



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

NETRADIČNÍ OVLÁDÁNÍ VENTILŮ

UNCONVENTIONAL VALVE CONTROL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL JANOUŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

BRNO 2010

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá popisem některých netradičních systémů ovládání ventilů čtyřdobého spalovacího motoru. V první části práce jsou uvedeny základní uspořádání ventilových rozvodů a jejich použití. Dále práce pokračuje základním popisem funkce vybraných netradičních systémů ovládání ventilů, jedná se o systémy používané jak v běžné sériové výrobě, tak v oblasti závodního sportu. V práci je stručně obsažen historický vývoj jednotlivých systémů a jejich použití v praxi.

Klíčová slova: ventilový rozvod, desmo, pneumatická pružina, elektrohydraulické ovládání ventilů, elektromagnetické ovládání ventilů, Multiair, Valvetronic.

ABSTRACT

This bachelor thesis describes some non-traditional systems of valve control in four-stroke in four-stroke engine. The first part is about basic valve train arrangement and their use. Further work continues the basic description of selected non-traditional systems of control valves, these are the systems used both in ordinary mass-production, and the racing sport. The thesis included a brief historical development of individual systems and their application in practice use.

Key words: valve train, desmo, pneumatic springs, electrohydraulic valve control, electromagnetical valve control, Multiair, Valvetronic.

Bibliografická citace: JANOUŠEK, M. *Netradiční ovládání ventilů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 29 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Radima Dundálka, Ph.D., a že jsem uvedl všechny použité prameny a literaturu.

V Bystřém dne 25.5.2010

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svým rodičům za maximální podporu po celou dobu studia.

Vedoucímu práce Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D. bych chtěl poděkovat za trpělivost, kterou se mnou měl.

Obsah

1 Úvod	7
2 Ventilové rozvody čtyřdobých spalovacích motorů	8
2.1 Základní rozdělení ventilových rozvodů	8
2.1.1 Rozvod SV (side valves)	8
2.1.2 Rozvod OHV (over head valves)	8
2.1.3 Rozvod SOHC (single over head camshaft).....	9
2.1.3 Rozvod DOHC (double over head camshaft).....	10
2.2 Desmodromický rozvod	10
2.2.1 Základní popis	10
2.2.2 Jednotlivá uspořádání desmodromického rozvodu.....	11
2.2.3 Historie desmodromického rozvodu.....	13
2.2.4 V současnosti používané motory s desmodromickým rozvodem	16
2.2.5 Porovnání desmodromického ovládání s konvenčním	17
2.3 Ventilový rozvod s pneumatickou pružinou.....	19
2.3.1 Základní popis	19
2.3.2 Historie použití pneumatické pružiny.....	19
2.3.3 Porovnání rozvodu s pneumatickou pružinou s konvenčním rozvodem.....	20
2.4 Elektrohydraulické a elektromagnetické ovládání ventilů	21
2.4.1 Základní popis	21
2.4.2 Použití elektrohydraulického ovládání ventilů v praxi.....	22
2.4 BMW Valvetronic	23
2.4.1 Základní popis	23
2.4.2 Porovnání systému Valvetronic s konvenčním	24
3 Závěr.....	25
Literatura	26

1 Úvod

Ventilový rozvod čtyřdobého spalovacího motoru, je konstrukční skupinou, která má velký vliv na výkon a účinnost motoru. Proto se jeho vývoji věnuje velká pozornost, současně době patří mezi hlavní cíle konstruktérů optimalizovat ventilový rozvod za účelem dosažení co nejvyšších výkonů ve vysokých otáčkách v závodním sportu nebo pro snížení spotřeby paliva a snížení emisí škodlivin spalovacího motoru pro běžný provoz. Cílem této práce je popsat některé druhy netradičního ovládání ventilového rozvodu, ať již z oblasti závodního sportu tak běžného provozu a porovnat je s klasickým nejvíce používaným uspořádáním. Tato práce si nedělá nárok vytvořit kompletní přehled všech možností, ale ukázat některá zajímavá konstrukční řešení.

2 Ventilové rozvody čtyřdobých spalovacích motorů

Úkolem ventilového rozvodu je řízení výměny plynů ve válci spalovacího motoru. Řešení ventilového rozvodu má velký vliv na výkon a točivý moment motoru. U čtyřdobého spalovacího motoru je řešen ve většině případů ventily kruhového průřezu, které jsou ovládány pomocí vačkového hřídele, který zajišťuje konstruktérem zvolené časování. [1]

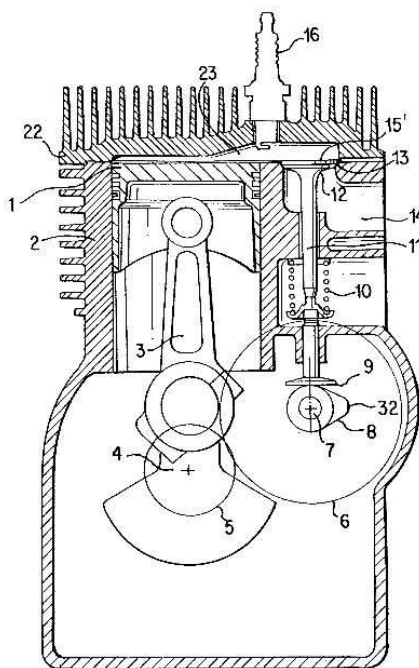
2.1 Základní rozdělení ventilových rozvodů

U čtyřdobých motorů se můžeme setkat s různými konstrukčními uspořádáními ventilů, které vznikly postupným vývojem za snahy zlepšit dosahovaných výkonů.

2.1.1 Rozvod SV (side valves)

Rozvod s postraními ventily, patří k nejstarším ventilovým rozvodům. Jeho výhodou je konstrukční jednoduchost a nízký počet pohybujících se částí. Ventily jsou umístěné vedle válce, vačkový hřídel je vedle klikové hřídele a ovládá přímo ventily jak je patrné z **obrázku 2.1**. Hlavní nevýhodou je nevhodný tvar spalovacího prostoru, který neumožňuje dosáhnout vyššího kompresního poměru a účinnosti spalování.

V současné době se používá pouze v motorech zahradní mechanizace, kde je hlavním požadavkem nízká výrobní cena motoru. [2]



Obr 2.1: Rozvod SV [3]

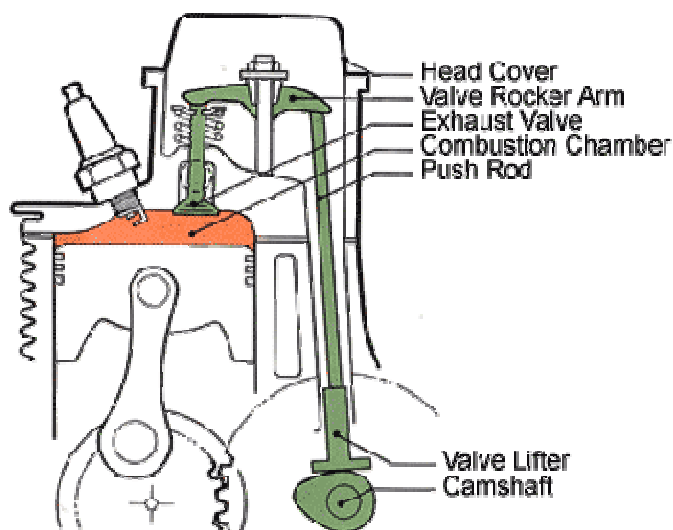
2.1.2 Rozvod OHV (over head valves)

Dalším v současné době se také hojně využívaným rozvodem např. u traktorových motorů i světových značek, je rozvod OHV. Jak je vidět na **obrázku 2.2**, ventily jsou umístěny v hlavě válců, zatímco vačkový hřídel je umístěn v bloku motoru vedle klikové hřídele. Ventily jsou ovládané pomocí zdvihátek, rozvodových tyček a vahadel. Toto uspořádání

dovoluje vhodnější tvar spalovacího prostoru a možnost dosažení vyššího kompresního poměru proti rozvodu SV. Další výhodou je poměrně nízká stavební výška hlavy válce a jednoduché seřízení ventilů nejčastěji pomocí šroubů na vahadle ventilu.

Mezi nevýhody patří větší množství pohyblivých součástí rozvodu a tím i jeho poměrně velká setrvačnost, která se nepříznivě projevuje ve vyšších otáčkách, rozvod je vhodný pro použití přibližně do 5000 min⁻¹.

Rozvod OHV byl dříve hojně používán také v motorech osobních automobilů, kde se s ním dnes prakticky nesetkáme. [4]



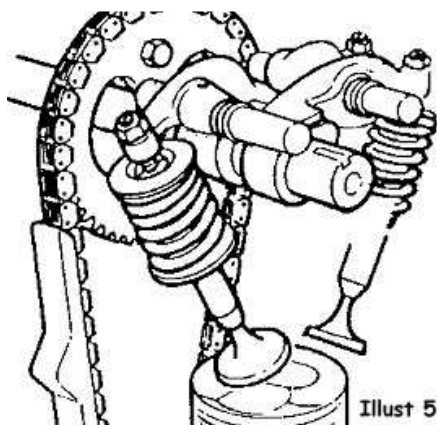
Obr 2.2: Rozvod OHV [5]

2.1.3 Rozvod SOHC (single over head camshaft)

Jeden vačkový hřídel je umístěn v hlavě válce, kde ovládá ventily pomocí vahadel, jak je zřejmé z **obrázku 2.3**. Pohon vačkového hřídele je realizován pomocí řetězu, ozubeného řemene nebo královského hřídele. Výhodou je menší počet pohybujících se částí ventilového rozvodu a tím jeho menší setrvačnost. Menší setrvačnost umožňuje dosažení přesnějšího ovládání ventilů a dosahování vyšších otáček.

Nevýhodou je vyšší stavební výška hlavy motoru a složitější pohon vačkového hřídele.

V současné době jde o nejpoužívanější rozvod. [6]



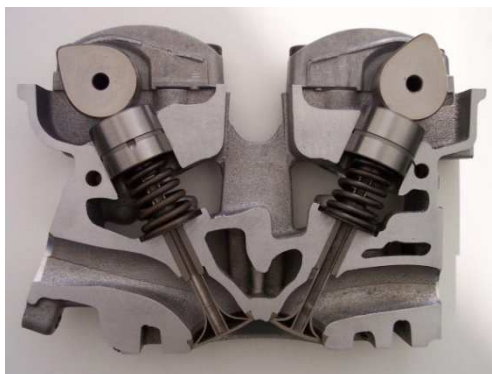
Obr 2.3: Rozvod SOHC [7]

2.1.3 Rozvod DOHC (double over head camshaft)

Odlišností od rozvodu SOHC je použití dvou vačkových hřídelů. Jak je zřejmé z **obrázku 2.4**. Jeden vačkový hřídel ovládá sací a druhý výfukové ventily. Vačkový hřídel ovládá ventily nejčastěji přes hrníčková zdvihátka.

Výhodou proti SOHC je přesnější ovládání ventilů ve vysokých otáčkách.

Nevýhodou je komplikovanější konstrukce hlavy motoru a složitější seřizování ventilové vůle, která pokud není vymezena hydraulicky se seřizuje pomocí broušených podložek vkládaných pod hrníčky zdvihátek, pro seřízení vůlí je nutné ve většině případů demontovat vačkové hřídele i přes zmíněné nevýhody se jedná o často používané uspořádání. [6]



Obr 2.4: Rozvod DOHC [6]

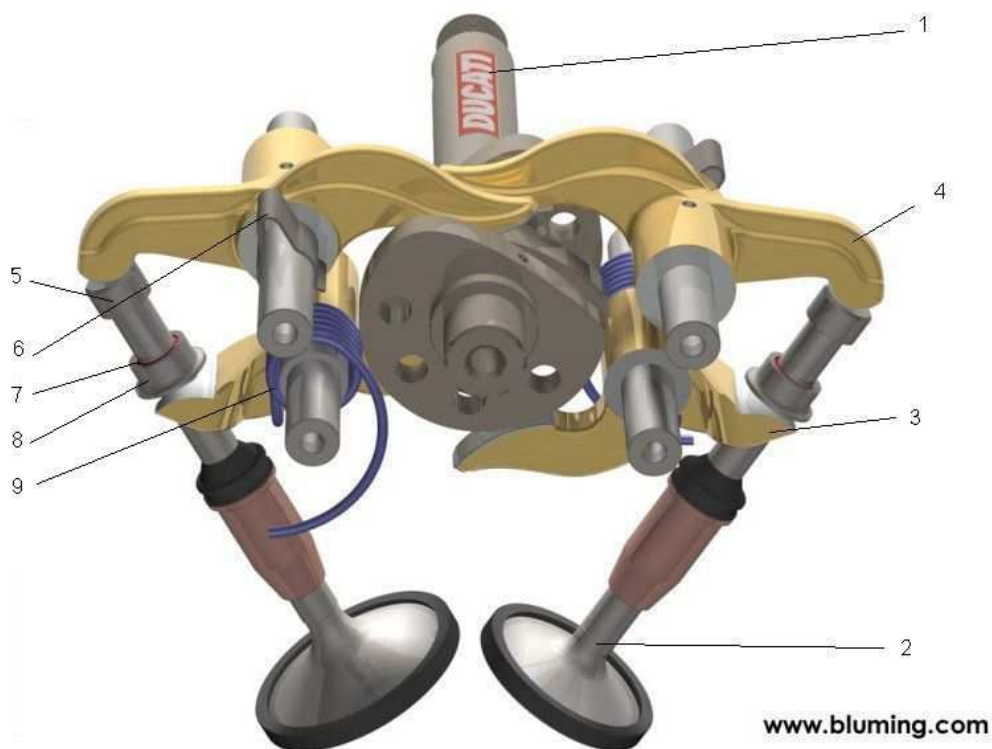
2.2 Desmodromický rozvod

2.2.1 Základní popis

Desmodromický rozvod se od nejčastěji používaného ovládání ventilů liší v tom, že u konvenčního systému otevírá ventil vačkový hřídel, ale o jeho zavření se stará vinutá pružina. U desmodromického ovládání ventilů, uzavírá ventil zavírací vačka a vlásenková pružina zajišťuje pouze dovření ventilu.

Princip funkce je patrný z **obrázku 2.5**, jedná se v tomto případě o rozvod OHC. Každý ventil ovládají dvě vačky umístěné na společném vačkovém hřídeli pomocí vahadel. Otevření ventilu je realizováno pomocí vahadla (4), které působí přes hrníčkovou podložku (5) na ventil. Uzavření ventilu je realizováno pomocí zavírací vačky, přes vahadlo (3), které působí na ventil přes podložku (8), jenž je s dřikem ventilu spojena pomocí drátěných půlkroužků (7). Vzhledem k tomu, že při běhu motoru dochází ke změně teploty jednotlivých částí rozvodu a tím ke změně jejich rozměrů tak je nutné nastavit vůli i na zavíracím vahadle, k nastavení se provádí výměnou podložek (8). Zavírací vůle se nastavuje poměrně malá obvykle kolem 0,05mm. Její správné nastavení je velmi důležité pro zajištění správné funkce rozvodu, úplné vymezení zavírací vůle má za následek silový kontakt vačky s vahadlem a

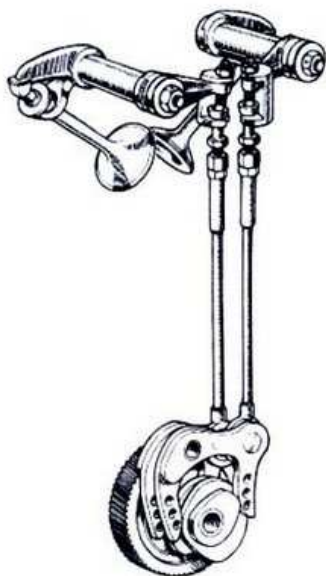
vede k nevratnému kontaktnímu poškození povrchů vačky i vahadla. Vzhledem k tomu, že pro správnou funkci ventilového rozvodu je nutné zajistit úplné dosednutí ventilu do sedla, které by nebylo možné realizovat pouze mechanickým ovládáním pomocí vahadel z důvodu tepelné roztažnosti částí rozvodu, tak je nutné použít ještě slabou vlásenkovou pružinu zajišťující dovření ventilu za všech provozních stavů. [8]



Obr 2.5: Desmodromický rozvod Ducati [9]

2.2.2 Jednotlivá uspořádání desmodromického rozvodu

V praxi se desmodromický rozvod, vyskytuje hlavně v uspořádání OHC a DOHC, je to zapříčiněno zejména tím, že hlavní použití tohoto rozvodu bylo od počátku pro závodní sport za účelem dosažení co nejvyšších výkonů, pro které jsou tyto uspořádání ventilů nejvhodnější. Výjimku tvoří závodní motory Velocette používané v druhé polovině 60 let, které mají desmodromický rozvod v uspořádání OHV, které vzniklo přestavbou klasického rozvodu s pružinami na desmodromické ovládání. Tato úprava ventilového rozvodu umožnila výrazně zvýšit maximální otáčky motoru a tím spolu s dalšími úpravami zvýšit výkon motoru. Konstrukční řešení je patrné z **obrázku 2.6**. [10]



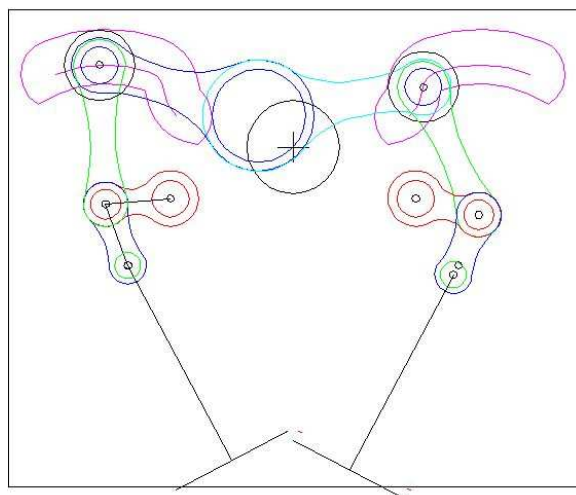
Obr 2.6: Desmodromický rozvod OHV Velocette [10]

V současné době desmodromický rozvod používá pouze Ducati ve svých motocyklech a to jak v uspořádání OHC **obrázek 2.5**, tak DOHC **obrázek 2.7**.



Obr 2.7: Desmodromický rozvod DOHC Ducati testastretta [11]

Zajímavým konstrukčním řešením je desmodromické ovládání ventilů bez použití vlásenkové pružiny vyvíjené společností Pattakon, vymezení zavírací vůle je řešeno pákovým mechanismem **obrázek 2.8**. Výhodou tohoto uspořádání je možnost použít ventily s kratším dříkem a nižší tření ve ventilovém rozvodu a možnost proměnného časování, kterého je dosaženo natáčením excentrických čepů. Toto uspořádání existuje pouze ve verzi prototypu, nebylo zatím použito v sériové výrobě. [12]



Obr 2.8: Desmodromický rozvod Pattakon [12]

2.2.3 Historie desmodromického rozvodu

Desmodromické ovládání ventilů bylo patentováno již v roce 1896 Gustavem Meesem. První motor s desmodromickým ovládáním ventilů představila francouzská automobilka Aries v roce 1907 jednalo se o vidlicový čtyřválec. V meziválečném období s tímto systémem experimentovala Italská firma Azzariti, která používala desmodromické ovládání ventilů v některých modelech svých dvouválců. V poválečném období se desmodromický rozvod objevil v závodních vozech Mercedes a to ve voze formule 1 W196 **obrázek 2.9** nasazeného do závodů v sezónách 1954 a 1955 a typ 300SLR kde byl použit upravený motor z vozu W196. [10]



Obr 2.9: Mercedes W196 [13]

V tehdejší Československu experimentovala v padesátých letech s desmodromickým rozvodem továrna ESO, v továrních speciálech pro motokros i silniční závody. Toto uspořádání rozvodu se neuchytilo pro velkou technologickou náročnost a nespolehlivost. Proti

klasickému rozvodu DOHC navíc motory s desmodromickým rozvodem neměly ani výrazně vyšší výkon, který by kompenzoval nedostatky. [14] V roce 1956 byl poprvé použit desmodromický rozvod v motocyklu Ducati, šlo o model 125 desmo, který byl nasazený do závodů Grand Prix. Tento model vzniknul jako inovace předchozího modelu 125 GP nasazeného do závodů v předchozí sezóně. Konstruktorem tohoto motocyklu byl Fabio Taglioni, který nastoupil o dva roky dříve do Ducati na místo konstruktéra. Fabio Taglioni byl velkým zastáncem tohoto uspořádání rozvodu a je především jeho zásluhou, že se pokračovalo ve vývoji tohoto uspořádání. Následovala řada dalších motocyklů Ducati s desmodromickým rozvodem, které byly určeny pouze pro závodní sport. Sériová produkce se spoléhala na klasické uzavírání ventilů pomocí vinutých pružin. Zlom nastal až v roce 1967 kdy byl na výstavě v Miláně představen motocykl Mark 3 viz **obrázek 2.10**, šlo o jednoválec o zdvihovém objemu 250 nebo 350cm³. Jde o první produkční motocykl Ducati s desmodromickým rozvodem. [15]



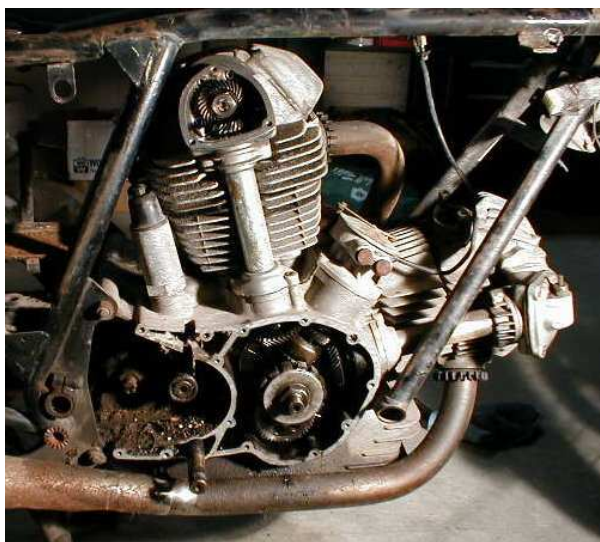
Obr 2.10: *Ducati Mark 3 350* [16]

Dalším zlomovým modelem v historii značky byl model z roku 1972 750 Imola **obrázek 2.11**, šlo o první desmodromický dvouválec, na který navázal produkční model 750SS v roce 1974.



Obr 2.11: *Ducati 750SS 1974* [17]

Až do modelu Pantah představeného v roce 1978, byl typickým znakem desmodromických Ducati pohon vačky pomocí královského hřídele s kuželovými koly jak je patrné z **obrázku 2.12**.



Obr 2.12: Pohon vaček pomocí královského hřídele Ducati 750 GT [18]

Toto řešení pohonu vačkového hřídele je vzhledem ke dvěma případně čtyřem párům (pro dvouválce do V) kuželových kol výrobně nákladné. Proto u modelu Pantah byl použit pro pohon vačkových hřídelů ozubený řemen jak je vidět na **obrázku 2.13**.



Obr 2.13: Pohon vaček pomocí ozubeného řemene Ducati Pantah [19]

Další důležitým modelem je model 888, představený v roce 1987 ve kterém byl představen nový motor, který měl rozvod DOHC a byl chlazený kapalinou. Vačkové hřídele byly poháněny pomocí již osvědčených ozubených řemenů. [20]

2.2.4 V současnosti používané motory s desmodromickým rozvodem

V současné době, je desmodromický rozvod používán výhradně v motocyklech Ducati, kde je v produkčních modelech použit převážně z tradičních důvodů. V sériové výrobě, je použito dvou koncepcí motorů, v obou případech jde o dvouválec s úhlem otevření válců 90° s obchodním označením L-twin. Další koncepcí je vidlicový čtyřválec používaný v MotoGP.

Desmodue

Koncepčně nejstarší z dále uvedených pohonných jednotek, jeho historie sahá až k modelu Pantah. Jedná se o vzduchem a olejem chlazený dvouválec s rozvodem OHC a dvěma ventily na válec. Na **obrázku 2.14** je motor z modelu Monster 696. Pohon vačkových hřídelů je realizován pomocí ozubeného řemene. Tato koncepce nevyniká vysokým špičkovým výkonem, ale pro velmi příjemný průběh točivého momentu vhodný pro použití v běžném provozu. [21]



Obr 2.14: Motor Desmodue, Ducati Monster 696 [21]

Testastretta

Motor vyvíjený pro nasazení v závodech série World Superbike, používaný v modelu 1198. Vodou chlazený dvouválec do L s rozvodem DOHC se čtyřmi ventily na válec o zdvihovém objemu 1198cm^3 , tak aby splňoval pravidla pro World Superbike. Motor je konstruován ohledem na dosahování maximálního výkonu, tomu odpovídají vyšší provozní náklady i servisní náročnost proti modelu desmodue. Na **obrázku 2.15** je motor používaný v modelu 1098. [22]



Obr 2.15: Motor Testastretta, Ducati 1098 [22]

Desmosedici

Motor používaný v závodech MotoGP. Čtyřválec do V 90°, rozvod DOHC poháněný ozubenými koly se čtyřmi ventily na válec. Zdvihový objem je 799 cm³ podle technických předpisů pro třídu MotoGP. Je použito nepravidelné časování zapalování válců tzv. bigbang, pro lepší dávkování výkonu, výrobcem uváděný výkon je přes 200 koní a maximální otáčky přes 16000min⁻¹. [23] Na **obrázku 2.16** je motor závodní repliky Desmosedici RR, který je koncepčně shodný s motory používanými v MotoGP.



Obr 2.16: Motor Desmosedici, Ducati Desmosedici RR [24]

2.2.5 Porovnání desmodromického ovládání s konvenčním

Výhodou desmodromického ovládání proti klasickému je možnost přesnějšího ovládání ventilů, které vyplývá z pevného spojení ventilu s vačkovým hřídelem. Tato skutečnost

umožňuje dosahovat vyšších zrychlení ventilů. To znamená, že dojde dříve k plnému otevření ventilu, které vede k lepšímu plnění válce. Další výhodou je možnost dosahovat vyšších otáček ve srovnání s pružinovým rozvodem, pro který jsou maximální otáčky kolem 16000 min^{-1} s desmodromickým ovládáním je možné dosahovat maximálních otáček přes 17000 min^{-1} . Vzhledem k tomu, že sériové motory pracují v nižších otáčkách tak tato výhoda je podstatná pouze pro závody prototypů jako je MotoGP.

Mezi hlavní zápory patří větší složitost rozvodu a více pohyblivých částí, na každý ventil je nutné mít dvě vačky a vahadla. Vačkové hřídele jsou navíc výrobně náročnější, z důvodu požadavku na jejich vysokou přesnost. Dalším důvodem proč nedošlo k rozšíření desmodromického ovládání je nutnost častějšího a náročnějšího seřizování ventilových vůlí. Pro srovnání u Aprilie RSV 1000 je interval pro seřízení ventilů 15000 km [25] a je zpravidla pouze kontrolní, obvykle není potřeba ventilovou vůli seřizovat. U Ducati 999 je servisní interval pro seřízení ventilů 10000 km [26], ovšem je nutné zdůraznit, že se nejedná pouze o kontrolu, ale je nutné seřízení vůlí na všech ventilech. Oproti klasickému uspořádání je seřízení náročnější o seřízení zavírací vůle, je proto nutné nastavit na každém ventilu 2 vůle, což se negativně projeví na složitosti servisního úkonu a tím i provozních nákladech. K ceně servisní prohlídky je také nutné připočítat drátěné půlkroužky, které se při každém seřízení vyměňují. Problematické je také řešení samočinného vymezení vůle, které je běžně realizované pomocí hydraulických zdvihátek. Nabízí se pouze varianta, excentrického uložení vahadel, vyráběná firmou JAKO, která umožňuje seřizovat ventilovou vůli do $0,4 \text{ mm}$ a usnadňuje její nastavení, je nutné zdůraznit, že excentrické uložení vahadel pouze usnadňuje seřizování ventilové vůle. Nejedná se tedy o systém automatického vymezování vůlí, jako je tomu u hydraulických zdvihátek. Na **obrázku 2.17** je hlava motoru osazená excentry JAKO. [27]

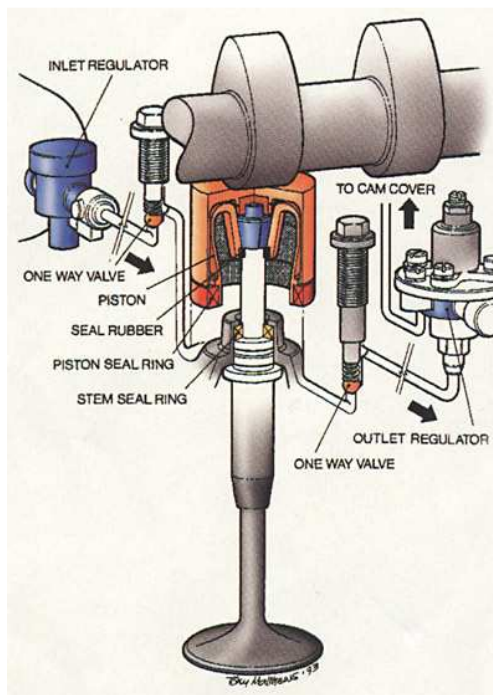


Obr 2.17: Hlava motoru osazená excentry JAKO [27]

2.3 Ventilový rozvod s pneumatickou pružinou

2.3.1 Základní popis

Otevření ventilu je realizováno klasicky pomocí vačkového hřídele, jako u klasického uspořádání, ale jeho vratný pohyb není realizován pomocí kovové vinuté pružiny, ale za pomoci tlaku plynu v uzavřeném válci. Jak je zřejmé z **obrázku 2.18**.



Obr 2.18: Schéma rozvodu s pneumatickou pružinou [28]

Pneumatická pružina je realizována pomocí válce umístěného v hlavě válce a pístového zdvihátka ventilu. Při otevření ventilu dojde ke stlačení plynu ve válci, tím je vyvolána síla, která vede k uzavření ventilu. Jako pracovní plyn je nejčastěji používán dusík. Tlak plynu, v pracovním válci je regulován v závislosti na otáčkách motoru, pomocí regulačních ventilů. Při nižších otáčkách je tlak plynu ve válci snížen, to znamená menší sílu nutnou pro otevření ventilu a tím pádem i nižší ztráty ve ventilovém rozvodu, což vede ke zvýšení výkonu motoru v nižších otáčkách. Při zvýšení otáček je zvýšen tlak ve válci a tím je zabezpečen bezpečný provoz rozvodu ve vysokých otáčkách.

Vzhledem k tomu, že hlavním důvodem pro použití pneumatické pružiny je možnost dosažení velmi vysokých otáček, tak je toto řešení používáno pouze v uspořádání DOHC, které je pro tento účel nejvhodnější. [28]

2.3.2 Historie použití pneumatické pružiny

Ventilový rozvod s pneumatickou pružinou byl vyvíjen firmou Renault v osmdesátých letech pro nasazení ve vozech formule 1. K prvnímu nasazení do závodu došlo v roce 1989, šlo o

přepřehovaný motor o zdvihovém objemu 1,5l. V následujících letech byl tento systém převzat ostatními týmy ve formuli 1.

Mimo formuli 1 byl tento systém použit v roce 2002 v MotoGP továrnou Aprilia v motocyklu RS3 Cube, ovšem bez větších úspěchů, protože motocykl měl značné problémy s přehříváním. Tříválec RS3 Cube je na **obrázku 2.19**. K rozvoji použití v MotoGP došlo v roce 2008, kdy po změně pravidel, která snížila maximální zdvihový objem motoru na 800cm^3 . V současnosti používají ventily s pneumatickou pružinou všichni výrobci ve třídě MotoGP, výjimkou jsou pouze motocykly Ducati, kde je použit desmodromický rozvod. [29]



Obr 2.19: Motor Aprilia RS3 Cube [30]

2.3.3 Porovnání rozvodu s pneumatickou pružinou s konvenčním rozvodem

Ventilový rozvod s pneumatickou pružinou byl vyvinut pro potřeby motorů formule 1, kde se kovové vinuté pružiny staly limitující součástí pro další zvyšování otáček. Ventilový rozvod s vinutými pružinami je bezpečný přibližně do 16000 min^{-1} poté již přestává vyhovovat. Pneumatická pružina umožňuje dosahovat otáček přes 19000 min^{-1} a zaručuje přesnější ovládání ventilů při velmi vysokých otáčkách. Systém regulace tlaku v pracovním válci pružiny, umožňuje proměnnou tuhost pružiny a tím zlepšuje průběh točivého momentu motoru.

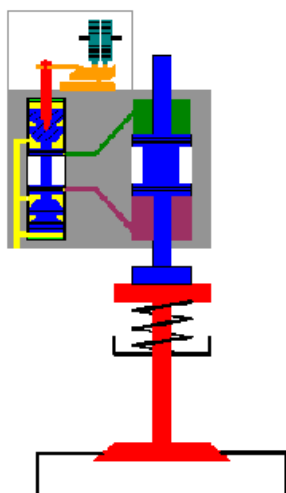
Mezi hlavní nedostatky tohoto systému patří komplikovaná konstrukce rozvodu a zvýšená produkce tepla a z toho plynoucí potíže s přehříváním. Dalším problémem je zaručení životnosti těsnění použitých pro zamezení úniku plynu z pracovního válce a nutnost tlakové láhve s dusíkem, ze které je přes vstupní ventil doplňován tlak do pracovního válce. Vzhledem k tomu, že hlavní výhodou je možnost dosahování extrémně vysokých otáček, ve kterých sériově vyráběné motory nepracují, nebyl dosud důvod nasadit rozvod s pneumatickou pružinou do sériové výroby, protože jeho nedostatky pro běžný provoz převyšují výhody. Jeho použití proto zůstává v oblasti závodního sportu, ovšem v některých závodních sériích jako je americká série CART, je zakázán pro neúměrné zvyšování nákladů na závodění. [31]

2.4 Elektrohydraulické a elektromagnetické ovládání ventilů

2.4.1 Základní popis

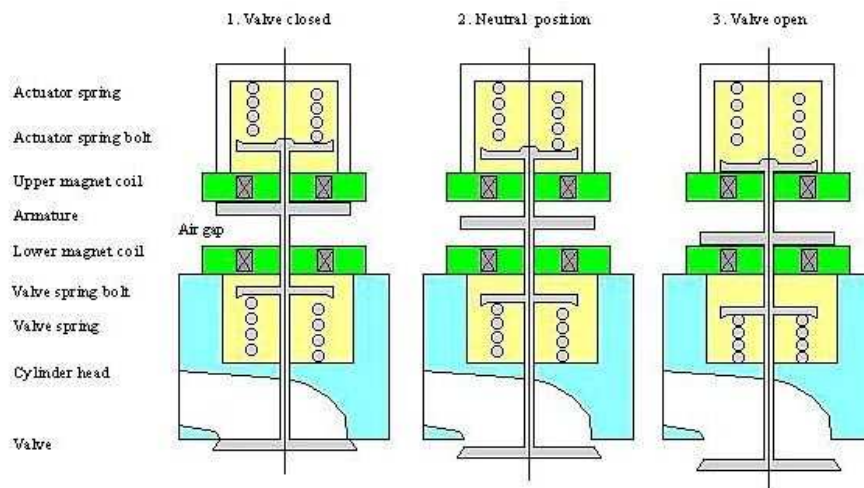
Základní myšlenkou tohoto systému je ovládání ventilů bez použití vačkového hřídele, pomocí tlaku kapaliny nebo elektromagnetů. Hlavní výhodou toho uspořádání, je velmi krátká doba otevření a uzavření ventilu, která znamená lepší plnění válce. Zároveň je možné dosáhnout proměnného zdvihu a otevření ventilu v závislosti na otáčkách a zatížení motoru. Pomocí změny zdvihu ventilu je možné řídit plnění motoru podobně jako škrtkící klapkou u klasického uspořádání. Vzhledem k tomu, že je každý ventil možné ovládat samostatně, je možné u více ventilů na válec pomocí jejich různého otevření dosáhnout lepšího proudění směsi ve válci a tím dále zlepšit plnění.

Elektrohydraulické ovládání je založeno na přepouštění kapaliny do komor nad a pod pístkem umístěným na dřívku ventilu. To je realizováno pomocí, elektromagnetického ventilu, řídicího průtok kapaliny. Jako provozní kapalina je použit motorový olej. Schématické znázornění je na **obrázku 2.20**.



Obr 2.20: Schéma elektrohydraulického ovládání [33]

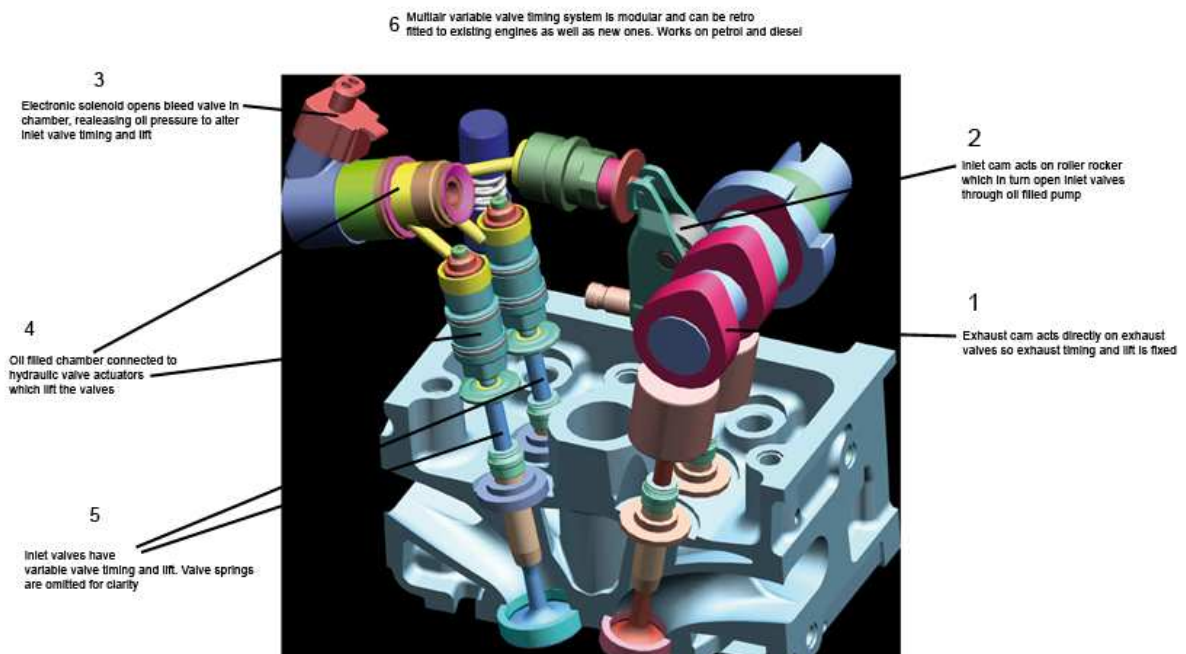
Elektromagnetické ovládání je založeno na použití dvou elektromagnetů, jejímž spínáním pomocí elektromagnetického pole ovládáme otevření ventilu. Schéma je znázorněno na **obrázku 2.21**. Nevýhodou je omezený zdvih ventilu v důsledku slábnutí elektromagnetického pole se vzdáleností, pro větší zdvihy ventilů je nutné použít velkých proudů v cívkách elektromagnetů, z čehož plyne vysoká energetická náročnost rozvodu. [32]



Obr 2.21: Schéma elektromagnetického ovládání ventilů [32]

2.4.2 Použití elektrohydraulického ovládání ventilů v praxi

Použití elektrohydraulického ovládání ventilů v praxi je dalším stupněm vývoje ovládání ventilových rozvodů po proměnném časování ventilů. Vzhledem k tomu, že se jedná o systém používaný poměrně krátkou dobu, tak stále naráží na některé problémy. V důsledku velmi rychlého otevření a hlavně uzavření ventilu dochází ke vzniku rázu, který způsobuje rozklepávání rozpáleného talíře ventilu ve ventilovém sedle. Proto se v praxi toto ovládání používá zatím převážně pro řízení sacích ventilů, zatímco výfukové jsou stále ovládány pomocí vačkového hřídele, který zajišťuje jemnější dosednutí ventilu do ventilového sedla. Dalším problémem, je vyšší složitost, která zvyšuje výrobní cenu motoru. Přesto se tento systém stále více používá v praxi, pro výhody z něj plynoucí. Příkladem může být použití elektrohydraulického ovládání sacích ventilů v motoru Fiat Multiair **obrázek 2.22**.



Obr 2.22: Ovládání ventilů Fiat Multiair [35]

Multiair, používá hydraulické otevírání sacích ventilů, zatímco výfukové ventily jsou ovládány klasicky pomocí vačkového hřídele. Na vačkovém hřídeli ovládajícím výfukové ventily je umístěna sací vačka, která ovládá olejovou pumpu, která prostřednictvím tlaku oleje ovládá sací ventily. Regulace otevření sacích ventilů je umožněna regulací tlaku oleje pomocí elektromagnetického ventilu.

Řízení doby otevření a zdvihu sacích ventilů umožňuje ovládat plnění motoru podobně jako škrticí klapka umístěná v sání. Možnost ovládat plnění motoru přímo pomocí sacích ventilů je vítaná, protože je možné odstranit škrticí klapku zvyšující podtlak v sání, který vede ke zhoršení plnění motoru. Různé možnosti otevření sacích ventilů jsou na **obrázku 2.23**. Zlepšené ovládání plnění vede ke snížení spotřeby paliva, zlepšení průběhu výkonu zejména v nízkých otáčkách a výraznému snížení emisí. [35]



Obr 2.23: Ukázka různých časování sacího ventilu Fiat Multiair [36]

Výhodou systému je jeho relativní jednoduchost, která dovoluje jeho použití na již existujících motorech bez potřeby výrazných konstrukčních změn. V současné době je systém Multiair použit jak v zážehových tak vznětových motorech. [34]

2.4 BMW Valvetronic

2.4.1 Základní popis

Podobně jako u systému Multiair, je hlavním cílem dosáhnout ovládání plnění motoru pomocí regulace sacích ventilů.

Proměnného časování ventilů je dosaženo již osvědčeným systémem VANOS, který pomocí hydraulické regulace mění polohu vačkového vůči klikovému hřídeli. U motorů Valvetronic je systém VANOS použitý jak pro sací tak výfukové ventily. Tento systém umožňuje změnu časování ventilů, ale dráha křivka po které se ventil otevírá a zavírá je stále dána profilem vačky. Řízení zdvihu sacích ventilů je dosaženo pomocí otáčení excentrické hřídele, která mění polohu zdvihátka ventilu vůči vačkovému hřídeli. Natáčení hřídele je řízeno pomocí servomotoru s velmi rychlou odezvou. Uspořádání systému je patrné z **obrázku 2.24**. Systém v současné provedení dokáže řídit zdvih ventilu od 0 do 9,7mm přičemž změna zdvihu mezi těmito extrémy trvá 300ms. [37]



Obr 2.24: Řez motorem BMW Valvetronic [38]

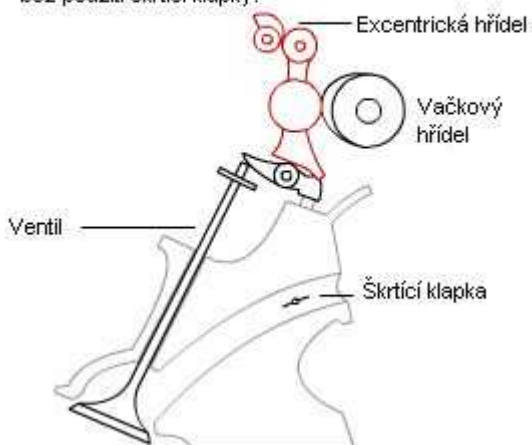
2.4.2 Porovnání systému Valvetronic s konvenčním

Hlavní výhodou systému Valvetronic je řízení plnění přímo sacími ventily a z toho plynoucí výhody, ve formě nižší spotřeby, lepšího průběhu točivého momentu a nižších emisí.

Systém je relativně jednoduchý, jak je zřejmé z **obrázku 2.25**, proto jeho hlavní nevýhodou je použití v oblasti vysokých otáček, systém je schopný spolehlivě pracovat přibližně do 6000min^{-1} . Proto není vhodný pro závodní použití.

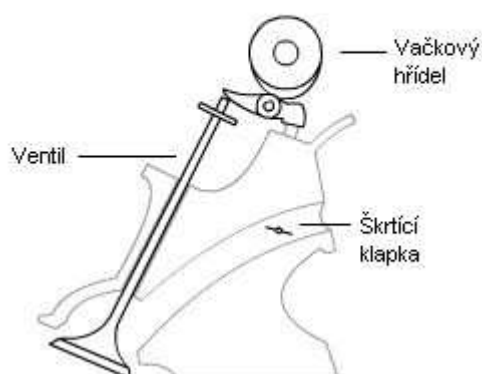
Sací ventil se systémem VALVETRONIC

Směs je ovládána změnou zdvihu ventilu bez použití škrticí klapky.



Sací ventil bez systému VALVETRONIC

Směs je řízena pomocí škrticí klapky zdvih ventilu se nemění.



Obr 2.25: Porovnání ovládání ventilů Valvetronic s klasickým systémem [39]

3 Závěr

Požadavky na dosahování stále vyšších výkonů motorů na závodních tratích vedou k rozvoji systémů ventilových rozvodů, které dovolují dosahování stále vyšších otáček a maximálního výkonu. V minulosti se konstruktéři zaměřovali na čistě mechanické řešení, jakým je desmodromický rozvod, ze kterého se postupným vývojem stal systém, který je schopný nasazení v běžném provozu, byť za cenu vyšších provozních nákladů.

Závody prototypů umožnily, vznik rozvodu s pneumatickou pružinou, který byl vyvíjen přímo pro potřebu dosahování vysokých výkonů a otáček bez ohledu na nasazení v běžné výrobě. V současné době a pravděpodobně i blízké budoucnosti zůstane toto řešení pouze doménou závodního sportu na nejvyšší úrovni. Vzhledem k omezením daných koncepcí tohoto uspořádání. V běžném provozu by nedošlo k uplatnění hlavní výhody tohoto systému, neboť sériově vyráběné motory se svými pracovními otáčkami nepřibližují oblasti kdy je tento systém výhodný, jeho použití by znamenalo pouze zvýšení výrobních a provozních nákladů.

V současné době, výrobci experimentují s variabilními systémy ventilových rozvodů, které umožňují nejen měnit časování ventilů, ale i jejich zdvih. Zatím jsou tyto systémy používány k řízení sacích ventilů, kde umožňují ovládat plnění motoru pouze pomocí sacích ventilů, bez použití škrtící klapky. V praxi se ukazuje toto uspořádání jako výhodné, neboť motory s plynulou změnou zdvihu ventilů mají příznivý průběh točivého momentu v nízkých otáčkách, nižší spotřebu paliva a výrazně nižší emise, na které je s současností kladen velký důraz. Snaha o udržení výrobních nákladů na přijatelné úrovni vede k vývoji co nejjednodušších systémů plynulé změny zdvihu sacích ventilů, jako je BMW Valvetronic nebo Fiat Multiair. Prozatím krom vyšší ceny těchto systémů je jejich hlavní nevýhodou omezení maximálních otáček motoru, které neumožňuje jejich nasazení ve vysokootáčkových motorech sportovních vozů. Dá se předpokládat, že další vývoj odstraní i toto omezení a v blízké budoucnosti se plně variabilní rozvod stane zcela samozřejmou věcí jako je dnes například vstřikování paliva.

Literatura

- [1] VLK, František. *Vozidlové motory*. Brno : 2003. ISBN 80-238-8756-4
- [2] Sidevalve. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 3 August 2006, last modified on 3 August 2006 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Sidevalve>>
- [3] GORDON, Blair. *Free patents online* [online]. 2003 [cit. 2010-05-24]. Side valve arrangement for an internal combustion engine. Dostupné z WWW: <<http://www.freepatentsonline.com/6640780.html>>.
- [4] Overhead valve. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 19 October 2004, last modified on 14 April 2010 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Overhead_valve>.
- [5] *Honda Engines Europe EEC* [online]. c2010 [cit. 2010-05-24]. Honda Engines Europe EEC - OHV OverHead Valve Engines. Dostupné z WWW: <http://www.honda-engines-eu.com/en/engines/models_range/ohvengines/ohvengines03.jsp>.
- [6] Overhead camshaft. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 5 August 2004 , last modified on 23 May 2010 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Overhead_camshaft>.
- [7] NIXON, Mike. *Motorcycle Project* [online]. c2009 [cit. 2010-05-24]. Valve Clearance. Dostupné z WWW: <<http://www.motorcycleproject.com/motorcycle/text/cows-clear.html>>.
- [8] Desmodromic valve. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 19 March 2004 , last modified on 14 April 2010 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Desmodromic_valve>.
- [9] *Bluming Inc.* [online]. c2008 [cit. 2010-05-24]. Ducati Desmo Valve System. Dostupné z WWW: <<http://bluming.com/projects/desmo.htm>>.
- [10] *The Velobanjogent* [online]. 21 October 2008 [cit. 2010-05-24]. The BMG Desmodromic valve operating kit for the 86x86 Velocette engines.... Dostupné z WWW: <<http://velobanjogent.blogspot.com/2008/10/bmg-desmodromic-valve-operating-kit-for.html>>.
- [11] *Ducati - Official Site Ducati* [online]. c2010 [cit. 2010-05-24]. Ducati Bikes. Dostupné z WWW: <<http://www.ducati.com/bikes/index.do>>.

- [12] *Pattakon* [online]. 2008 [cit. 2010-05-24]. Fully Variable Desmodromic VVA. Dostupné z WWW: <<http://www.pattakon.com/pattakonDesmo.htm>>.
- [13] Mercedes-Benz W196. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 27 December 2005 , last modified on 13 May 2010 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz_W196>.
- [14] ČERVINKA, Jaroslav. Desmodromický rozvod ESO. *Svět Motorů*. 1963, 271, s. 1.
- [15] Ducati singles. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 9 September 2006, last modified on 7 April 2010 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Ducati_singles>.
- [16] *VintageBike.co. uk : The Home of Vintage and Classic motorcycles* [online]. c2005 [cit. 2010-05-24]. Picture of 1968 Ducati Mark 3 Desmo. Dostupné z WWW: <<http://www.vintagebike.co.uk/Bike%20Directories/Ducati%20Bikes/pages/Ducati-350-Desmo-68.htm>>.
- [17] *Ducatimeccanica.com* [online]. c2010 [cit. 2010-05-24]. 1974 750 Super Sport "Greenframe" Ducati. Dostupné z WWW: <http://www.ducatimeccanica.com/1974_750_greenframe.html>.
- [18] *Team YIKES! Motorsports Home Page* [online]. c2010 [cit. 2010-05-24]. Roundcase Project - Engine. Dostupné z WWW: <<http://www.teamyikes.com/RC/RoundcaseEngine.html>>.
- [19] *Kramer Krazy* [online]. 5 November 2006 [cit. 2010-05-24]. The Paso Project. Dostupné z WWW: <http://www.desmodemon.com/paso_project_4.html>.
- [20] *Ducati - Official Site Ducati* [online]. c2010 [cit. 2010-05-24]. Chronicles of a Legend. Dostupné z WWW: <<http://www.ducati.com/heritage/index.jhtml>>.
- [21] *Motivemagazine.com* [online]. c2010 [cit. 2010-05-24]. Simplicity=Sex: New Ducati Monster 696. Dostupné z WWW: <http://www.motivemag.com/pub/news/New_Monster_696_rom_Ducati.shtml>.
- [22] GOBERT, Alex. *Motorcycle News and Motorcycles - Motorcycle USA* [online]. 8 January 2007 [cit. 2010-05-24]. 2007 Ducati 1098S First Ride. Dostupné z WWW: <<http://www.motorcycle-usa.com/101/270/Motorcycle-Article/2007-Ducati-1098S-First-Ride.aspx>>.
- [23] *Ducati - Official Site Ducati* [online]. c2010 [cit. 2010-05-24]. Ducati Desmosedici GP10. Dostupné z WWW: <http://ducati.com/racing/motogp/desmosedici_gp10/index.do>.

- [24] *Motoaus.com* [online]. c2010 [cit. 2010-05-24]. Motoaus.com Ducati Desmosedici RR. Dostupné z WWW: <<http://motoaus.com/images/stories/ducati2008/desmosedici-engine.jpg>>.
- [25] *Bikepoint.com.au* [online]. Saturday, 13 May 2000 [cit. 2010-05-24]. Aprilia RSV 1000. Dostupné z WWW: <<http://www.bikepoint.com.au/reviews/2000/road/aprilia/rsv-1000/aprilia-rsv-1000-13683>>.
- [26] *Ducati Prague* [online]. c2010 [cit. 2010-05-24]. Servis motocyklů Ducati. Dostupné z WWW: <<http://www.ducati-czech.cz/?menu=servis>>.
- [27] *Motocentrum Polášek* [online]. c2010 [cit. 2010-05-24]. Motocentrum Polášek - Řešení ventilových vůli. Dostupné z WWW: <<http://www.ducati.motocentrum.cz/mbp.html>>.
- [28] BAMSEY, Ian. *Pure Luck Design* [online]. June 2000 [cit. 2010-05-24]. F1 Engine Power Secrets. Dostupné z WWW: <<http://www.pureluckdesign.com/ferrari/f1engine/index.htm>>.
- [29] Pneumatic valve springs. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 6 July 2006, last modified on 21 January 2010 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Pneumatic_valve_springs>.
- [30] GUN, Jenny. *Asphalt & Rubber* [online]. 2.3.2009 [cit. 2010-05-24]. Proposed MotoGP Cost-Cutting Measures. Dostupné z WWW: <<http://www.asphaltandrubber.com/racing/motogp-cost-cutting/>>.
- [31] *Everything2.com* [online]. 11 Jan 2002 [cit. 2010-05-24]. Pneumatic valve@Everything2.com. Dostupné z WWW: <http://www.everything2.com/index.pl?node_id=1222194>.
- [32] MACKOSKI, Dusko. *AutoSpeed* [online]. 17 April 2001 [cit. 2010-05-24]. Autospeed - Camless Engines. Dostupné z WWW: <http://autospeed.com.au/cms/title_Camless-Engines/A_0910/article.html>.
- [33] USC > CEC > *Mechanical Engineering* [online]. c2001 [cit. 2010-05-24]. New Page 3. Dostupné z WWW: <<http://www.me.sc.edu/research/AARG/prototype.htm>>.
- [34] *Hub Pages* [online]. c2009 [cit. 2010-05-24]. How does the MULTIAIR Fiat works. Dostupné z WWW: <<http://hubpages.com/hub/how-does-the-MULTIAIR-fiat-works>>.
- [35] CROSSE, Jesse. *Carmagazine.co.uk* [online]. 14 October 2009 [cit. 2010-05-24]. Tomorrow's world: Fiat's MultiAir engine tech. Dostupné z WWW: <<http://www.carmagazine.co.uk/News/Search-Results/Industry-News/Tomorrows-world-Fiats-MultiAir-engine-tech/>>.

- [36] *Multiair - The ultimate Air Management Strategy* [online]. c2009 [cit. 2010-05-24]. Multiair - The ultimate Air Management Strategy. Dostupné z WWW: <http://www.fptmultiair.com/flash_multiair_eng/home.htm>.
- [37] EDGAR, Julian. *AutoSpeed* [online]. 21 August, 2001 [cit. 2010-05-24]. BMW's Valvetronic!. Dostupné z WWW: <<http://www.autospeed.com/cms/article.html?&A=1083>>.
- [38] WAN, Mark. *AutoZine* [online]. c2001 [cit. 2010-05-24]. AutoZine Technical School - Engine. Dostupné z WWW: <http://www.autozine.org/technical_school/engine/petrol2.htm>.
- [39] *US Auto Parts Network* [online]. c2007 [cit. 2010-05-24]. BMW World - Technology. Dostupné z WWW: <<http://www.usautoparts.net/bmw/technology/valvetronic.htm>>.