubí bylo z dílen MZ.

U Suzuki nastal prudký vývoj, odměněný tituly mistra světa v letech 1962-1964, 1966-1968. Právě pro sezonu 1968 byl vyvinut prototyp vidlicového tříválce s dvěma klikovými hřídeli, kdy jeden válec stál svisle a dvojice válců šikmo dolů pod úhlem 100° . Vrtání malých pístků činilo 28 mm, zdvih byl 25 mm, jednotlivý válec měl objem 16 cm^3 . Motor byl vodou chlazený a měl olejové čerpadlo, které potrubím přivádělo tlakový olej do všech kritických mazacích míst. Přípravu směsi zajišťovaly tři karburátory Mikuni VM20 s plovákovou komorou vcelku s tělesem karburátoru (tzv. monoblok), což bylo v té době neobvyklé a standardem se toto řešení stalo až mnoho let později. Spojka byla suchá vícemelová, nebyla krytá takže mohla být chlazena proudícím vzduchem. Zapalování obstarávalo magneto s bezkontaktním zapalováním Kokusan. Motor byl naladěn na výkon 19,8 k při $20\,000 \text{ min}^{-1}$, což bylo o 2 koně více než dvouválcový předchůdce. Využitelné pásmo otáček kdy motor podával výkon bylo jen velmi úzké, cca 500 otáček, proto motocykl, přestože měl 14 rychlostních stupňů, nebyl na okruhu rychlejší než jeho předchůdce. Pomalejší byly především výjezdy ze zatáček, takto naladěný motor podle testovacího jezdce potřeboval ne 14, ale 18 rychlostních stupňů, aby se dal potenciál motoru využít. Litrový výkon tohoto motoru činil 395 k/l.

Tento technický unikát však nikdy do závodů nenastoupil kvůli následné změně pravidel. [24]



Obr. 32: V3 motor Suzuki 50 RP68 [24]



Obr. 33: RP68: pístní skupina s hřídelí [24]



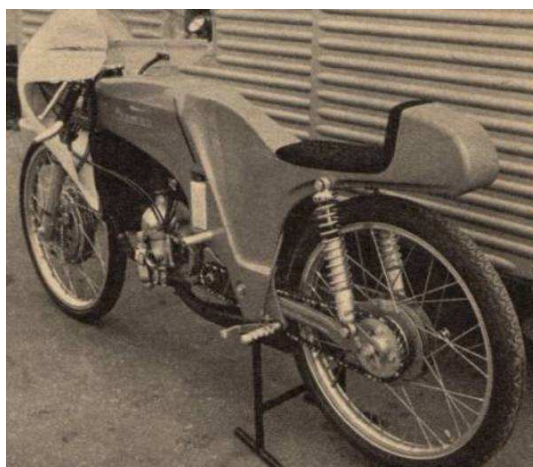
Obr. 34: Detail 14-tistupňové převodovky Suzuki 50 RP68 [24]

5.1.2 Tomos 50 (1971)

Jugoslávský Tomos přišel v roce 1971 s horkou novinkou vůbec v celém startovním poli napříč třídami, a to samonosným plastovým rámem. V pozdější době byl tento typ rámu, ať už z hliníkových plechů nebo jiného materiálu, i u jiných výrobců populární. V 80. letech tento lehký rám proslavila firma Krauser, která ve spolupráci s ladičskou firmou LCR tímto rámem vybavila v 80. letech svoje úspěšné stroje v kategorii 80 cm³.

Jednalo se o polyesterovou skořepinu monokok, která v sobě obsahovala dutinu s nádrží na 9 l paliva, otvor pro baterii, tvořila sedlo a zadní část se formovala v aerodynamické zakončení zádě motocyklu. Hmotnost tohoto rámu, bez kyvné vidlice, byla pouhých 7 kg a celý stroj vážil 55 kg. V přední části skořepiny byl zabudován kovový krk řízení pro otočné spojení s přední vidlicí Marzocchi s přední dvouklíčovou bubnovou brzdou Fontana.

Kapalinou chlazený motor s parametry vrtání-zdvihu 40 x 39,6 mm měl kompresní poměr 13:1, rotační šoupátko v sání, karburátor Dell'Orto 27 SS a podával výkon 15,5 k při 15 500 min⁻¹. Přes tak vysoké otáčky bylo stále použito mechanické kladívkové zapalování. Stroj se v sezoně 1971 umístil s jezdcem Luigi Rinauldem na celkovém 13. místě. Po dobu své existence se Tomos řadil k předním značkám startovního pole, přestože se jednalo o firmu z Východního bloku s omezenými technologickými možnostmi. [24]



Obr. 35: Tomos 50 1971 s polyesterovou skořepinou rámu [24]

5.2 Třída do 125 cm³

Tato kubatura je od roku 1990 nejnižší třídou mistrovství světa a po celou její dvoudobou éru byla výsadou především španělských a italských výrobců, kde mají silniční závody velkou tradici. Do roku 1967 bylo možno vídat na okruzích technické unikáty, neboť nebyl limitován počet válců ani rychlostí, tudíž vznikaly speciální konstrukce vzdalující se pozdějšímu použití v sériové výrobě. Pozdější stroje byly omezeny limitem dvou válců a 6. převodovými stupni.

Těsně před zavedením technického omezení oboje japonské značky, čtyřdobá Honda i dvoudobá Yamaha, byly na takovém stupni vývoje, že jejich motory produkovaly litrový výkon až 350 k/l. Protože větším počtem válců lze motor účinněji zásobit směsí paliva a díky většímu počtu válců mohla být zvětšena efektivní plocha sacích kanálů a větší celkový průřez karburátorů, počty válců rok od roku rostly, Honda používala čtyřdobý řadový pětiválec a Suzuki byla nucena držet krok vývojem dvoudobého čtyřválece s uspořádáním do čtverce a dvěma klikovými hřídeli.

V průběhu 70. let a 80. let se na scéně objevovaly stroje především jedno- a dvouválcové, nejčastěji kapalinou chlazené, s rozvodem rotačním šoupátkem. Někteří výrobci experimentovali se sáním pomocí jazýčkových ventilů, ty ale zpočátku působily ve vysokých otáčkách problémy, kdy vynechávaly a motor ztrácel špičkový výkon. Minimální hmotnost strojů byla stanovena na 60 kg, výkony motorů se pohybovaly okolo 40 k, stroje měly šestistupňové převodovky, 18“ ráfky z lehkých slitin (někteří výrobci kombinovali jedno 18“ kolo s druhým 16“ pro adekvátní jízdní vlastnosti), brzdy v průběhu 70. let přešly na kotoučové vpředu i vzadu (vpředu dvojité). Úspěšné byly japonské stroje Yamaha, Kawasaki a Bridgestone, ale v průběhu 70. let je plně vytlačily italské stroje Garelli, Morbidelli (MBA), Minarelli, Piovaticci, Aermacchi a španělské Derbi, Bultaco, Malanca.

V 90. letech na scénu pronikla do dnešních dní úspěšná italská firma Aprilia a s vývojem dvoudobých 125 cm³ motorů znovu začali též u Hondy, kde vyvinuli úspěšnou RS 125, a Yamahy, která sestrojila model YZR 250. Konstrukce motoru byla počátkem 90. let omezena na jeden válec, výkony se pohybovaly do 50 k. Podvozky těchto modelů tvoří hliníkový prostorový rám typu Deltabox, zadní odpružení zajišťuje centrální pružicí a tlumicí jednotka. Kola se zmenšily, standardní jsou 17“ ráfky, avšak lze se setkat i s půlpalcovými rozdíly oproti této hodnotě. Tuto dekádu ovládly stroje Aprilia RSW 125 a Honda RS 125.

Po roce 2000 se mistrovské tituly staly záležitostí strojů Aprilia, používající modifikované motory Rotax, a japonské Hondy. Motocykly Aprilia v této etapě závodily i pod značkami Derbi a Gilera, neboť je spolu s Aprilii vlastní motocyklový koncern Piaggio.

V současnosti je třída 125 cm³ poslední dvoudobou třídou v mistrovství světa silničních motocyklů. Pro rok 2011 nebo 2012 komise mistrovství světa plánuje nahrazení této kubatury čtyřdobými stroji o objemu 250 nebo 450 cm³, zatím je změna pravidel ve stádiu jednání.

5.2.1 Suzuki 125 RS67/68 (1967)

Z technického hlediska představuje Suzuki 125 RS67/68 jednu z nejzajímavějších konstrukcí motoru objemu 125 cm³ v celé éře třídy. Jednalo se o dvoudobý vidlicový čtyřválec s rozevřením dvojic válců 90°, s dvěma klikovými hřídeli, spojenými ozubenými koly a točícími se proti sobě. Vrtání a zdvih činilo 35,5 x 31,5 mm, kompresní poměr měl velikost 8,4:1, rozvod sání řídila rotační šoupátka na obou bocích motoru s karburátory Mikuni VM24. Spojka byla suchá a vzduchem chlazená, změna rychlostí probíhala ve 12. stupňové převodovce. Zážeh na svíčkách řídilo dvojitě bezkontaktní zapalování Kokusan s magnetem, přičemž každá kliková hřídel měla svoje zapalování pro dvojici válců. Výkon motoru činil 42 k při 16200 min⁻¹.

Podvozek používal dvojitý rám z ocelových trubek, 18“ kola vpředu i vzadu a bubnové brzdy, vpředu byla bubnová brzda dvojitá a dvojkličková. Hmotnost stroje bez paliva byla 95 kg a při závodech byla naměřena maximální rychlost 220 km/h.

Stroj se zúčastnil pouze posledního závodu v roce 1967, GP Japonska, a umístil se na druhém místě. Nasazení pro rok 1968 však bylo změnou pravidel ukončeno a značka Suzuki odstoupila z mistrovství světa. [25]



Obr. 36: Suzuki 125 V4 RS67/68 [25]

5.2.2 Aprilia RSA 125 (2007)

Tento model v poslední dekádě neúspěšnějšího závodního motocyklu třídy 125 ccm Aprilia představila v roce 2007. Motor tvořila nová kompaktní jednotka s parametry 54 x 54,5 mm se suchou vícemelovou spojkou a šestistupňovou převodovkou téměř pod klikovou hřídelí. Oproti předchozí verzi motoru RSW 125 se lišil rozvodem sání - RSW měl sání řízen jazyčkovým ventilem v sání, stejně jako konkurenční Honda. Holandský konstruktér Jan Witeveen řešil problém, jak motor naladit na ještě vyšší výkon v nejvyšších otáčkách. Jazyčkový ventil je známý tím, že podává výborné výkonové výsledky v nízkých otáčkách, protože sání probíhá přesně při podtlaku v klikové skříni, tedy kdy motor potřebuje. Ale v nejvyšších otáčkách způsobuje rámeček jazyčkového ventilu významný odpor v proudění čerstvé směsi z karburátoru a vznik turbulencí. A tento aspekt hodlal odstranit úspěšný konstruktér mnoha maloobjemových závodních strojů z 80. let, Jan Thiel, použitím rotačního kotoučového šoupátka velkého průměru, umístěného za válcem a poháněného od klikové hřídele pravouhlým převodem. Toto řešení není žádnou novinkou, představil ho rakouský Rotax a systém používají i sněžné skútry Ski Doo. Velký průměr šoupátka způsobuje prudké otevření a zavření sání, což je ve vysokých otáčkách žádoucí. Drobnou nevýhodou může být o něco menší pružnost v nižších otáčkách, daná pevně daným rozvodem, který však lze měnit podle charakteru trati, takže na trať s bez stoupání a s málo zatáčkami lze volit ostré časování pro výkon v otáčkách a slabší spodní část a na zatáčkovou trať s častými stoupáními lze zvolit tvar rotačního šoupátka s konzervativnějším časováním pro lepší průběh výkonu ve střední pásnu otáček pro rychlé výjezdy motocyklu ze zatáček. Šoupátko bylo vyrobeno z karbonového plátku. Plnění motoru probíhalo prostřednictvím karburátoru Keihin 42 mm s plochým šoupátkem.

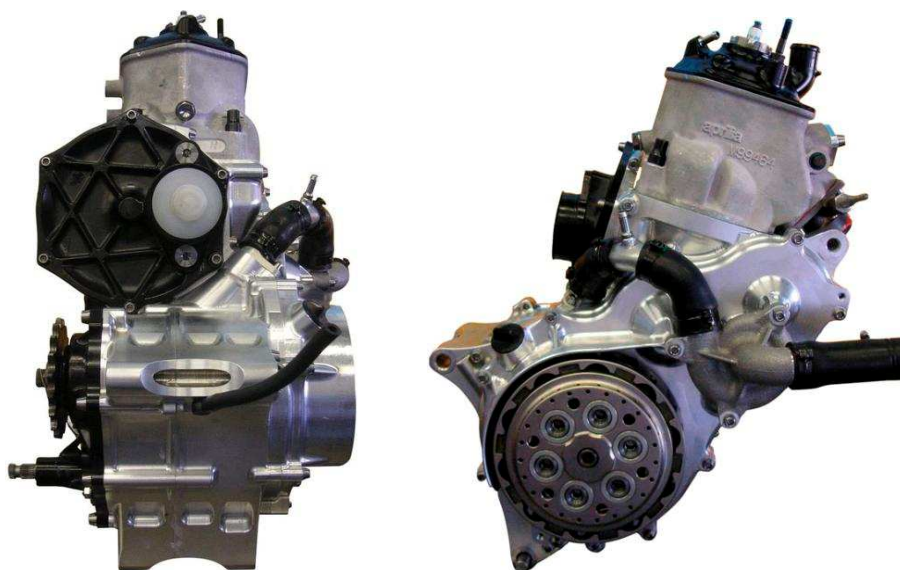
Proměnlivý rozvod výfuku zajišťovala elektronicky řízená výfuková přívěra RAVE, vyvinutá rakouským Rotaxem, který zásoboval Aprilii motory v 90. letech a z jehož motoru

tento motor stále vychází (viz str. 35). Přívěru ovládá podle otáček servomotor, který dostává podnět z řídicí jednotky. Platí že na volnoběh do cca 3000 min^{-1} je přívěra otevřená, pak je zavřená pro lepší krouticí moment a pak se otevírá ve vyšších otáčkách (okolo $10\,000 \text{ min}^{-1}$. – podle nastavení řídicí jednotky).

Chlazení motoru zajišťovalo vodní čerpadlo na pravé straně motoru, kapalina proudila do chladiče s modifikovaným tvarem.

Motor měl ve fázi ladění problémy s karburací, ty byly ale v průběhu testů odstraněny použitím většího karburátoru. Takto nově navržený motor produkoval o 3,5 k více než jeho předchůdce, což je ve třídě 125 cm^3 významný přírůstek, a motor pak měl konečný výkon 56,5 k při 13500 min^{-1} .

Aprilia jezdila v této době pod značkou Derbi i Gilera, technika byla víceméně stejná podle týmu, který tento stroj jezdil. Stroje Aprilia a Derbi, poháněné tímto motorem, získaly tituly mistra světa v letech 2008 a 2009 pilotované Mike DiMegliem a Juliánem Simónem. [26]



Obr. 37: Motor Aprilia RSA 125, pohled zezadu (vlevo) a zprava [26]

5.3 Třída do 250 cm^3

V kubatuře 250 cm^3 se datuje překonání čtyřdobého motocyklu dvoudobým v roce 1964, kdy japonská Yamaha získala první titul pro dvoudobý motor v této kategorii. V tomto desetiletí sváděla vyrovnané souboje s čtyřdobou Hondou a MV Agustou, ze soubojů vycházela dvouválcová kapalinou chlazená Yamaha se ziskem 7. mistrovských titulů mezi

lety 1964 – 1973. Následující etapa patřila kapalinou chlazenému řadovému dvouválci v rotačními šoupátky Harley Davidson-Aermacchi RR 250, což byl dvoudobý stroj vyvinutý v Itálii pod patronací amerického výrobce čtyřdobých vidlicových dvouválců. V letech 1978 – 1981 dominovala závodním okruhům ve třídě 250 cm³ japonský stroj Kawasaki se svou neobvyklou konstrukcí dvouválce KR 250 s válci za sebou ve směru jízdy a dvěma klikovými hřídeli.

Následující 80. léta patřily Hondě RS 250 a Yamaze YZR 250, 90. léta a období po roce 2000 především italské značce Aprilia, která se svými modely AF1 250, RSW 250 a RSA 250 vycházela původně z rakouského motoru Rotax, což byl vidlicový kapalinou chlazený dvouválec s válci v úhlu 90° a sáním pomocí rotačních šoupátek na straně motoru. Výkon tohoto motoru se pohyboval okolo 100 k.

V roce 2009 se jela poslední sezona strojů s maximálním objemem stanoveným na 250 cm³, nové pravidla umožnily start čtyřdobým čtyřválcovým strojům o objemu 600 cm³, které motory zásobovala výhradně značka Honda, specialista na čtyřdobou techniku. Tyto motory produkují okolo 150 k, takže nedávají dvoudobým dvěstěpadesátkám, přestože mají nižší váhový limit díky počtu válců, šanci díky mnohem lepší akceleraci. [23]

5.3.1 Kawasaki KR 250 (1979)

Japonský konstruktér Nagato Sato zvolil pro později velmi úspěšný závodní motor koncepci tandemového dvouválce, tj. motoru s dvěma válci za sebou v řadě, dvěma klikovými hřídeli a rotačními šoupátky s karburátory na jedné straně motoru. Chtěl tím docílit především úzké stavby motocyklu a co nejmenší čelní plochy motocyklu, čímž pak roste aerodynamický odpor. Jeho řešení vtipně odstranilo problém typický pro řadový dvouválec v té době obvyklý – rotační šoupátka musela být z prostorových důvodů koncepce umístěna na obou stranách motoru, takže i karburátory musely být umístěny na každé straně jednotky a dramaticky rostla šířka kapotáže, nemluvě o nutnosti umístit motor vysoko v rámu, aby při náklonech v zatáčkách nedocházelo ke kontaktu této části motocyklu s vozovkou.

Motor byl představen v roce 1974 a byl chlazen kapalinovým chlazením s čerpadlem, což v té době ještě nebylo samozřejmostí – stroje Aermacchi Harley Davidson vítězily se vzduchem chlazenými motory. Kapalinové chlazení nabízelo lepší odvod tepla z kritických míst, především hlavy válce a oblasti výfukového kanálu, což dovolovalo použít konstrukční zásahy pro vyšší výkon, např. menší vůle pístu ve válci, vyšší kompresní poměr atd.

Klikové hřídele byl spojeny ozubenými koly a ojnicí čepy byly vůči sobě přesazeny o 180°. Pozdější verze měly přesazení 360° kvůli eliminaci vibrací, kterou první verze motoru vydávala.

Ve svém prvním závodě v roce 1977 skončil motocykl těsně druhý, v další velké ceně už zvítězil a s jezdcí Korkem Ballingtonem a Antonem Mangem získal 4 tituly mistra světa v řadě mezi lety 1978 – 1981. [27]



Obr. 38: Kawasaki KR 250 mistra světa 1979, Korka Ballingtona [27]

5.4 Třída do 350 cm³

Tato kubatura byla zavedena už při vzniku mistrovství světa v roce 1949, avšak v 80. letech tato třída přestala být atraktivní pro výrobce, neboť na světových trzích byla poptávka především po strojích 125 a 250 cm³ a třída 350 cm³ se stala jakousi „mezitřídou“, proto komise mistrovství světa od sezony 1983 tuto kubaturu zrušila. V 60. letech byla tato třída díky jezdeckému obsazení populárnější než později královská třída 500 cm³.

Tak jako v jiných třídách, celá 50. a 60. léta patřila čtyřdobým strojům jako Norton, Moto Guzzi, Honda a především MV Agusta, jejichž nadvládu dvoudobé motocykly prolomily v roce 1969, kdy v jednom závodě zvítězila československá Jawa 350 V4 a v dalším japonská Yamaha TZ 350. První titul v této třídě dvoudobý motocykl získal v roce 1974, byla to Yamaha sedlaná Giacomem Agostinim. Další tituly do zrušení třídy získaly dvoudobé stroje značek Kawasaki a Harley Davidson a většinou se jednalo o kapalinou chlazené víceválcové motory s rozvodem sání rotačními šoupátky. [6]

5.4.1 Jawa 350 V4 typ 673 (1968)

Tento vrchol československé dvoudobé konstrukce použil koncepci čtyřválcce do V, což se později ve třídě 500 cm³ ukázalo jako nejlepší řešení z hlediska vedení expanzních komor výfuku, prostorového uspořádání a nízké polohy těžiště. Stroj jako jeden z prvních ve třídě 350 cm³ dokázal konkurovat čtyřdobým MV Agustám. Protože se jedná o stroj vyvinutý československými konstruktéry, bude mu věnována větší pozornost.

Vývoj stroje začal v roce 1966, tj. ještě v době, kdy na závodních tratích dominovaly čtyřdobé víceválcové motocykly japonské produkce. Omezení počtu válců po sezoně 1967 znamenalo příležitost pro dvoudobý cyklus, kdy z menšího počtu válců šlo u dvoudobého motoru získat lepší výkonové parametry.

U zrodu vidlicového dvoudobého čtyřválcce se dvěma klikovými hřídeli stála skupina konstruktérů pod vedením Jiřího Sirotky, především však ing. Zdeněk Tichý.

Byla zvolena konstrukce s dvojicí válců do V, jenž svíraly mezi sebou úhel 30°, což přinášelo kompaktnost konstrukce a snížení vibrací.

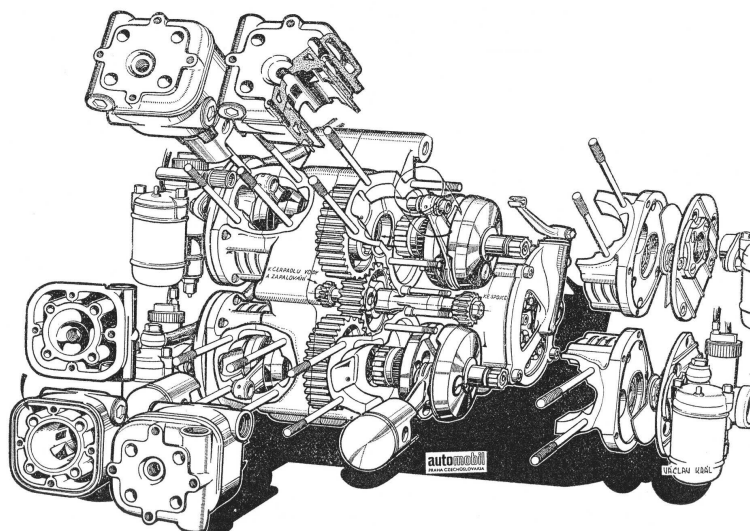
Válce a hlavy válců byly vyrobeny z hliníkové slitiny se zalisovanými vložkami ze speciální litiny, tzv. nirezistu, vrtání válce je 48mm a zdvih činí 47,6 mm, čímž je dán výsledný objem podčtvercového motoru 344 cm³. Použity byly kované písty značky Schmidt.

Dvojice klikových hřídelí byly mezi sebou rotačně propojeny vloženou hřídelí s ozubeným kolem, které zajišťovalo otáčení obou klikových hřídelí ve stejném smyslu. Tato hřídel sloužila k odběru krouticího momentu z obou klikových hřídelí motoru, přičemž toto soukolí bylo realizováno uprostřed každé dvojice válců, čímž se dosáhlo rovnoměrného namáhání klikových hřídelí. Jedna strana této hřídele poháněla vícelamelovou suchou spojku a na druhé straně hřídele bylo umístěno čerpadlo chladicí kapaliny a rotor zapalování.

Plnění směsí zajišťovaly čtyři karburátory značky Amal na pružných potrubích. Zapalování bylo vyvinuto ve spolupráci s Povážskými strojírnami, konstrukce byla bezkontaktní tyristorová, takže odpadly problémy s kladívky, a zažehnutí směsi obstarávaly svíčky značky Lodge nebo Bosch.

Každý válec má vlastní výfukový systém, dva válce spodní mají vedeny výfukové potrubí pod motorem, zbývající dva horní válce mají vyvedeny koncovky pod sedlo.

Převodovka kazetové konstrukce měla 7 rychlostních stupňů a dala se vyjmout bokem motoru bez demontáže motoru z rámu a jeho půlení v dělicí rovině, jak to bylo dříve obvyklé.



Obr. 39: Schéma sestavy motoru Jawa 350 V4 typ 673 [28]

Výkon motoru se lišil podle použitého stupně komprese, při kompresním poměru 15:1 byl výkon okolo 70 k, při zvýšení kompresního poměru na 17:1 motor produkoval 80 k při 13200 min^{-1} , samozřejmě za použití speciálního paliva. Podle použitého sekundárního převodu na zadní kolo stroj dosahoval rychlosti kolem 250 km/h, při VC Německa 1968 na Hockenheimu byla stroji pilotovanému Billem Ivym naměřena rychlost 264 km/h.

Rám motocyklu byl dvojitého otevřeného typu, svařen z chrommolybdenových trubek kruhového průřezu, odpružen vpředu teleskopickou vidlicí vlastní konstrukce s průměrem trubek 34 mm. Duralové ráfky průměru 18 palců nesly značku Cerianni a byly brzděny bubnovými brzdami, přední dvojitou dvouklíčovou o průměru 240 mm a zadní bubnovou o průměru 200 mm, alternativně s jedním nebo dvěma ovládacími klíči. Hmotnost stroje kolísala podle použitých komponent a kapotází mezi 138 až 143 kg.



Obr. 40: Jawa 350 typ 673 bez kapotáže [28]

Na motocyklu v sezoně 1968 závodil Angličan Bill Ivy, známý svým citem pro dvoudobý motor. Senzací sezony byly jeho vyrovnané souboje s dlouhá léta nepřemožitelným Italem Agostinim na čtyřdobé MV Agusta. Tento talentovaný pilot však zahynul na okruhu Sachsenring v srpnu 1969.

Po Billu Ivym převzal stroj Ital Sylvio Grasseti, jenž na stroji zvítězil na VC Jugoslávie 1969 a celkově si zajistil druhé místo v sezoně 1969.

Každý motor má svoje slabiny, problém tohoto motoru nebyla konstrukce, ale nedostatek kvalitních materiálů a technologií v celém komunistickém bloku. Při vysokých otáčkách docházelo k enormnímu namáhání jehlových ojnicích ložisek, což vedlo k zadření a následnému zablokování zadního kola, pokud nebyla včas vypnuta spojka. Právě tento problém se stal osudným i talentovanému závodníkovi Billu Ivymu.

V celém východním bloku se nenašel dodavatel, který by dokázal zkonstruovat dostatečně kvalitní jehly. Přesto se podařilo pracovníkům Jawy navázat kontakty se západoněmeckým výrobcem INA a podílet se na vývoji jehlového ložiska přímo pro použití na tomto agregátu. Bylo navrženo jehlové ložisko s dvěma řadami jehel, jež byly kratší a stabilnější. Přesto i tyto jehly stále měly stále tendenci ke zkrutnému kroucení, tzv. šroubování, a zadírání boků.

Problém bylo nutno po tragické havárii Ivyho řešit, proto bylo navrženo tlakové přídavné mazání válců a klikové skupiny olejovým čerpadlem, podobně jako u čtyřdobého motoru.

Jawa 350 typ 673 byla ve své době špičkou dvoudobé techniky a jedním z nejrychlejších strojů té doby, protože třída 350 cm³ byla v té době třídou královskou, podobně jako třída 500 cm³ o pár desetiletí později a MotoGP v současnosti. [28]

5.5 Třída 500 cm³

Nejvyšší objemová třída je dlouhá léta nazývána královskou třídou, protože je od 80. let finálním stanovištěm nejlepších jezdců, kteří vzešli z nižších tříd, a zároveň se dá označit jako výkladní skříň motocyklové technologie.

Od počátku kalendáře mistrovství světa v roce 1949 až do roku 1974 byla tato třída více než menší kubatury výsadou výhradně čtyřdobých strojů, kde poslední etapa patřila výhradně italské značce MV Agusta s legendárními jezdci Giacomem Agostinim, Mike Hailwoodem, Philem Readem a Johnem Surteesem. Tuto bariéru však v roce 1975 ukončila japonská Yamaha a dvoudobé stroje získaly převahu i v této nejvyšší kategorii. Yamaha se zasadila spolu s později nastupivší Hondou o velký rozvoj motocyklové konstrukce a v posledních letech dvoudobé éry končící v roce 2002 se na závodních tratích konaly velké souboje především mezi těmito dvěma značkami, kterými o krok dále sekundovala Suzuki, výborná v 80. letech a napadající Hondy a Yamahy v 90. letech, kdy získala titul mistra světa v roce 1993 s Kevinem Schwantzem v sedle modelu RGV 500 a v roce 2000 pilotovaná Kenny Robertsem mladším.

Výkon této nejvyšší třídy se v roce 2002, v době nahrazení této kategorie motory objemu 990 cm³, pohyboval okolo 190 k při hmotnosti strojů 130 kg. [23]

5.5.1 Yamaha YZR 500

Yamaha ukončila v roce 1973 dlouholetou dominanci čtyřdobých strojů v této kubatuře, především značky MV Agusta. Spolu s Hondou je nejúspěšnější značkou této kubatury, mezi léty 1973 a 2002 jí patří 10 titulů mistra světa a 8 titulů v poháru konstruktérů.

V roce 1973 se stroj YZR 500 OW20 pilotovaný Jarno Saarinenem hned v první svojí velké ceně umístil na 1.místě a v tomto roce skončila Yamaha druhá v poháru značek. Pro sezonu 1974 se podařilo závodnímu oddělení Yamahy angažovat dlouholetého jezdce čtyřdobé MV Agusty Giacoma Agostiniho, který proměnil svoje zkušenosti v první titul mistra světa pro stroj YZR 500 a druhý titul v poháru konstruktérů v řadě po roce 1974. [29]

10 titulů mistra světa pro Yamahu YZR 500:

1975 – Giacomo Agostini

1978, 1979, 1980 – Kenny Roberts sr.

1984, 1986, 1988 – Eddie Lawson
1990, 1991, 1992 – Wayne Rainey

Pohár konstruktérů (pohár značek):

1974, 1975, 1986, 1987, 1988, 1990, 1993, 2000

Yamaha YZR 500 byla nositelkou mnoha technických inovací jako výfuková přívěra YPVS, hliníkový rám Deltabox, koncepce vidlicového čtyřválece, karbonové přední brzdy nebo elektronicky řízené odpružení, proto bude uveden její vývoj rok po roce až do konce dvoudobé éry v roce 2002.

1973 OW20: Pro první sezonu v roce 1973 byl nasazen kapalinou chlazený řadový čtyřválec s parametry válce 54 mm x 54 mm se sáním skrz jazýčkové ventily, chrom-molybdenovým ocelovým rámem a kotoučovými brzdami na obou kolech. Stroj vycházel ze 700 cm³ stroje pro americkou sérii Daytona.. Už při debutu při VC Francie stroj vítězí s Jarno Saarinenem

1974-1975 OW23: V roce 1974 byl vyvinut motocykl speciálně pro třídu 500 ccm, stroj byl lehčí a kompaktnější s menším rozvorem než předchůdce. Byla použita vyjímatelná kazetová převodovka s hřídelí a řadicím bubnem jako jednou kompaktní jednotkou. Převodovka byla záměnná se slabším modelem pro kubaturu 250 cm³.

1976: tovární tým Yamaha se neúčastní šampionátu, přesto Johnny Cecotto se starým modelem obsadil celkovou 2. pozici v tabulce

1977 OW35: Byl představen nový motor s větším vrtáním 56 mm x 50,6 mm, čímž motoru narostly otáčky a továrna zvolila roční obnovovací cyklus svých závodních modelů. Při VC Finska byl poprvé tajně vyzkoušen převratný systém YPVS měnící podle otáček časování výfuku. Tato inovace zlepšila výjezdy ze zatáček a výrazně zkrátila časy na kolo. Rozvod sání byl proveden klasicky pomocí pístu, neboť mohly být podle předpisů výrazně zvětšeny kanály ve válcích. Dále byly provedeny úpravy rámu pro nižší aerodynamický odpor

1978 OW35K: Oficiálně představena výfuková přívěra YPVS a Kenny Roberts získává svůj první titul mistra světa vítězstvím 4. závodů z 11-ti.



Obr. 41: YZR500 OW35K s řadovým čtyřválcem a systémem YPVS, bez kapotáže [29]

1979 OW45: Konstrukce řadového čtyřválcem z minulé sezony byla zdokonalena úpravou okolí výfukového kanálu pomocí speciálního honování, čímž byla zvýšena spolehlivost výfukové přívěry YPVS, což vedlo k dalšímu titulu mistra světa pro Kennyho Robertse.

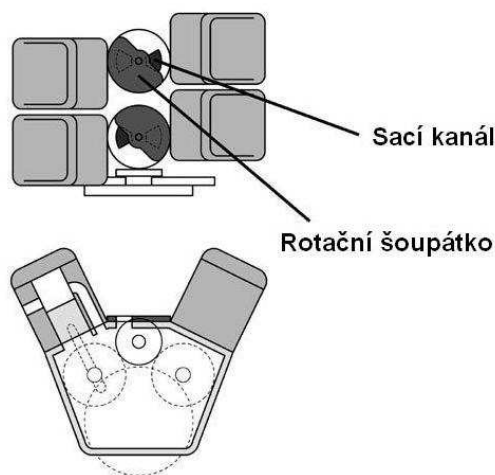
1980 OW48+OW48R: Poprvé byl použit hliníkový rám. Základ tvořily trubky čtvercového průřezu, což přineslo výraznou úsporu hmotnosti, dále byly z hliníkové slitiny třmeny předních brzd. Byly přepracovány mnohé součásti na podvozku, např. odpružení, za účelem zmenšení rozměrů a snížení hmotnosti. Pro VC Holandska byl použit typ OW48R, jenž měl znovu ocelový rám z předchozího ročníku, ale byly přemístěny výfukové kanály vnějších dvou válců směrem dozadu, což přineslo i díky lepšímu tvarování expanzních komor výfuků 7 k výkonu navíc. Kenny Roberts získal svůj třetí titul mistra světa, když v průběhu sezony třikrát vystřídal obě modelové verze.

1981 OW53: Poslední řadový čtyřválec s rozvodem pístem, většina prvků včetně hliníkového rámu se shodovala s konstrukcí předchozího ročníku. Na stroji závodil první tři závody roku 1981 Barry Sheene

1981 OW54: Vzhledem k limitům řadového čtyřválcem byl představen nový motor s koncepcí čtyř válců do čtverce s rotačními šoupátky po stranách motoru zasazen do hliníkového rámu. Rotační šoupátka byla použita pro svůj vynikající výkon ve vysokých otáčkách. Roberts vítězí ve dvou závodech a pro smůlu a problémy ve zbytku sezony končí celkově třetí.

1982 OW60: Model vychází z předchozího ročníku, byl o 6 kg lehčí. V rámu se testoval nastavitelný úhel řízení

1982 OW 61: První vidlicový čtyřválec ve třídě 500 cm³ přinesl svým uspořádáním pozdější standart v této kategorii. Úhel rozevření dvojic válců činil 60°, byly použity dvě klikové hřídele otáčející se ve stejném smyslu (obr. 33). Rozvod sání byl důmyslně řízen jedním rotačním šoupátkem pro dvojici válců a karburátory mezi válci, čímž odpadl problém s karburátory po stranách. Dalším inovativním prvkem bylo zadní odpružení s bočně umístěným tlumičem otočeným o 90°.



Obr. 42: Rozvod sání rotačními šoupátky u V4 motoru Yamaha YZR500 OW61 [29]

1983 OW70: Byl představen revoluční páteřový rám Deltabox, dílo španělského inženýra Antonia Cobase, který výrazně zvýšil tuhost mezi hlavou řízení a zadní kyvnou vidlicí a je standartem dnešních sportovních motocyklů. Zadní tlumicí jednotka byla přemístěna do spodní části rámu a místo 16“ kola vpředu bylo použito 17“, používané u současných motocyklů. Kenny Roberts sváděl úchvatné souboje s konkurentem Freddie Spencerem na tříválcové Hondě NS500, ve finále vyšel ze souboje jako druhý.

1984 OW76: Eddie Lawson získává v tomto ročníku svůj první titul. Rotační šoupátka byla nahrazena jazýčkovými ventily ze speciální pryskyřice, což přineslo uspokojivou funkci oproti starším typům

1985-1986 OW81: Vidlicový čtyřválec byl modifikován použitím dvou klikových hřídelí otáčejících se proti sobě, což přineslo odstranění gyroskopického momentu jednoduché klikové hřídele a přineslo lepší stabilitu řízení. Výkon verze pro rok 1986 dosahoval 145 k, o

5 k více než verze pro rok 1985. Eddie Lawson získává na tomto stroji druhý titul mistra světa

1987 OW86: Hlukové limity pro tuto sezonu, které omezily maximální hlukový limit ze 110 dB na 105 dB, vynutily úpravu výfukového systému – prodloužení koncové trubky. Přesto došlo k zvýšení výkonu na 148 k úpravou na motoru, zvětšeným chladičem a lepší cirkulací kapaliny. V tomto roce OW86 zvítězila pilotovaná Eddie Lawsonem a Randy Mamolou v devíti závodech a získala pohár konstruktérů

1988 OW98: U motoru došlo ke zvětšení úhlu mezi válci na 70°, aby bylo více prostoru pro rotační šoupátka (princip funkce viz obr. 33) a objemnější sací box. Obě výfuková potrubí předních dvou válců jsou od tohoto modelu vyvedena na pravou stranu stroje. Eddie Lawson získává třetí titul mistra světa a značka Yamaha třetí pohár konstruktérů v řadě za sebou. Týmová dvojka Wayne Rainey používá poprvé v soutěži Grand Prix karbonové přední brzdy.



Obr. 43: YZR 500 OW98, mistr světa 1988 s Eddie Lawsonem [29]

1989 OWA8: Tento model přišel s plnohodnotným systémem sbírání informací z čidel na motoru i podvozku a umožnil tak získávat informace pro další vývoj a optimální nastavení stroje. Senzory snímaly otáčky motoru, teploty ve spalovacím prostoru včetně detonací, rychlost stroje, úhel zatočení řízení a ponoření vidlice.

1990 OWC1: Byly uplatněny poznatky z data-recordingu, zavedeného předchozí sezonu, výkon se zvedl o dalších 5 koní a Wayne Rainey získává svůj první titul mistra světa a továrna pohár konstruktérů. Yamaha poskytla evropským konstruktérům některá data rámu a

motoru pro simulaci a to umožnilo vstup soukromým týmům na scénu s netovárními stroji (tj. jsou to stroje, které nejsou podporovány výrobcem a nepoužívají nejnovější vyvinuté komponenty, ale obvykle jsou po sezoně nabídnuty soukromým týmům, které je mohou dovybavit továrním kitem a modernizovat) jako Harris Yamaha.

1991 OWD3: Poprvé bylo na motocyklu použito elektronické řízení tuhosti odpružení CES (Electronic Control Suspension) vyvinuté ve spolupráci se švédským výrobcem pružicích jednotek Öhlins. Systém používá samostatnou řídicí jednotku, která podle přednastavených map podle snímače ponoření vyhodnocuje jízdní situaci a dává impuls do selenoidového ventilu v tlumicí jednotce, kde reguluje průtok tlumicí kapaliny. CES umožňuje aktivně reagovat na danou jízdní situaci, rychle nastavit tuhost podvozku podle požadavků jezdce a na externím počítači analyzovat nasbírané data a upravovat charakteristiku. Wayne Rainey získává svůj druhý titul mistra světa

1992 OWE0: Yamaha od poloviny sezony používá simultánní zapalování „big-bang“, kdy vždy dva válce do kříže čtyřválců jsou zapalovány současně a v 90° odstupu oproti předchozímu modelu, kdy dva válce zapalovaly současně a další dva po 180°. Přineslo to zlepšení trakce zadního kola při nižších a středních rychlostech. Poprvé byly nabízeny motory k prodeji soukromým týmům, které si stavěly svoje podvozky. Wayne Rainey získává svůj třetí titul mistra světa.



Obr. 44: Yamaha YZR 500 mistra světa 1992, Wayne Raineyho ve svém typickém zbarvení [29]

1993 OWF2: Představen nový rám z hliníkových výlisků, zabraňující ohýbání rámu při stále větším výkonu motoru a rychlostech. K hlavní části rámu byly přivařeny tři pomocné části. Výkon motoru skočil o rovných 10 k proti minulé sezoně na 170 k.

1994-1995 OWF9: Byla upravena aerodynamika kapotáže, zesílen rám, a pro rok 1995 bylo evropskou pobočkou Yamahay, firmou Aactiva v Londýně, vyvinuto náporové sání „Ram-Air“, které mělo fungovat ve vyšších rychlostech jako přepřehování

1996 OWJ1: Byl představen nový motor, kdy zůstala stejná koncepce, ale vrtání a zdvih bylo upraveno z původní výrazně podčtvercové charakteristiky na čtvercových 54x54 mm. Bylo to zvoleno z důvodu lepšího plnění ve vysokých otáčkách tohoto motoru s náporovým sáním. Pokrokový byl materiál pístů, píst byl vytvořen ze spékaného prášku, měl výborné vedení tepla a nízkou roztažnost. Norick Abe s tímto modelem o 2 sekundy zlepšil traťový rekord na VC Japonska

1997 OWH0: Rozevření válců bylo dále navýšeno na 75° pro použití objemnějšího boxu sání. Ve válcích byly použity výfukové kanály ve tvaru „T“ místo klasických dvou nebo tří okének a hnací hřídel byla umístěna výše pro zvýšení stability řízení.

1998-1999 OWK1: Přepisy pro tuto sezonu zavedly použití bezolovnatého benzínu s maximálně 100 oktany. Rozevření motoru se vrátilo na 70°, kvůli použití bezolovnatého paliva musely být přepracovány spalovací prostory a upravena komprese, pozměněn byl tvar výfukových komor, dodavatelem karburátorů se stal Keihin místo předchozích Mikuni. Na kapotáž stroje Maxe Biaggiho byly v roce 1999 na zkoušku připevněny přítlačná křídélka, která měla zvýšit přítlak předního kola, avšak pro problémy se stabilitou byly v půli sezony sejmuty. Druhým jezdcem Yamahy byl Carlos Checa

2000 OWK6: Na tomto modelu proběhly inovace předchozího modelu OWK1 v konstrukci válců, hlavě válců a výfukovém potrubí. Yamaha YZR500 v této sezoně třikrát zvítězila pod rukama Garry McCoye, dvakrát Maxe Biaggiho a jednou Noricka Abeho. Proto získala v tomto roce Yamaha pohár konstruktérů.

2001 OWL6: Byly modifikovány válce, hlavy válců, upravena funkce YPVS výfukové přívěry a změna map zapalování za účelem zvýšení akcelerace a maximální rychlosti. Podle požadavku jezdců bylo v závodech použita kratší nebo delší zadní kyvná vidlice



Obr. 45: Yamaha YZR 500 OWL6 pro rok 2001, bez kapotáže [29]

2002 OWL9: Poslední, 28. ročník tohoto úspěšného modelu se vyznačoval posunutím těžiště více dopředu za účelem posunu hmotnosti motocyklu pro účinnější dvojitou přední brzdu. Olivier Jacque získal první místo na startu VC Německa, ale dále už byly dvoudobé stroje pokořeny výhodou dvojnásobného objemu čtyřdobých strojů a výkonově začaly ztrácet, což způsobilo logicky nahrazení dvoudobých pětistovek čtyřdobými stroji objemu 990 cm³. Konec dvoudobého čtyřválcového YZR500 v šampionátu GP500.

5.5.2 Honda NSR 500

Honda NSR 500 je za svoji kariéru od roku 1984 do roku 2002 s 11. tituly mistra světa a 112. vítězstvími v závodech vůbec nejúspěšnějším dvoudobým závodním motocyklem v novodobé éře mistrovství světa napříč kategoriemi.

Honda byla považována od svého nástupu na světové okruhy v roce 1959 specialistou na čtyřdobé motory, její víceválcové motory se vyznačovaly skvělými konstrukčními nápady, ale nástup dvoudobých strojů a jejich prudký rozvoj v 70. letech způsobil, že parametry strojů této značky zaostávaly za výkony konkurenční dvoudobé Suzuki i Yamahy.

Revoluční zbraní proti dvoudobým motorům, po odchodu Hondy ze světových tratí v roce 1967, měl být vysokootáčkový čtyřválec NR 500 s oválnými písty, 32 ventilů, dvěma svíčkami na válec a 8 ojnícemi, avšak tato konstrukce trpěla problémy, neboť byla příliš nabitá novinkami, které nebyly důkladně otestovány a nejlepším výsledkem po sérii poruch a pádů jezdců tak bylo 13. místo v roce 1981.

Pro sezonu 1982 se Honda rozhodla porazit protivníky jejich zbraní a vyvinula vidlicový dvoudobý tříválec NS 500 o výkonu 130 k, se kterým v sezoně 1983 s Freddie Spencerem v sedle získala jak mistrovský titul tak pohár konstruktérů. Stroj byl slabší než konkurenční Yamaha, ale měl lepší podvozek a tím se výkonovou ztrátu podařilo eliminovat. [30]

Nedostatek výkonu proti konkurenci technici závodního oddělení HRC (Honda Racing Corporation) vyřešili pro rok 1984 koncepcí vidlicového čtyřválece s úhlem 90° s jednou klikovou hřídelí za účelem nízkých ztrát třením v ložiscích, kompaktnosti motoru a nízké hmotnosti proti dvouhřídelovým čtyřválcům. Rozvod sání do klikové hřídele byl realizován pomocí jazýčkových ventilů. Výkon činil 140 k při 12500 min⁻¹.

Novinkou bylo umístění nádrže pod motorem, aby nad motorem místo nádrže mohly být vedeny výfukové komory ze zadní strany otočených válců řadového čtyřválece. Karburátory tedy byly umístěny v přední části motoru, palivem je zásobovalo palivové čerpadlo, neboť nádrž umístěna pod motorem nedovolovala tok paliva samospádem jako u běžné koncepce nádrže nad motorem. U přední vidlice byl použit nový systém vidlice zvaný upside-down, kdy pružina a tlumicí systém je umístěn ve spodní části vidlice – kluzáku. Použit byl masivní rám z hliníkových profilů s motorem umístěným níže pro vyšší přesnost řízení.



Obr. 46: Umístění výfukové soustavy místo nádrže u Hondy NSR 500 1984 [30]

V úspěšném roce 1985 získává Freddie Spencer další titul mistra světa jak na NSR 500, tak v kategorii 250 cm³ na Hondě NS250 a získává dohromady 14 vítězství a pro Hondu dva poháry konstruktérů. NSR 500 má v tomto roce výkon 150 k.

V sezoně 1986 nastal problém, že stroj měl tolik výkonu, že se nedal řídit. Měl prudký náběh výkonu, vibroval a špatně se řídil, proto týmová dvojka Wayne Gardner po zranění Spencera těžce vybojoval celkové druhé místo v sezoně. Bylo nutno zavést opatření, jak výsledných 150 koní v motoru přenést na trať bez prokluzu zadního kola a učinit stroj pro jezdce ovladatelný.

Proto bylo pro rok 1987 bylo zvoleno rozevření vidlicového čtyřválce na 112° pro více místa pro čtveřici karburátorů Keihin $\varnothing 36$ mm a objemnější sací komoru, v motoru přibyl vyvažovací hřídel otáčející se v opačném smyslu než kliková hřídel. Výkonová křivka byla napřímena pomocí elektronicky řízené výfukové přívěry RC-Valve (str. 33), tím motoru přibyl výkonu v nižších otáčkách a nástup výkonu ve vysokých otáčkách nebyl tak prudký jako dříve. V tomto roce NSR 500 získává s Wayne Gardnerem další titul mistra světa a značka získává pohár konstruktérů.

V roce 1989 přišel do továrního týmu konkurent od Yamahy Eddie Lawson a získává pro Hondu další titul mistra světa. Jeho verze motoru měla výkon 165 k při 12000 min⁻¹. Přesto technici Hondy řešili velké problémy s ovladatelností stroje, kterého i zkušení jezdci jako Lawson měli problém na výjezdech ze zatáček uřídít. To byl také jeden z důvodů, proč Eddie Lawson odešel zpátky k Yamaze. I kvůli tomuto jevu se tento model stal pro fanoušky mistrovství světa synonymem syrové síly závodního dvoudobého stroje.



Obr. 47: Stroj Eddieho Lawsons, Honda NSR 500 rok 1989, v typických barvách Rothmans [30]

Sezona 1990 je ve znamení novinky, která má za úkol učinit přemotorované 170koňové monstrum z předchozího roku říditelné. Dřívější zapalování čtyřválců probíhalo

jednotlivě a pravidelně, tj. s každou otáčkou klikové hřídele o 90° byl zapálen jeden ze čtyř válců, kdežto u big-bangu zapálí každých 180° zároveň jedna dvojice válců. Toto uspořádání zapalování nebylo navrženo za účelem zvyšování výkonu, ale hlavní význam spočívá ke zlepšení trakce zadního kola, kdy na zadní pneumatiku motor přenáší menší, i když silnější počet torzních kmitů způsobených polovičním počtem zážehů. Jednoduše řečeno, pneumatika zadního kola má při dvou silných zápalech za otáčku více času znovu získat adhezi s asfaltem než při krátce po sobě jdoucích čtyřech. Tato inovace měla za cíl výrazně zlepšit akceleraci především ze začátek, což bylo splněno, i když V4 motor tím sám o sobě nemohl být dynamicky vyvážen, což odstranila upravená vyvažovací hřídel. Přesto ještě nebyl motor natolik ovladatelný jak technici čekali, při výjezdu ze zatáček hrozilo nepozornému jezdcovi vyhození se sedla, tzv. highsider.

Další inovace se dotkla hmotnosti stroje, byla použita titanová slitina na části rámu a pro stavbu expanzních komor výfuků, čímž se dosáhlo snížení hmotnosti o 15 kg na 115 kg, minimální povolenou hranici, navíc tím byla zvýšena pevnost rámu.

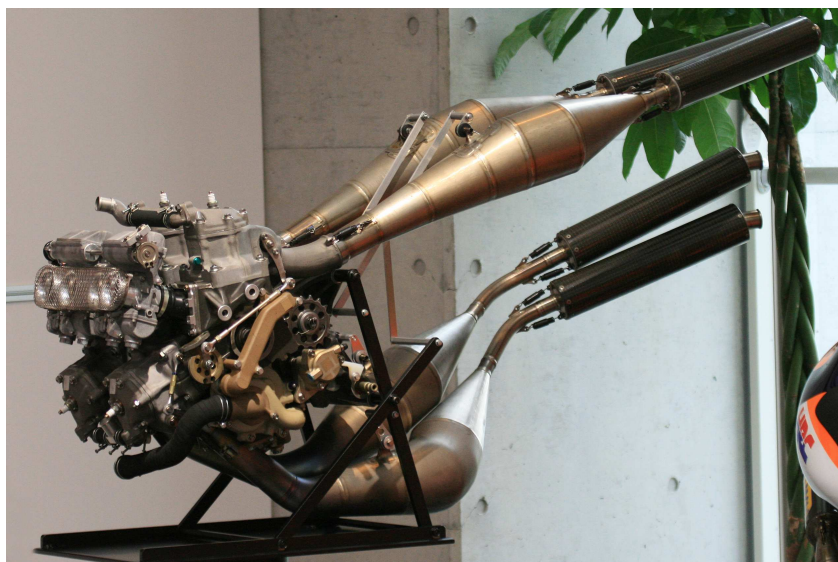
V roce 1992 byla představena druhá generace simultánního (současného) zapalování, nazývaná Big-Bang. Tato revoluční verze zapálí současně 2 válce, po 68° otáčky klikové hřídele jsou najednou zapáleny další dva válce a cyklus se opakuje až po 292°, čímž je dokončena celá otáčka klikové hřídele. Tento druhá generace Big-Bangu přinesla motocyklu výrazné zlepšení trakce zadního kola s asfaltem a stroj konečně přestal být postrachem pilotů. Tento typ motoru bylo obtížné řídit v deštivém počasí, přesto s ním Mick Doohan, nová posila továrního týmu, hned v prvním závodě sezony zvítězil. Doohan se ale tento rok ošklivě zranil, přesto jiní jezdci na stroji zvítězili v sedmi z 13. závodů. Následující rok 1993 byl ve znamení nahrazení karburátorů za elektronické vstřikování PGM-FI, které přineslo zvýšení výkonu na 170 koní, díky čemuž maximální rychlost stroje přesáhla 320 km/h. Avšak později se prokázalo, že soudobé vstřikování nepracuje lépe než karburátory, proto byly další rok použity zase karburátory. Důvod byl ten, že pro závodní použití, kde není příznivá spotřeba ani nízké množství škodlivin ve výfukových plynech, karburátor podával stejný výkon při mnohem nižší hmotnosti. Dalším problémem byla příliš rychlá odezva motoru na polohu plynové rukojeti daná konstrukcí elektronicky řízeného vstřikování se škrticí klapkou místo karburátorového šoupátka, což jezdcům působilo problémy.[30]

Inženýři závodní divize HRC vyvinuli pro rok 1994 vodní vstřikování do výfukových komor, které zdokonalilo plnění spalovacího prostoru směsí v nižších otáčkách díky změně tlakových poměrů ve výfukovém potrubí při odpařování vody. Další inovací bylo elektronicky řízené odpružení zadního kola. Zotavujícímu se Doohanovi byla přemístěna zadní nohou ovládaná brzda na pravé řídítko vedle spojky a s takto upraveným motocyklem zvítězil v 9. ze 14 závodních podniků a vybojoval jak titul mistra světa, tak pohár konstruktérů. Tímto začala série 5. mistrovských titulů v řadě, kterou Mick Doohan na Hondě

NSR až do roku 1999, kdy zanechal závodění a titul po něm pro Hondu NSR 500 vyjel Alex Crivillé. Ve všech těchto letech Honda získala i pohár konstruktérů.

V roce 1995 bylo představeno nové aktivní zadní odpružení a zařízení, které zabraňovalo při startech stavění se motocyklu na zadní kolo (tzv. wheelie).

Tovární jednička týmu, jezdec Mick Doohan doslova zakázal inženýrům větší změny v dalším vývoji motocyklu, přesto si Honda NSR 500 bez problému pohlíkala jak titul mistra světa, tak pohár konstruktérů až do roku 1999. V roce 1997 díky velkému pokroku ve vývoji pneumatik se továrna vrátila k zapalování typu „Screamer“, tj. zapalování dvojic válců s pravidelným odstupem 180°. Jakkoliv v roce 1990 činila trakce s tímto zapalováním problémy, v tomto roce už pneumatiky dovolily použití tohoto typu zapalování bez nervózního chování motocyklu. Sezona 1997 byla pro Hondu NSR 500 nejúspěšnější v historii, zvítězila ve všech z 15. závodů v seriálu mistrovství světa. Výkon tohoto typu činil 185 k při 12000 min⁻¹.



Obr. 48: Sestava motoru s výfukovým systémem Honda NSR 500 1997 [31]

Poslední titul zajel na NSR 500 Valentino Rossi v roce 2001, zvítězil v 11. závodech ze 16. Pro rok 2002 byl povolen start čtyřdobých motocyklů, Honda proto vyvinula souběžně s NSR 500 nový motor RC211V, který její dvoudobý předchůdce nikdy na závodním okruhu neporazil, neboť tento nový motor měl díky dvojnásobnému objemu okolo 200 k, v současnosti mají stroje kategorie MotoGP výkon okolo 240 k při suché hmotnosti okolo 150 kg.

Honda NSR 500 představovala v 90. letech stroj téměř bez konkurence, o čemž svědčí 54 vítězství Micka Doohana na tomto modelu mezi léty 1990 – 1998. [30]

6 Budoucnost a perspektivy dvoudobého motoru

Dvoudobý motor zažil v 60. letech 20. století velký vývoj směrem ke zvyšování výkonu a jeho použitelnosti napříč otáčkovému spektru. V 70. letech začaly ve světě, především v USA, platit první ekologické limity. Do té doby byly u silničních motocyklů velmi populární sportovní velkoobjemové dvoudobé motory o obsahu 750 cm³, jejichž prodej podporovaly úspěchy dvoudobých strojů v kategorii Superbike, které se účastnily závodní motocykly stejného zdvihového objemu. První ekologické normy platné v USA tyto motory již přestávaly plnit a výrobci tedy začali vyrábět sportovně laděné čtyřdobé modely. Dvoudobé motory o objemu pod 500 cm³ však první ekologické předpisy plnit dokázaly, částečně i díky nižšímu objemu a tedy nižšímu množství spáleného oleje. Další omezení přišla v 90. letech, kdy byla v Evropě v roce 1992 zavedena ekologická norma Euro 1. Pro plnění norem Euro 2 a Euro 3 musely dvoudobé motocykly být vybaveny katalyzátorem výfukových plynů, což mnohé motocyklové výrobce odradilo a především japonské výrobci se začali i v těchto maloobjemových třídách orientovat na čtyřdobou techniku, za cenu mnohem nižšího výkonu a dražší konstrukce motoru. Dvoudobé silniční motocykly pro použití na pozemních komunikacích západních trhů se v současnosti vyrábí pouze ve třídách 125 cm³ a menších. Prodej posledního vysokovýkonného silničního stroje kubatury 250 cm³ byl ukončen v roce 2002 - byla to Aprilia RS250, replika úspěšného závodního stroje z GP silničních motocyklů, třídy 250 cm³.

I když současný světový trend prosazuje čtyřdobý motor jakožto ideální pohonnou jednotku pro ekologickou budoucnost a v očích laické veřejnosti je použití dvoudobých motorů předurčeno použitím v zahradní technice, dvoudobý motor vybavený přímým vstřikováním paliva se už osvědčil u sněžných a vodních skútrů a v této oblasti je dále vyvíjen.

Tento systém přímého vstřiku paliva do válce vyvinula v 90. letech australská firma Orbital Engine Company speciálně pro dvoudobé motory. Ve svých počátcích sestrojila automobilový motor, který produkoval podobný výkon jako srovnatelný tehdejší čtyřdobý motor, měl podobnou spotřebu, avšak vážil o 100 kg méně, vykazoval nižší vibrace a výrobní náklady byly nižší o 300 – 500 dolarů. [33]

Systém se vyznačuje důmyslným řešením, jak pomocí relativně nízkého tlaku palivového čerpadla dokonale rozprášit během kompresního zdvihu ve válci palivo na dokonale vznítitelné částičky pomocí stlačeného vzduchu, který se do válce vstříkuje spolu s palivem. Jako jeden z prvních motocyklových výrobců tento systém licenčně koupila Aprilia a nabízí jej ve svém skútru SR 50 pod názvem DiTech.

Pro výplach motoru je u tohoto systému použit pouze čistý vzduch. Ložiska klikové hřídele, ojnicí a pístní čep a plášť válce jsou mazány tlakovým olejovým čerpadlem řízeným elektronicky v závislosti na otáčkách a zatížení motoru. Při expanzi je stlačován pouze čistý vzduch bez paliva, a v okamžiku kdy píst uzavře výfukový kanál, vstřikovací jednotka

vstříkne do válce rozprášenou směs paliva. Tímto krokem byl odstraněno míšení směsi paliva s výfukovými plyny a jejich únik do výfukového kanálu, což kromě vyšší spotřeby vede k enormnímu zhoršení kvality spalin. Dalším přínosem tedy je oddělení mazacího média od paliva, takže do spalovacího prostoru je pohybem vzduchu unášeno pouze minimum oleje z klikové skříně oproti směsi paliva s olejem, kdy kapičky paliva unášely olej s sebou.

Rozprášení paliva na částice o velikosti 50 mikronů zajišťuje vzduchový kompresor poháněný klikovou hřídelí, vyvíjející tlak 500 kPa a mazaný přímo motorem. Tlakový vzduch se v komůrce vstřikovací jednotky mísí s palivem dávkovaným vstřikovačem, který je konstrukčně téměř shodný s automobilovým vstřikovačem a takto je zajištěna dostatečná ionizace směsi, aby mohla dokonale prohořet, přitom palivové čerpadlo pracuje s tlakem 600-800 kPa. Regulaci tlaku paliva zajišťuje podobně jako u vstřikování čtyřdobého motoru palivový regulátor.

Množství dávkovaného paliva určuje elektronická řídicí jednotka (ECU), která sbírá data z jednotlivých čidel, a to snímač polohy škrticí klapky TPS, snímač otáček a snímač zatížení. Otáčky motoru jsou regulovány škrticí klapkou, sání probíhá přes jazýčkový ventil.

DiTech umožnil snížit spotřebu oleje oproti klasickému skútru o 60 %, úsporu paliva až 40 %, přičemž díky lepšímu využití paliva se zvýšil i o 15 % výkon motoru. Schéma systému ukazuje obr. 50 a srovnání produkovaných škodlivin obr. 49.

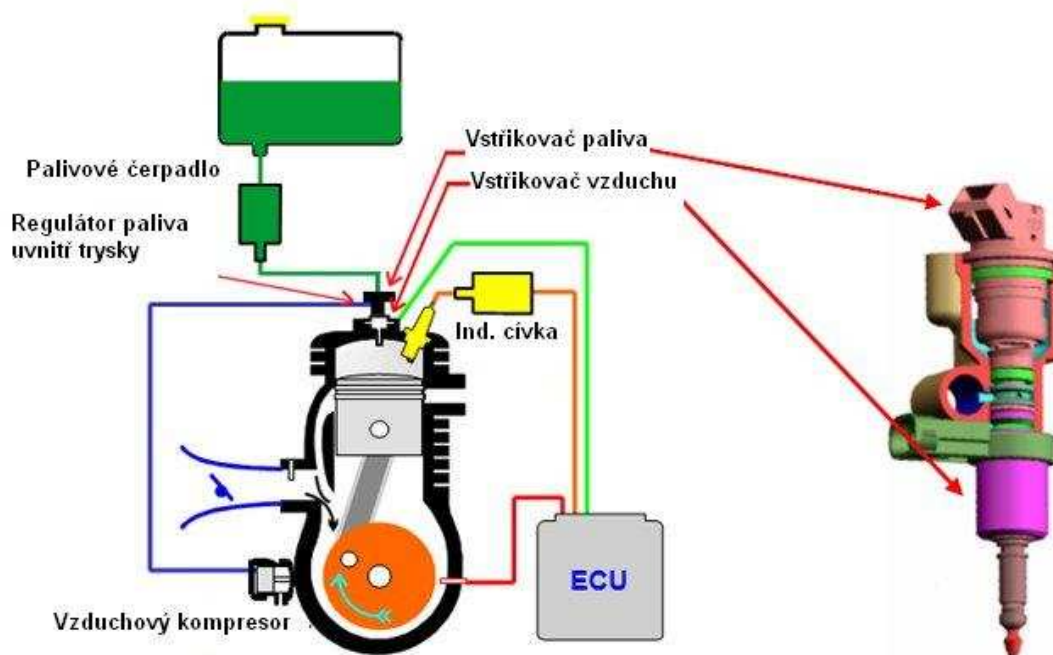
Výhodou tohoto systému jsou nízké náklady na vstřikovací čerpadlo, neboť rozprášení zajišťuje stlačený vzduch, který ovšem nemá funkci přeplňování, ale pouze dostatečné rozptýlení atomů paliva. [14]

Původní technologii společnosti Orbital odkoupila spousta velkých světových výrobců. Kromě Aprilie jsou to motocyklové koncerny zabývající se skútry Piaggio, Kymco, výrobci sněžných skútrů Bombarier a Ski Doo a mnoho dalších.

Podle mnohých světových odborníků z vývojových laboratoří (Lotus a Ricardo) současný trend příklonu ke čtyřdobým motorům nemá racionální důvod, neboť přímé vstřikování dvoudobých motorů nabízí neskýtané možnosti k vývoji a oddělení mazacího oleje od paliva a výplach motoru čistým vzduchem téměř odstranil primární problém tohoto motoru v očích veřejnosti - spalování oleje. Proto vývoj elektronicky řízeného dvoudobého motoru může vést k mnohem lepším parametrům co se týče spotřeby paliva i produkovaných škodlivin, i když marketingové výzkumy prokázaly, že dvoudobé motory to nebudou mít se svou reinkarnací jednoduché. [32]

Druh motoru	Emisní hodnoty v g/hp*h			
	HC	CO	NO _x	PM
Klasický 2-takt	111	296	1	2.7
2-takt s katalyzátorem	54	147	1	2.7
2-takt přímý vstřík	22	90	3	0.6
4-takt	8	123	9	0.2

Obr. 49: Srovnání emisních hodnot vývojových fází dvoudobého motoru [1]



Obr. 50: Schéma návrhu přímého vstřikování paliva do válce Orbital - Aprilia [14]

Závěr bakalářské práce

Vysokovýkonné dvoudobé motory se ve 20. století osvědčily jako ideální pohonná síla pro zástavbu do závodních motocyklů, a to jak terénních, tak především silničních pro uzavřené kruhy. Právě vývoj závodních týmů především v 50. až 70. letech 20. století posunul parametry dvoudobého motoru o velký kus vpřed, výrazně vzrostl výkon a technologie měnící původní pevně daný rozvod směsi umožnily rozšířit využitelné pásmo výkonu. Rozvoj v této době zapříčinil, že výkon sportovně laděného dvoudobého motoru se stal cca o 50 % vyšší než u čtyřdobého motoru srovnatelného objemu a toto procento platí dodnes. V případě současných závodních dvoudobých motorů se jedná o číslo přibližně 450 k/l, což je o 90 % více než v případě závodních čtyřdobých motocyklů.

Pro použití v závodních strojích se proto začaly používat výhradně dvoudobé stroje pro svoji výkonovou hmotnost, tj. poměr hmotnosti na jednotku výkonu. Následná vlna popularity silničních závodů způsobila zvýšení prodejů dvoudobých produkčních strojů po celém světě jakožto lehkého a vysoce výkonného motocyklu.

V polovině 60. let 20. století začaly především díky vstupu velkých japonských výrobců na závodní tratě doslova technologické závody, litrový výkon jejich motorů se začal blížit metě 400 k/l a tyto motory svými avantgardními konstrukcemi přestaly mít přínos pro běžně vyráběné stroje, protože výkon motorů se začal získávat zvyšováním počtu válců a rychlostních stupňů – tedy velmi úzkým výkonovým spektrem na úkor pružnosti motoru v širším pásmu otáček. Byly tedy vydány předpisy omezující počet válců v každé kategorii, čímž sice klesly výkony, ale nové konstrukční řešení, např. výfuková přívěra YPVS a rezonanční výfukové potrubí, se staly velmi přínosnými objevy pro použití v sériově vyráběných motorech.

Jak bylo popsáno v druhé polovině práce, dvoudobý motor je mazán směsí paliva a oleje, který je částečně spalován v podobě škodlivých uhlovodíků, jejichž produkcí klasický dvoudobý motor několikanásobně převyšuje čtyřdobé motory. Tento ekologický problém v současné době velmi omezuje prodej vysokovýkonných dvoudobých motocyklů, neboť přísné ekologické normy, v současnosti Euro 5, nedovolují prodej takových motocyklů bez účinného katalyzátoru, případně zařízení snižující tvorbu CO a HC. Zmíněný trend se projevuje i v GP silničních motocyklů, kde předpisy znevýhodňují další nasazení dvoudobých motorů a prioritou je vývoj čtyřdobého motoru, který se jeví na první pohled jako ekologičtější.

Tento fakt byl shledán jako důvod, proč v současnosti dvoudobé modely ustupují z MS silničních motocyklů i sortimentu motocyklových výrobců, přestože v tradiční dvoudobé oblasti přívěsných lodních motorů, vodních a sněžných skútrů se používá elektronické vstřikování paliva, elektronicky řízené přívěry výfuku, elektronicky regulované oddělené mazání přímo namáhaných míst a tyto motory se na tradičně ekologických trzích v USA a

Kanadě výborně prodávají a plní příslušné normy mnohdy lépe než konkurenční stroje se čtyřdobým motorem.

Pro motocykly použití přímého vstřikování paliva do válce a jeho další vývoj podobně jak jej vyvinula společnost Orbital v 90. letech a pod jejíž licencí v současnosti funguje tento systém u většiny výrobců používajících přímé vstřikování do válce dvoudobého motoru.

Toto řešení vede k výraznému snížení podílu škodlivin ve výfukových plynech, snížení spotřeby paliva i mazacího oleje a je jednou z možností, jak udržet výkonné dvoudobé motory ve výrobě v budoucnosti, která patří ekologickým motorům s nízkou spotřebou paliva.

Seznam použitých zdrojů

- [1] BLAIR, Gordon P. *Desing and simulation of two-stroke engines*, Society of Automotive Engineers, 1996. 623 s. ISBN 1-56091-685-0
- [2] GSCHEIDLE, R. a kolektiv. *Průručka pro automechanika*, Sobotáles, 2002. 652 s. ISBN 80-85920-83-2
- [3] HAYNES. *Motorcycle Basics Techbook, 2nd edition*, Haynes Publishing, 224 s. ISBN 1-85960-515-X
- [4] BELL, A. G. *Two-stroke performance tuning*, Haynes Publishing, 272 s. ISBN 1-85960-619-3
- [5] RAUSCHER, J. *Spalovací motory*, Studijní opory. VUT Brno. 235 s.
- [6] WOHLMUTH, J. *Svět velkých cen, 2. doplněné vydání*, Nakladatelství dopravy a spojů, 1985. 375 s.
- [7] NEPOMOUCK, B. L., JANNECK, U. *Technická rukověť motocyklisty*, Kopp, 1999. 478 s. ISBN 80-7232-059-9
- [8] WALKER, M. *German racing motorcycles*, Redline Books, 1999. 224 s. ISBN 0-9531311-2-2
- [9] KHEMANI, H. *Internal combustion engine basics: The history and development of IC engines (The Lenoir Engine)* [online]. 2007, poslední revize 24.9.2008 [cit.2010-04-28] Dostupné z:
<http://www.brighthub.com/engineering/mechanical/articles/8250.aspx>
- [10] Wikipedia. *Two-stroke engine* [online]. 2004, poslední revize 19.5.2010 [cit.2010-04-23] Dostupné z:
http://en.wikipedia.org/wiki/Two-stroke_engine
- [11] BOOTHROYD, D. *The man, who invented the two-stroke engine* [online]. 2001, duben [cit.2010-04-20] Dostupné z:
<http://www.the-vu.com/2001/04/the-man-who-invented-the-two-stroke-engine/>
- [12] KRUGER, R. *The two-stroke engine: A short review of a long revolution* [online]. 2002, poslední revize 27.3.2009 [cit.2010-04-25] Dostupné z:
<http://www.motohistory.net/news2009/news-mar09.html>
- [13] Scott Owner's Club. *Scott motorcycle history* [online]. [cit.2010-04-28] Dostupné z:
http://www.scottownersclub.org/scott_motorcycle_history.htm
- [14] California Speed-Sports. *Aprilia DiTech information* [online]. 2004 [cit.2010-05-02] Dostupné z:
http://www.speed-sports.com/motorscooters/scooter_models/aprilia_scooters/ditech.html
- [15] GHN-Racing. *Motorteile* [online]. 2008 [cit.2010-05-12] Dostupné z:
www.ghn-racing.de/Drehschieber.jpg

- [16] MOLCAR, M. *Soutěžní Jawy let 80., 4. část. Supermoto 4/2010*, Bussines Media CZ ISBN 978-80-86411-6
- [17] KRUGER, R. *More about boxer two-strokes* [online]. 2002, poslední revize 9.2.2007 [cit.2010-05-09] Dostupné z:
www.motohistory.net/images/Konig.jpg
- [18] BAUDILLE, R., BIANCOLINI M. E. *FSI makes FLUENT more flexible* [online]. 2002 [cit.2010-05-14] Dostupné z:
<http://www.fluent.com/about/news/newsletters/05v14i1/img/a12i2.jpg>
- [19] Yamaha Motor. *Les technologies YPVS, YEIS, YICS et YDIS de Yamaha 1984* [online]. 2000, poslední revize 8.9.2005 [cit.2010-05-11] Dostupné z:
<http://www2.yamaha-motor.fr/actu/spip.php?article1063>
- [20] Appeldephare. *Le D.K.W.* [online]. 2001 [cit.2010-05-17] Dostupné z:
www.appeldephare.com/photo3/dkw5.gif
- [21] Motovelosport. *RAVE*[online]. 2005 [cit.2010-05-11] Dostupné z:
http://www.motovelosport.ru/articles/2008_08_26_tuning_moto_izh_p5/2008_08_26_tuning_moto_izh_p5_2.php
- [22] Aprilia RS 250. *Kontrola a poškození přívěr* [online]. 2001 [cit.2010-05-01] Dostupné z:
<http://apriars250.webgarden.cz/privery>
- [23] Wikipedia. *Grand Prix motorcycle racing* [online]. 2004, poslední revize 21.5.2010 [cit.2010-04-23] Dostupné z:
http://en.wikipedia.org/wiki/Grand_Prix_motorcycle_racing
- [24] ELSBERG, D. *50 cc roadracing story* [online]. 2002 [online]. [cit.2010-04-23] Dostupné z:
<http://www.elsberg-tuning.dk/the%20championships.html>
- [25] Suzukicycles. *Suzuki racing models 1960 - 1967* [online]. 2008 [cit.2010-04-20] Dostupné z:
http://www.suzukicycles.org/history/history_04-race-1960-1967.shtml
- [26] Team Nerdspeed. *Wind beneath my wings* [online]. 2008, poslední revize 22.2.2010 [cit.2010-04-25] Dostupné z:
<http://team-nerdspeed.blogspot.com/>
- [27] Motorcycle Search Engine. *Kawasaki KR 250 History* [online]. 2006 [cit.2010-04-29] Dostupné z:
http://motorbike-search-engine.co.uk/classic_bikes/kawasaki-kr250-history.php
- [28] STRAKA, M. *Jawa typ 673 čtyřválec*, Supermoto 4/2010, Bussines Media CZ. ISBN 978-80-86411-6
- [29] MCnews. *Thirty years of the YZR 500 GP Racer* [online]. 2003 [cit.2010-05-02] Dostupné z:

- http://www.mcnews.com.au/features/2003/YZR_History/Yamaha_YZR_History_Page1.htm
- [30] STAFF, J. *Honda NSR500 / GP Racing History* [online]. 13.2.2010 [cit.2010-05-03] Dostupné z:
http://www.ultimatemotorcycling.com/Honda_NSR500_MotoGP_Racing_History
- [31] Wikipedia. *Honda NSR500 engine front Honda Collection Hall* [online]. 2005, poslední revize 7.11.2009 [cit.2010-05-04] Dostupné z:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Honda_NSR500_engine_front_Honda_Collection_Hall.jpg
- [32] PROCTER, G. *Two strokes strike back* [online]. 29.6.2009 [cit.2010-05-24] Dostupné z:
<http://twostrokemotocross.com/2009/06/two-strokes-strike-back/>
- [33] MICKELSON, P. *Why 2-stroke Direct Injection is a Big Deal* [online]. [cit.2010-05-24] Dostupné z:
<http://www.snowgoer.com/output.cfm?id=1836523>
- [34] Osobní archiv ing. Martina Molcara, Ricardo Prague s.r.o.

Seznam použitých značek a symbolů

ADI	Air Direct Injection
AETC	Automatic Exhaust Timing Control
ATAC	Auto Control Torque Amplification Chamber
CO	oxid uhelnatý
DITECH	Direct Injection Technology
ECU	Electronic Control Unit
FIM	Fédération Internationale de Motocyclisme
HC	nespálené uhlovodíky
IRTA	International Road Racing Team Association
KIPS	Kawasaki integrated power valve system
GP	Grand Prix
HPP	Honda Power Port
MotoGP	Moto Grand Prix
MS	Mistrovství světa
MSMA	Motocycle Sport Manufacturers Association
PGM-FI	Programmed Fuel Injection
RAVE	Rotax Advanced Variable Exhaust
RC-Valve	Honda Remote Control Valve
SAEC	Suzuki Automatic Exhaust Chamber
TPS	Throttle Position Sensor
VC	Velká cena
YEIS	Yamaha Energy Induction System
YPVS	Yamaha Power Valve System

Označení	Jednotka	Název
n	[min ⁻¹]	Otáčky za minutu
p	[Pa]	Tlak
P	[k]	Výkon
v	[km/h]	Rychlost
V	[cm ³]	Objem