

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

SOUČASNÝ STAV A VÝVOJOVÉ TENDENCE V KONSTRUKCI VENTILOVÝCH ROZVODŮ.

THE PRESENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS OF VALVE GEARS.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ VÁVROVEC

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JAROSLAV RAUSCHER, CSC.

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Vávrovec Jiří

který/která studuje v bakalářském studijním programu

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Současný stav a vývojové tendence v konstrukci ventilových rozvodů.

v anglickém jazyce:

The present state and development trends of valve gears.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Získání přehledu o zadané problematice. Stanovení základních vývojových trendů.

Cíle bakalářské práce:

Zpracujte přehled konstrukčních řešení. Shrnutí současného stavu proveďte tabulkovou formou. Na závěr uveďte hlavní vývojové tendence.

Seznam odborné literatury:

- [1] Jan, Z., Ždánský, B.: Automobily 3 (motory), Avid s.r.o. Brno, 2000
- [2] Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, BOSCH, Stuttgart 2003, ISBN 3-528-07040-4
- [3] Časopisy s tematikou vozidlových motorů
- [4] Internet

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Rauscher, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 9.11.2007

L.S.



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce se věnuje současnému stavu a vývojovým tendencím ventilových rozvodů. Při psaní jsem vycházel z historického vývoje ventilových rozvodů. Jsou zde popsány všechny základní typy ventilových rozvodů, části ventilového rozvodu a některé z dnes nejpoužívanějších typů variabilních ventilových rozvodů. V závěru jsou zde pro přehlednost zaneseny typy rozvodů a variabilních ventilových rozvodů do tabulky.

Klíčová slova: ventilový rozvod, SV, OHV, OHC, Desmo, ventil, variabilní ventilové rozvody, BMW Vanos, VTEC

Summary

This bachelor's thesis is focused on the present states and development trends of valve gears. Thesis is sorted chronologically. There are described all basic types of valve gears, their parts and some of most used variable valve gears. In the end there is summary of types of valve gears and types of variable valve gears in the form of table.

Key words: valve gears, SV, OHV, OHC, Desmo, valve, variable valve gears, BMW Vanos, VTEC

Bibliografická citace mé práce:

VÁVROVEC, J. *Současný stav a vývojové tendence v konstrukci ventilových rozvodů*. .
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 37 s.
Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Rauscher, CSc.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Jaroslava Rauschera CSc. A s použitím uvedené literatury.

V Brně 15. května

Jiří Vávrovec

Poděkování

Hlavně bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaroslavu Rauscherovi CSc. za jeho cenné rady a připomínky.

Obsah

1. Úvod	12
2. Ventilové rozvody	13
2.1 Vývoj ventilových rozvodů	13
2.2 Popis jednotlivých rozvodů	13
2.2.1 Ventilový rozvod SV.....	13
2.2.2 Ventilový rozvod OHV.....	14
2.2.3 Ventilový rozvod IOE.....	15
2.2.4 Ventilový rozvod OHC.....	16
2.2.5 Desmodromický rozvod.....	18
2.2.6 Zvláštní provedení ventilových rozvodů.....	19
2.2.6.1 Pneumatické zavírání ventilů.....	19
2.2.6.2 Mechanicko-hydraulické ovládání ventilů VVA.....	20
2.2.6.3 Elektrohydraulické ovládání ventilů.....	20
2.2.6.4 Elektrohydraulické ovládání ventilů EVA.....	21
2.3 Části ventilových rozvodů	22
2.3.1 Ventily.....	22
2.3.2 Vedení ventilu (vodítka).....	23
2.3.3 Sedla ventilu.....	23
2.3.4 Ventilové pružiny.....	23
2.3.5 Ventilová vahadla a rozvodové páky.....	24
2.3.6 Části ventilového rozvodu na vymezování vřlí.....	24
2.3.6.1 Šroubek.....	24
2.3.6.2 Podložka.....	24
2.3.6.3 Hydraulické hrníčkové zdvihátko.....	24
2.3.6.4 Hydraulické opěrky zdvihátka.....	25
2.3.7 Vačkový hřídel.....	25
2.3.8 Pohon vačkových hřídelí.....	26
2.3.8.1 Pohon ozubeným řemenem.....	26
2.3.8.2 Pohon válečkovým řetězem.....	26
2.3.8.3 Pohon ozubenými koly.....	26
2.4 Variabilní ventilové rozvody	26
2.4.1 Porsche VarioCam.....	27
2.4.2 BMW Vanos.....	28
2.4.3 VVT-i.....	28
2.4.4 BMW Double Vanos (Bi Vanos).....	28
2.4.5 Porsche VarioCam plus.....	29
2.4.6 VTEC.....	30
2.4.6.1 VTEC SOHC- dvouvačková verze.....	30
2.4.6.2 VTEC SOHC- trojvačková verze.....	31
2.4.6.3 VTEC DOHC (2 profily vaček).....	31
2.4.6.4 VTEC DOHC (3 profily vaček).....	31
2.4.6.5 i-VTEC.....	32
2.4.7 BMW Valvetronic.....	32
2.5 Tabulka rozdělení rozvodů	34
2.6 Tabulka rozdělení variabilních rozvodů	35
3. Závěr	37

1. Úvod

Historický vývoj motorů je úzce spjat s vývojem ventilových rozvodů. Avšak první motory mívali pro své malé tlaky a otáčky jen samočinné sací ventily, které těmto motorům plně postačovaly. Postupem vývoje, zvyšováním otáček a tlaků v motoru se však ventilový rozvod jevil jako ideální. Vždy ale byla snaha ventil při ovládní motoru odstranit, pro svůj velký odpor, který kladl nasávající směsi. Tak se tedy objevil šoupátkový rozvod, který se však pro svou složitost a nespolehlivost neujal. Během vývoje se také vyvinuly některé různé zvláštní typy ventilových rozvodů, které jsou mimo rámec této práce. Já jsem se v této práci zaměřil na současný stav a vývojové tendence, které bych Vám rád popsal.

2. Ventilové rozvody

Ventilové rozvody slouží u čtyřdobých motorů k plnění válců směsí (zážehové motory) nebo vzduchem (vznětové motory) a k odvodu spalin z válců v přesně stanovený časový úsek. Na správném načasování ventilových rozvodů je závislý výkon, točivý moment, emise škodlivin a spotřeba motoru, tedy hlavní parametry motoru.

2.1 Vývoj ventilových rozvodů

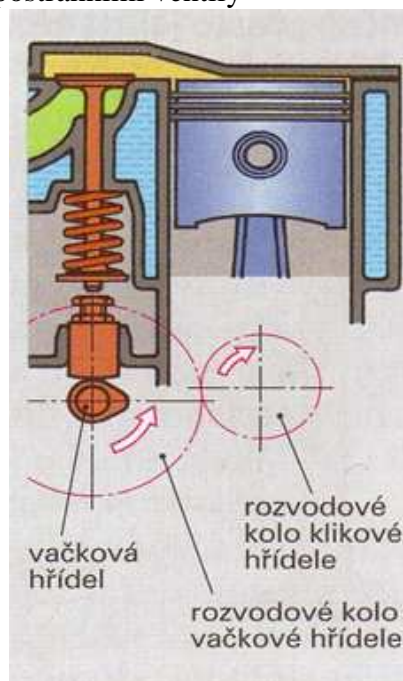
S postupným rozvojem vývoje motorů rostl požadavek na zvýšení výkonu a točivého momentu motoru. Samozřejmě byla také požadována nižší spotřeba paliva a nižší koncentrace škodlivin ve výfukových plynech. Tomu všemu se musela přizpůsobit konstrukce ventilových rozvodů a nestačil již pouhý jednoduchý rozvod SV nebo IOE (motor s F hlavou). Postupem času se tak vyvinul rozvod OHV a OHC. Pro vysokootáčkové motory, u kterých již běžné ventilové pružiny nestačily zajistit dostatečně rychlé uzavření ventilů, byl vyvinut desmodromický rozvod. Novějším řešením pro vysokootáčkové motory je pneumatické uzavírání ventilů, které je dnes používáno u motorů formule 1 a moto GP. Existují samozřejmě i jiná řešení, jako je například elektromagnetické ovládání ventilů, které je však v současné době ještě ve stádiu vývoje.

Velká pozornost je dnes také věnována snížení třecích ztrát a hmotnosti. Tření se dnes již běžně snižuje použitím jednoramenného vahadla s otočným válečkem. Vačka nepůsobí přímo na hrníčkové zdvihátko, ale na váleček, který se odvalí po vačce a nezpůsobuje tak velké tření.

2.2 Popis jednotlivých ventilových rozvodů

2.2.1 Ventilový rozvod SV (Side Valves)

Rozvod SV - rozvod s postranními ventily

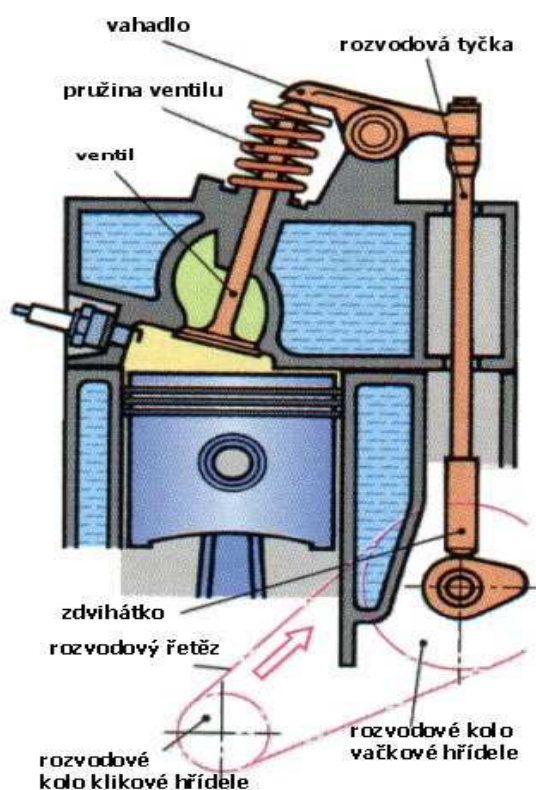


Obr. 2.1 Ventilový rozvod SV [1]

Pohon rozvodového ústrojí jde od klikového hřídele přes čelní ozubená kola většinou se šikmým ozubením (k zajištění tiššího chodu) na vačkový hřídel se sací a výfukovou vačkou, který je umístěn ve svršku klikové skříně. Vačka působí přes zdvihátko na stojatý ventil v bloku motoru. Svíčky jsou zašroubovány shora do hlavy válců. Výhodou tohoto rozvodu je jednoduchost, spolehlivost, poměrně tichý chod, nízká cena a malá hmotnost.

Nevýhodou je naopak nevhodný tvar spalovacího prostoru. Směs při proudění musí totiž změnit svůj směr o 180°, proto mají tyto motory malou plnicí účinnost. Další nevýhodou je nízký kompresní poměr, menší výkon a účinnost a vyšší měrná spotřeba. Tento typ rozvodu se dnes již používá jen u jednoduchých motorů pro zahradní mechanizaci.

2.2.2 Ventilový rozvod OHV (Over Head Valves)



rozvod OHV

Obr. 2.2 Ventilový rozvod OHV [1]

Rozvod OHV – rozvod s visutými ventily v hlavě válců ovládanými tyčkami

Pohon rozvodového ústrojí jde od klikového hřídele nejčastěji přes řetězová kola a řetěz na vačkový hřídel se sací a výfukovou vačkou. Řetěz má obvykle napínací ústrojí. Pohon může být realizován také pomocí ozubených kol. Vačkový hřídel je umístěn v klikové skříně blízko klikové hřídele nebo blízko vrchní hrany bloku válců. Od vačkového hřídele se ventily ovládají ventilovými zdvihátky a rozvodovými tyčkami, které vedou blokem válců do hlavy, kde přes vahadla ovládají ventily. Svíčky bývají nejčastěji zašroubovány do hlavy ze strany.

Výhodou tohoto rozvodu je jeho poměrně jednoduchá konstrukce, nižší hlava motoru, snadné seřizování ventilové vůle a možnost snadno vytvořit spalovací prostor.

Nevýhodou této konstrukce je složitější blok válců, vyšší hlučnost a značná hmotnost pohybujících se součástí, z čehož vyplývá nevhodnost použití pro vysokootáčkové motory.

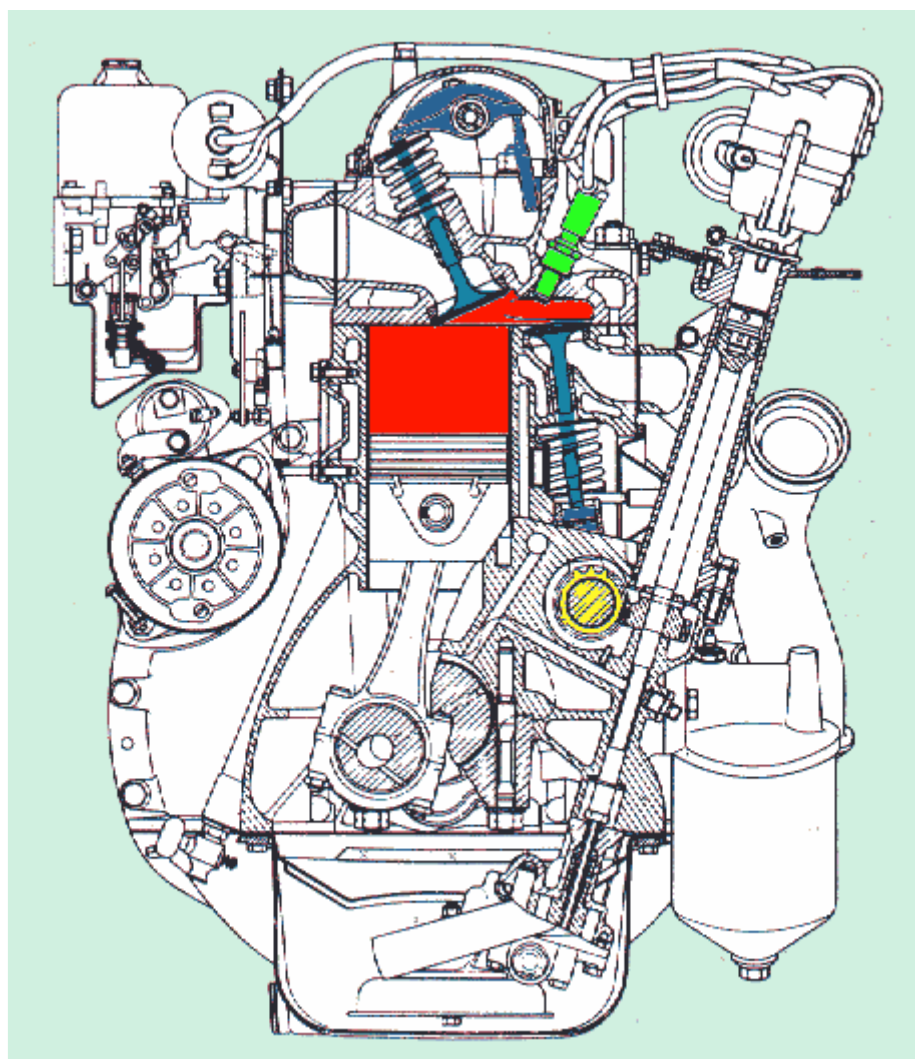
Tento typ rozvodu se dodneška používá u traktorů, nákladních automobilů a některých osobních automobilů.

2.2.3 Ventilový rozvod IOE (Inlet Over Exhaust)

Rozvod IOE - rozvod s protilehlými ventily

Jedná se o smíšený rozvod (SV, OHV) s visutými i stojatými ventily. Vačkový hřídel je umístěn ve svršku klikové skříně. Sací ventily jsou visuté a výfukové ventily stojaté. Svíčka bývá zašroubovaná šikmo do hlavy válce. Motory s tímto rozvodem jsou označovány za motory s tzv. „F hlavou”.

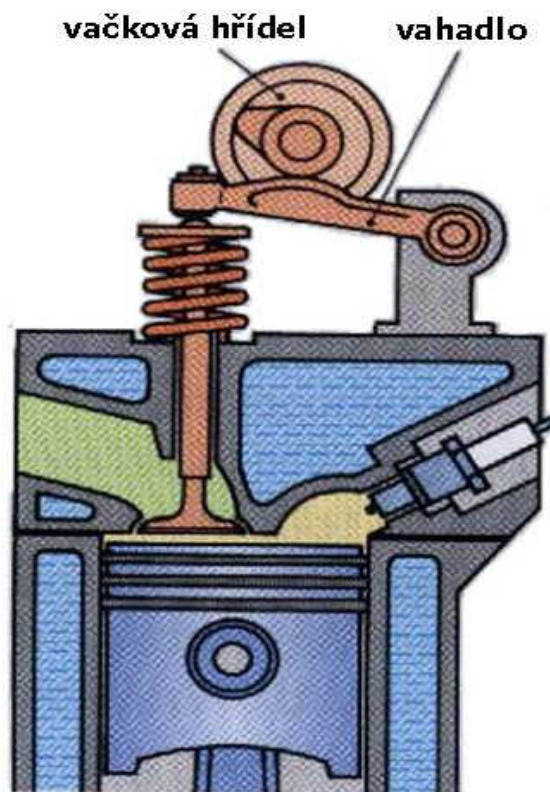
Díky své složitější konstrukci a nevhodnému spalovacímu prostoru se tento typ rozvodu nikdy příliš nerozšířil a v současné době se již nepoužívá.



Obr. 2.3 Ventilový rozvod IOE [5]

2.2.4 Ventilový rozvod OHC (Over Head Camshaft)

Rozvod OHC - rozvod s visutými ventily v hlavě válců a vačkovým hřídelem na hlavě válců



Obr. 2.4.1 Ventilový rozvod OHC [1]

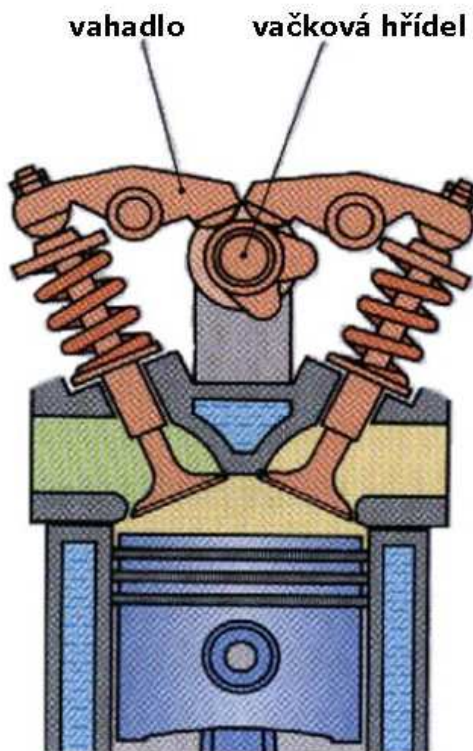
Pohon rozvodového ústrojí je realizován buď pomocí ozubených kol, řetězových kol a řetězu, nebo pomocí ozubeného řemene a v některých případech pomocí královského hřídele. Vačkový hřídel je umístěn na hlavě motoru nad ventily, které ovládá rozvodovými pákami nebo přímo přes hrníčková zdvihátka, nebo je umístěn mezi ventily, které pak ovládá pomocí vahadel.

Výhodou tohoto rozvodu je nízká hmotnost pohybujících se součástí, a proto je vhodný i pro vysokootáčkové motory. Výhodou je i vyšší tuhost oproti rozvodu OHV, což umožňuje zvýšit zdvih ventilů a také zvýšit jejich zrychlení. Nezanedbatelný je také menší počet stykových ploch a tím i menší ztráty třením. Další výhodou je jednodušší a lehčí blok motoru.

Nevýhodou je větší výška hlavy válců, složitější provedení pohonu vačkového hřídele, obtížnější seřizování ventilové vůle, pokud není použito vahadel nebo hydraulických zdvihátek a vyšší cena.

Ventilový rozvod OHC existuje také ještě v několika variantách:

SOHC (Simple Over Head Camshaft) - Jedná se o rozvod OHC, který je použit u motorů s víceventilovými rozvody, kde jedna vačka ovládá více než jeden ventil.



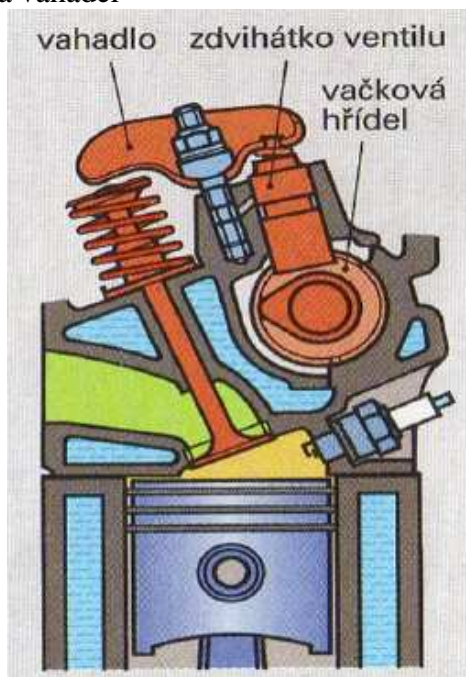
Obr. 2.4.2 Ventilový rozvod SOHC [1]

DOHC (Double Over Head Camshaft) – U tohoto rozvodu jsou použity dvě vačkové hřídele v hlavě válců. Jedna vačková hřídel ovládá sací a druhá výfukové ventily. Používá se zejména u víceventilových rozvodů.



Obr. 2.4.3 Ventilový rozvod DOHC [3]

CIH (Crankshaft In Head) – Vačkový hřídel je umístěn v hlavě válce a ventily jsou ovládány pomocí zdvihátek a vahadel

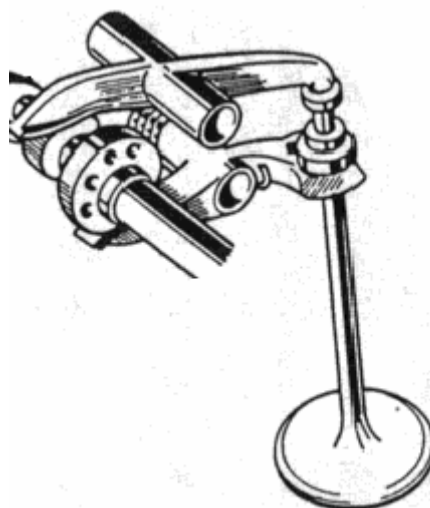


Obr. 2.4.4 Ventilový rozvod CIH [1]

2 x OHC – Jedná se o klasický rozvod OHC, který je použit u motoru s válci do „V”.

2.2.5 Desmodromický rozvod

Desmodromický rozvod - nucený ventilový rozvod



Obr. 2.5 Desmodromický rozvod [2]

Desmodromický rozvod je druh rozvodu, který byl vyvinut speciálně pro vysokootáčkové motory. Zavírání a otvírání ventilu se děje pomocí otevíracích a zavíracích vahadel ovládaných vačkovým hřídelem s otevíracími a zavíracími vačkami. Ventily nejsou o tohoto rozvodu tedy vybaveny pružinami (kromě malých pomocných pružin). Smysl tohoto

řešení je v tom, že nuceným otevíráním a zavíráním ventilů se obešla výkonnostní hranice klasických ventilových pružin. Díky tomu se dosáhlo přesnější a rychlejší funkce mechanismu i při vysokých otáčkách motoru.

Tento typ rozvodu se používá u motocyklů značky Ducati.

2.2.6. Zvláštní provedení ventilových rozvodů

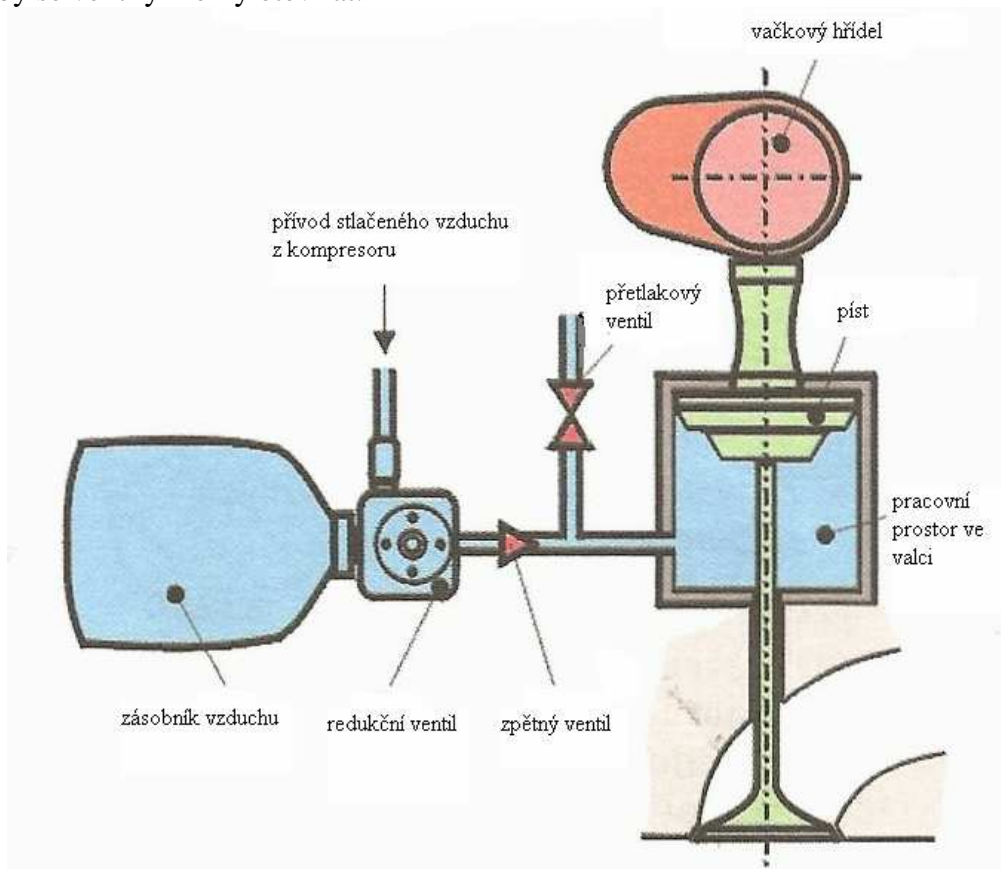
Tyto provedení představují vývojové trendy ventilových rozvodů, se kterými se budeme v budoucnosti setkávat. Tyto systémy ovšem zatím, zejména cenou nejsou schopny konkurovat klasickým ventilovým rozvodům. Jejich výhody, zejména nižší spotřeba, zatím nemohou soupeřit s klasickými osvědčenými řešeními.

2.2.6.1 Pneumatické zavírání ventilů

Toto provedení se používá u zvlášť vysokootáčkových motorů, jako jsou motory formule 1 a moto GP. Ventilová pružina je maximálně použitelná přibližně do 14000 otáček za minutu při použití velmi lehkých titanových ventilů. S tímto provedením jako první přišla francouzská automobilka Renault a dosáhla tím zvýšení maximálních otáček asi o 4000 min, ale i rychlejšího otevírání i zavírání ventilu.

Namísto pružiny je na stopce ventilu připevněn píst, který se pohybuje v pracovním válci. Pracovní prostor válce je spojen potrubím se zpětným ventilem, přes který se přivádí stlačený vzduch a s přetlakovým ventilem. Přetlakový ventil udržuje tlak 9,5 Mpa. Regulací tlaku se vyrovnávají různé netěsnosti a výrobní tolerance.

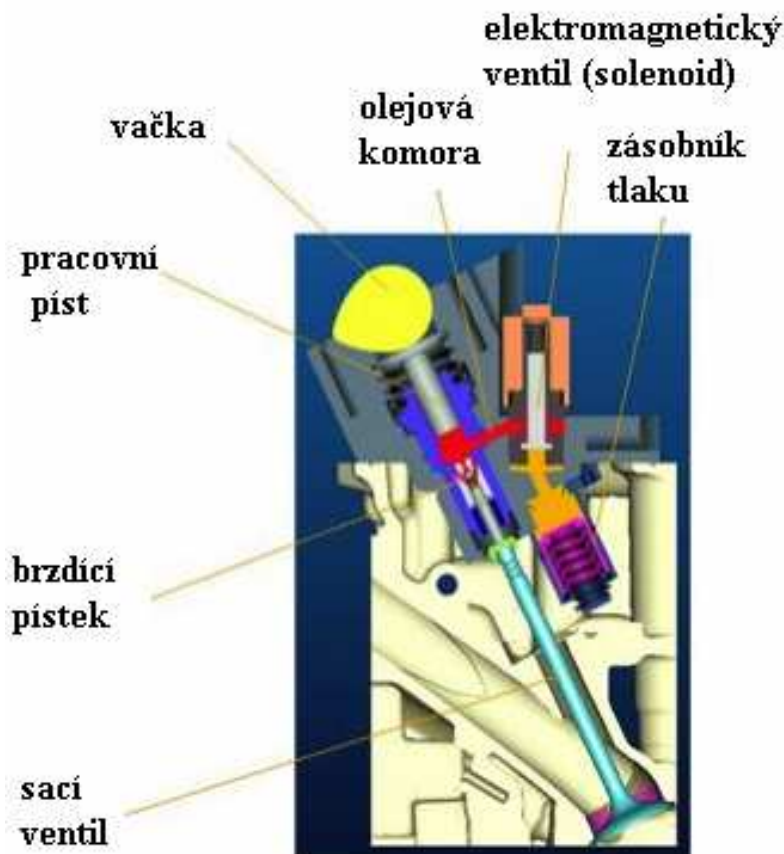
V průběhu otevírání ventilu se píst v pracovním válci pohybuje dolů a tím stlačuje vzduch na maximální tlak. Po té co vačka přejde přes vrchol, stlačený vzduch ventil rychle zavře. Před spuštěním motoru je důležité mít všechny válce natlakované přetlakem 1,2 až 1,5 MPa, aby se ventily mohly otevírat.



Obr. 2.6.1 Pneumatické zavírání ventilů [1]

2.2.6.2 Mechanicko-hydraulické ovládání ventilů VVA

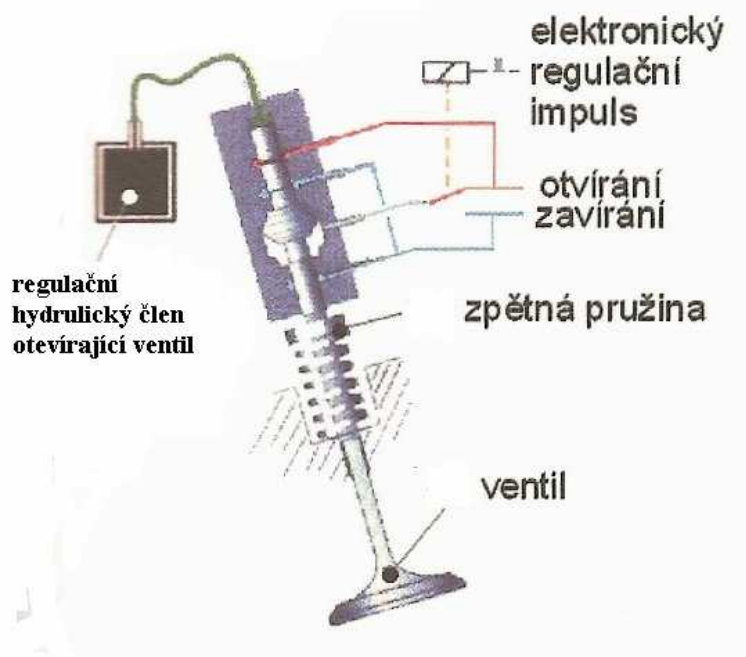
Systém VVA (Variable Valve Actuation) je další způsob ovládání ventilů. Tento systém vyvinula firma Fiat. Tento systém na rozdíl od systémů měnících časování ventilového rozvodu dovoluje měnit i zdvih ventilů a to u každého ventilu zvlášť. Řídící systém motoru pak nepotřebuje škrtkovací klapku, když se reguluje množství vzduchu pouze dobou otevření a zdvihem ventilu. VVA je vhodný jak pro vznětové tak pro zážehové motory. Umožňuje snížení spotřeby o 10% až 15% a navýšení točivého momentu a výkonu o stejnou hodnotu. Tímto systémem lze vyřadit i některé válce, pokud nejsou zrovna zapotřebí.



Obr. 2.6.2 Mechanicko-hydraulické ovládání ventilů VVA (Fiat UNIAIR) [4]

2.2.6.3 Elektrohydraulické ovládání ventilů

Tento systém, vyvíjený firmou Mercedes-Benz, na rozdíl od systému VVA nepoužívá vačkový hřídel. Ventily jsou zde ovládány samostatně a nezávisle elektrohydraulickým systémem řízeným elektronicky. Nový systém má přinést úsporu paliva až o 10%, méně škodlivin ve výfukových plynech a možnost účinnějšího brzdění motorem. Tento systém lze využít při konstrukci jak zážehových, tak vznětových motorů.



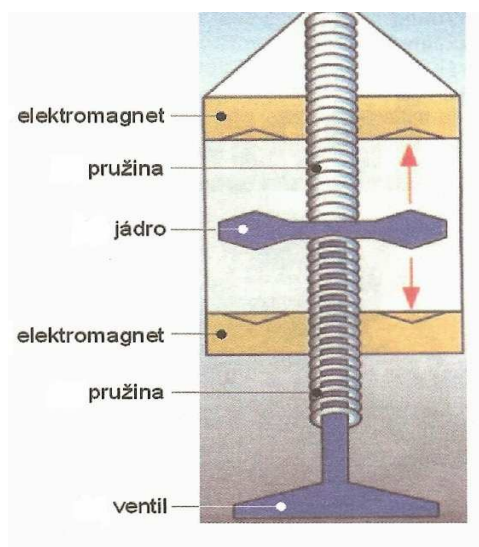
Obr. 2.6.3 Elektrohydraulické ovládání ventilů [1]

2.2.6.4 Elektromagnetické ovládání ventilů EVA

Otevírání a zavírání ventilů u systému EVA (Electromagnetic Valve Actuator) mají na starosti magnety. Tento systém je od firmy Aura Systém Inc. Princip tohoto systému je vcelku velmi jednoduchý. Ventil, na němž jsou dvě pružiny, je posouván elektromagnety, které působí na jádro spojené s ventilem. Doba otevření a velikost zdvihu je řízena elektronikou na základě podmínek chodu motoru.

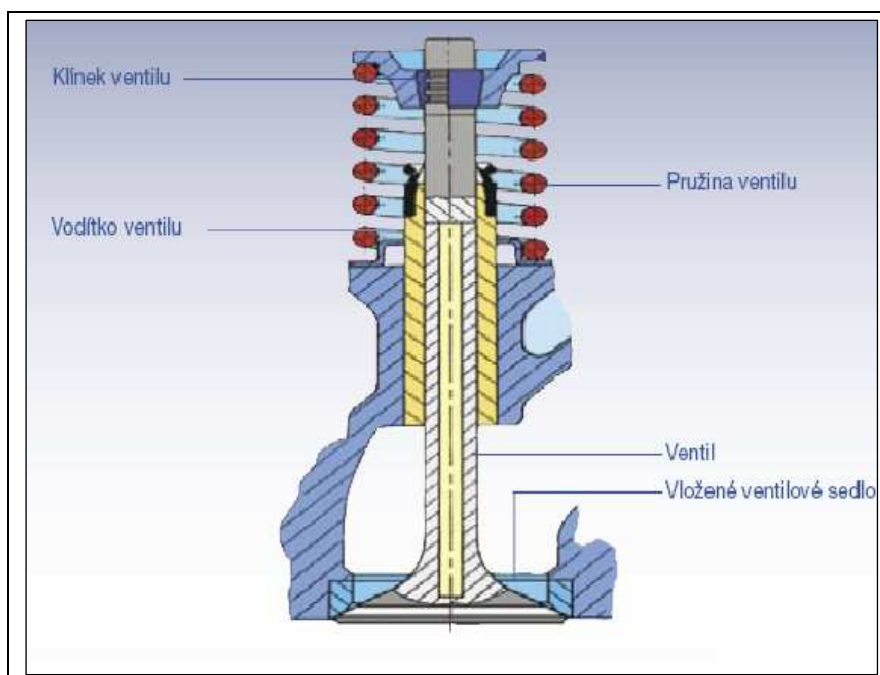
Systém EVA má v sobě všechny výhody obou předcházejících systémů a navíc není tolik náročný na prostor. Bohužel problémy s přesností při ustavování ventilu do dané polohy při různých režimech chodu motoru, jsou hlavním důvodem toho, že se tento systém do výroby nedostal. Mezi další nevýhody patří vysoká hmotnost elektromagnetických jednotek a nutnost velkého příkonu (kolem 4000 W při vysokých otáčkách).

Zatím je tento celý systém ve stádiu vývoje, ale nevýhody tohoto způsobu ovládání se jistě podaří vyřešit a za několik let se bude možná běžně používat jako dnešní systémy proměnného časování.



Obr. 2.6.4 Elektromagnetické ovládání ventilů EVA [1]

2.3 Části ventilového rozvodu



Obr. 3 Části ventilového rozvodu [6]

2.3.1. Ventily

Ventily slouží k otevírání a zavírání sacích nebo výfukových kanálů. Každý válec čtyřdobého motoru musí mít alespoň jeden sací a jeden výfukový ventil. Ventily musí klást nasávané směsi co nejmenší odpor. Průtočná plocha ventilu v sedle je závislá na průměru talířku ventilu. Zdvih ventilů bývá mezi 7,5 až 10 mm. Rychlost nasávané směsi by neměla přesáhnout 100 m/s. Průtočnou plochu lze také zvětšit použitím více menších ventilů, dosáhneme tím i menší hmotnosti pohybujících se hmot. Ventil se skládá z talířku (hlavy) s kuželovou těsnicí plochou (sedlem), z dřívku a stopky ventilu. Úhel sedla je nejčastěji 45°, někdy u sacích pro lepší proudění se používá 30°. Opatření ventilu se snižuje navaří-li se na sedlo talířku ventilu vrstva tvrdokovu o tloušťce 0,7 až 1,5 mm. Průměr ventilu je omezen vrtáním válce, největšího průměru se dosáhne použitím půlkulového spalovacího prostoru. Přejít z talířku ventilu do stopky začíná kuželovou plochou pod úhlem 12°-15°, které pak rádiusem navazuje na dřívku ventilu. Touto úpravou se snižují ztráty při obtékání plynů. Dřívku ventilu představuje jeho vodící část, která má mít co nejmenší vůli, aby nebyl do spalovacího prostoru přisáván olej. Dřívku musí být velmi odolný proti zadírání a opotřebení. Na stopce ventilu je jedna nebo více drážek, do nichž se vkládají klínky, které drží ventilovou miskou. Ventily jsou velmi mechanicky namáhané. Během jedné sekundy je až padesátkrát otevírán vačkou a následně zavírán ventilovou pružinou. Výfukové ventily jsou jedny z nejvíce namáhaných částí motoru. Teplota talířku dosahuje až 850°C. Na výfukový ventil působí krom mechanického a tepelného namáhání rovněž chemická koroze, ořez pevnými zplodinami spalování a opalování (nedosedá-li ventil po celém obvodu). Proto se výfukové ventily vyrábí z austenitických ocelí legovaných chromem, niklem a wolframem nebo molybdenem. Velmi často se používají dvojkovové ventily. Talířek ventilu a spodní část dřívku se jsou vyrobeny z žáruvzdorné chrom-manganové oceli s vysoce odolné proti opalu. Horní část dřívku je pak

vyrobena z tvrdé chrom-křemíkové oceli odolné proti otěru. Obě části jsou pak svařeny třením. U vysoce zatěžovaných motorů se používají výfukové ventily chlazené sodíkem. Sodík zde výrazně zlepšuje odvod tepla z talířku ventilu. Dutina ventilu je naplněna sodíkem z 50-60%. Sodík je za provozu kapalný a vlivem setrvačnosti se přelévá do horní části dutiny a teplo přechází ze sodíku do dřívku a následně do vedení v hlavě motoru. Tímto způsobem lze snížit teplotu talířku až o 100°C.

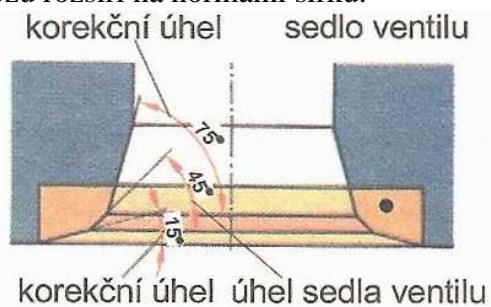
Sací ventil je chlazen čerstvou směsí, která jej velmi ochlazuje, přesto jeho teplota dosahuje až 500°C. Sací ventily se vyrábějí z chrom-křemíkové oceli.

2.3.2. Vedení ventilu (vodítka)

Vedení ventilu vede ventily a zajišťuje jejich správné dosednutí do sedla ventilu. U litinové hlavy lze vyrobit vodítka přímo v hlavě. U hliníkových hlav se používá většinou zalísované vedení ventilu. Vodítka se vyrábí buď z litiny legované mědí nebo fosforem nebo z červených a hliníkových bronzů. Vodítka mají obvykle na horních koncích nalisované stírací kroužky, které zamezují přílišnému průtoku oleje. Tím se snižuje spotřeba oleje, tvorba karbonu a především nežádoucí exhalace.

2.3.3. Sedla ventilů

U litinových hlav je možno vyrobit sedlo přímo do hlavy válců. U hlavy z hliníkové slitiny je nutno zalísovat sedlo z legované litiny nebo z tvrdé chrom-manganové oceli. Velmi tvrdá sedla z vysoce legovaných spěkaných kovů jsou velmi odolná proti mechanickému poškození a umožňují provoz na bezolovnatý benzin. Sedla ventilů mají většinou stejný úhel jako je úhel těsnící plochy talířku ventilu, obvykle 45°. Pro snížení odporu proděření je těsnící plocha ohraničena dvěma korekčními úhly, většinou 15° a 75°. Šířka sedla bývá u sacích ventilů kolem 1,5 mm a u výfukových asi 2 mm. Někdy se dělá odlišný úhel na talířku ventilu (asi 44°) a sedla v hlavě (např. 45°). Na takto upravených sedlech je nejdříve jen malá těsnící hrana, která se během provozu rozšíří na normální šířku.



Obr. 3.3 Vložené ventilové sedlo [1]

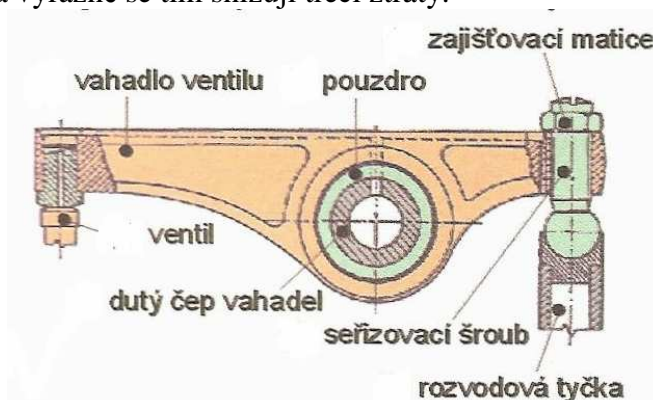
2.3.4. Ventilové pružiny

Ventilové pružiny uzavírají ventily na konci sání a výfuku a přitlačují je do sedel, čímž se utěsní spalovací prostor. Musí rovněž přitlačovat ventil se zdvihátkem k povrchu vačky, aby zdvih vačky měl požadovaný průběh. Síla, kterou vyvozují ventilové pružiny musí překonat všechny setrvačné a třecí síly v rozvodovém mechanismu. Dále musí překonat sílu vyvolanou pod tlakem ve válci. Nejčastěji se používají válcové vinuté pružiny z pružinové oceli. Většinou jsou použity dvě pružiny, zlomí-li se jedna, druhá zabrání spadnutí ventilu do válce. Ventilové pružiny jsou montovány s určitým předpětím. Pružiny při provozu na sebe nesmějí dosedat, mezi závity by měla být alespoň 0,5 mm vůle.

2.3.5. Ventilová vahadla a rozvodové páky

Ventilové vahadlo je dvouramenná páka, která přenáší pohyb z ventilových tyček na ventil u rozvodu OHV a z vačky na ventil u rozvodu OHC. Rameno na straně rozvodové tyčky OHV mívá šroub na seřizování ventilové vůle. Poloha seřizovacího šroubu se zajišťuje maticí. U rozvodu OHC se šroub umísťuje na straně ventilu. Styková plocha na vačce nebo ventilu bývá válcová. Většinou bývá jedna strana vahadla (na straně vačky) kratší, tím se dosáhne určitého převodu a zvýší se tím zdvih (převod bývá většinou kolem 1,5). Vahadlo musí být co nejtužší a při tom lehké, proto jsou zápusťkově kalená z ušlechtilých ocelí. Vahadla z výlisků z plechu jsou méně častá. Stykové povrchy jsou povrchově kaleny.

Rozvodová páka je jednoramenná páka, kde je jeden konec opřen o kulový čep, druhý přes vačku přenáší pohyb na ventil. Páky jsou většinou zápusťkově kaleny. U moderních automobilů jsou rozvodové páky opatřeny při styku s vačkou kladičkami, ty jsou uloženy na jehlových ložiskách a výrazně se tím snižují třecí ztráty.



Obr. 3.5 Ventilové vahadlo rozvodu OHV [1]

2.3.6. Části ventilového rozvodu na vymezení ventilových vůlí

Při chodu motoru dochází vlivem teploty k značné změně rozměrů. Tyto změny se snažíme kompenzovat vůli mezi vačkou a ventilem. Pokud, by došlo k vymezení této vůle ventil, by přestal dosedat do ventilového sedla a docházelo by k opalu ventilů. Naopak u příliš velké vůle by vznikala velký hluk a docházelo by i k značnému opotřebení dílů ventilového rozvodu.

2.3.6.1 Šroubek

Toto provedení je možné jen pokud je použito ventilové vahadlo nebo páka. Mezi pákou a ventilem se vloží měrka a šroub se dotáhne a zajistí, většinou kontra-maticí.

2.3.6.2 Podložka

Používá se u provedení OHC, když není použita rozvodová páka, ale jen hrníčkové zdvihátko. Podložka je umístěna mezi vačkou a zdvihátkem a změna vůle je možná pouze její výměnou nebo přebroušením.

2.3.6.3 Hydraulické hrníčkové zdvihátko

Toto řešení umožňuje automatické vymezení vůle. Požadovaná vůle se dosahuje pomocí tlaku oleje v mazacím systému motoru. Ventily jsou ovládány přímo pře hrníčkové zdvihátka.

Olej je přiváděn z hlavy válců skrz otvor ve zdvihátku do zásobní komůrky nad pístkem. Pístek je přitlačován vymežovací tlačnou pružinou na zdvihátko. Druhý konec vymežovací pružiny je opřen o objímku. Tyto části jsou od sebe odtlačovány, dokud není

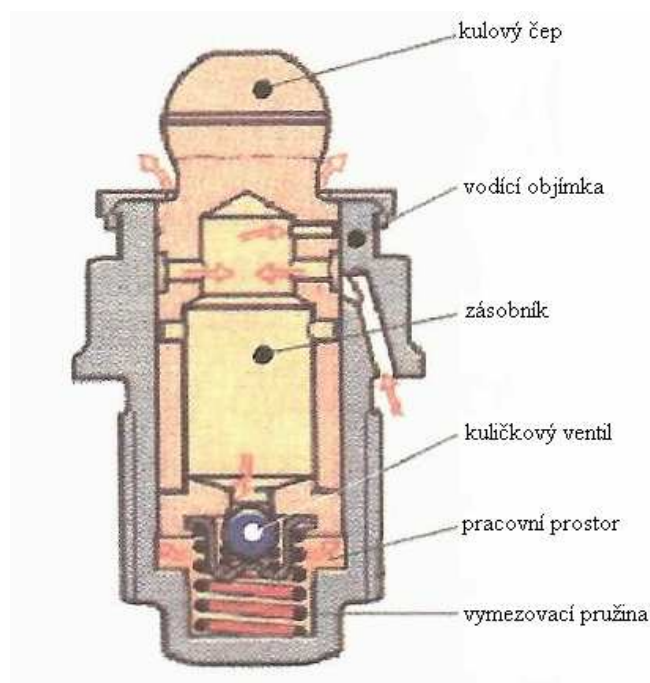
mezi zdvihátkem a vačkou žádná vůle. Pracovní prostor je propojen se zásobníkem přes zpětný kuličkový ventil. Labyrintové těsnění v zásobníku zabraňuje odtoku oleje.

Když začne vačka otevírat, uzavře se zpětný ventil a v pracovním prostoru vznikne tlak. Hrníčkové zdvihátko se pak chová jako tuhý díl. Vačka v průběhu zdvihu vyvolává větší a větší tlak, čímž část oleje unikne štěrbinou. Tím se nastaví určitá vůle asi 0,1 mm. Toto je nutné z hlediska přizpůsobení se zdvihátka určitému tepelnému roztahování částí motoru a ventilového rozvodu. Po uzavření ventilu již vačka na zdvihátko netlačí a tlak v pracovním prostoru klesá a tím se otevírá zpětný ventil. Olej může přetéci do zásobníku.

Nevýhodou je dražší výroba a stálý styk mezi vačkou a zdvihátkem, který zvyšuje třecí ztráty. Při běhu musí být vždy v prostoru zdvihátka olej, jinak nedojde k otevření ventilu.

2.3.6.4 Hydraulické opěrky zdvihátka

Používají se v případě, není-li ventil ovládán vačkou přímo přes hrníčkové zdvihátko. Používá se tedy u rozvodů OHV, CIH nebo OHC, je-li použita rozvodová páka. Pracují na stejném principu jako hydraulické hrníčkové zdvihátko.

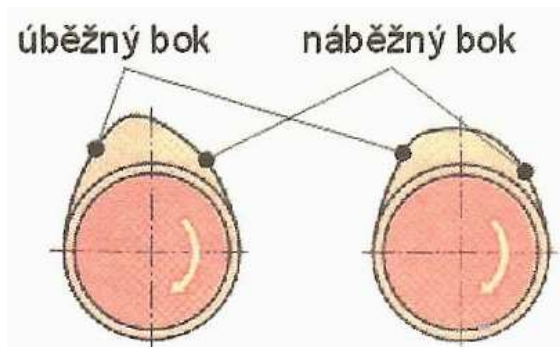


Obr. 3.6.4 Hydraulická opěrka zdvihátka [1]

2.3.7 Vačkový hřídel

Vačkový hřídel zajišťuje otevírání a dovoluje uzavírání ventilů ventilovými pružinami. Počátek otevírání je dán polohou na vačkovém hřídeli. Doba otevření, zdvih a rychlost otevírání a zavírání jsou určeny tvarem vačky. Tvar vaček je určen tak, aby se ventily rychle otevírali a zavírali a byly otevřeny dostatečnou dobu. U motorů se nejčastěji používají harmonické vačky, jejichž boky jsou tvořeny kruhovými oblouky, ty se pak dotýkají základní kružnice. Rozlišujeme dva typy harmonických vaček špičaté a strmé, neboli ostré vačky. U špičaté vačky se ventil otevírá pomalu a je plně otevřen jen velmi krátkou dobu. U ostré vačky se ventil otevírá a zavírá rychle, ale plně otevřen je delší dobu, namáhání je ovšem u této vačky mnohem větší. Často se používají asymetrické vačky, kde úběžný bok je strmější a umožňuje tak rychlejší uzavření ventilu a její delší plné otevření. Vačkové hřídele jsou zpravidla z jednoho kusu a to jako odlitky z tvárné nebo temperované litiny nebo zápustkově

kovány z uhlíkaté oceli. Vačky i čepy vačkových hřídelí jsou pak cementovány a kaleny, po kalení se brousí.



Obr. 3.7 Asymetrická harmonická vačka [1]

2.3.8 Pohon vačkových hřídelí

Pro správnou funkci motoru je velmi důležitá synchronizace otáček klikového hřídele a vačkového hřídele. Volí se převod 1:2, protože ventily se otevírají jen jednou za dvě otáčky. Dnes se používají téměř již jen ozubené řemeny a válečkové řetězy.

2.3.8.1 Pohon ozubeným řemenem

V současnosti asi nejpoužívanější řešení. Používá se u rozvodu OHC. Řemen se svojí malou hmotností a dostatečnou tuhostí zajišťuje tichý a bezúdržbový chod. Řemeny musí odolat velkým mechanickým (pevnost v tahu, rozměrová stálost) a chemickým (slaná voda, tuky a oleje) vlivům. Rozvodový řemen je vyztužen ocelovými nebo skelnými vlákny a je vyroben ze syntetických materiálů. Řemen musí být napínán kladkou i přesto že se vytahuje velmi málo. Životnost řemenu se většinou určuje počtem najetých kilometrů, poté se musí vyměnit.

2.3.8.2 Pohon ocelovým válečkovým řetězem

Toto řešení je výrobně dražší než ozubený řemen je však velmi spolehlivé a má vysokou životnost. Toto řešení se používá jak u rozvodu OHV tak u rozvodu OHC. U rozvodu OHC je však řetěz velmi dlouhý a vlivem setrvačných sil a opotřebením se prodlužuje, to pak zvyšuje hlučnost rozvodu. Proto je nutné používat samočinné nebo stavitelné napínáky.

2.3.8.3 Pohon ozubenými koly

Používá se zejména u rozvodů, kde je malá roztečná vzdálenost mezi vačkovou a klikovou hřídelí. Toto provedení je velmi spolehlivé avšak velmi konstrukčně složité. Je také značně nákladnější než předchozí řešení.

2.4 Variabilní ventilové rozvody

Variabilní ventilové rozvody se snaží eliminovat nedostatky pevného časování ventilů. Pro každé otáčky motoru je třeba jiného nastavení časování ventilů a jejich zdvihu. Při nízkých otáčkách motoru je potřeba kratší doba otevření ventilů a kratší doba jejich překrytí nebo vůbec žádné překrytí. Naopak při vysokých otáčkách požadujeme delší dobu otevření i překrytí ventilů.

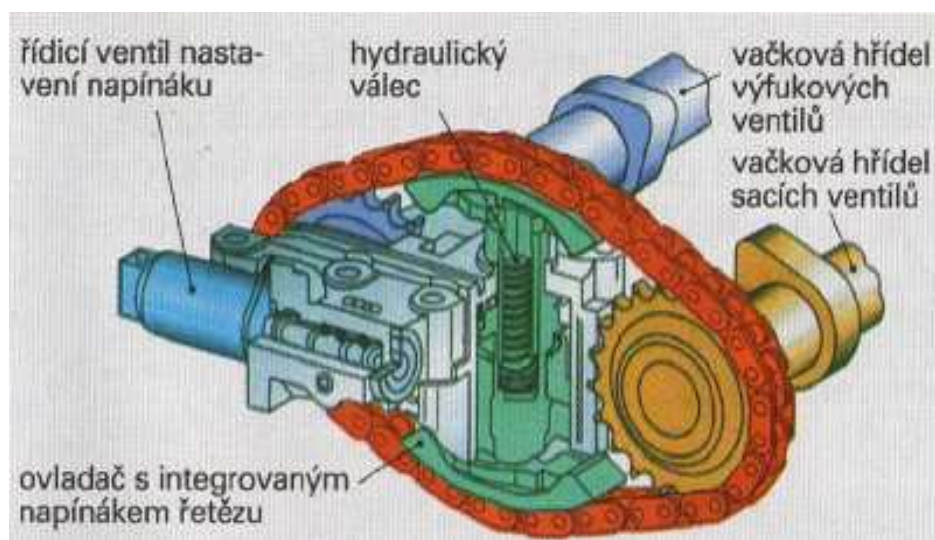
Nejrozšířenější systémy variabilních ventilových rozvodů můžeme dnes rozdělit do dvou hlavních skupin, první zahrnuje proměnné časování ventilů a druhá proměnný zdvih ventilů. Vývoj směřuje k tomu, že se oba systémy navzájem kombinují. Přejíždí se také postupně od dvoustupňové regulace přes regulaci vícestupňovou až k regulaci plynulé, která

se už opravdu dokáže přesně přizpůsobit daným otáčkám motoru. Plynulou regulaci používají systémy BMW Vanos, BMW Double Vanos, VVT-i a BMW Valvetronic. Použitím variabilních rozvodů u motorů dosáhneme lepšího průběhu točivého momentu, vyššího výkonu, zvyšuje se pružnost motoru, a také se snižuje spotřeba i emise motoru. Nejnovějším a převratným systémem je BMW VALVETRONIC s proměnným časováním ventilů a plynulou změnou zdvihu sacích ventilů, kterou nahrazuje škrtkovací klapku. V současnosti se ve stádiu vývoje nachází elektromagnetické a elektrohydraulické ovládání ventilů, které již bylo popsáno výše.

2.4.1 Porsche Variocam

Jde se o systém dvoustupňového fázového časování ventilů. Podmínkou pro použití je rozvod DOHC poháněný řetězem nebo rozvodovým ozubeným řemenem, od nichž je poháněna pouze výfuková vačka. Natočení vačkového hřídele sacích ventilů je dosaženo pomocí dvou napínacích kladek, které na jedné straně spojovací díl zkracují, na druhé prodlužují. Tento způsob změny časování ventilů najdeme kromě motorů Porsche například i u motoru Škody Octavia RS 1,8 I 20 V.

Hydraulicky ovládaný napínák řetězu spojuje oba vačkové hřídele, které se vůči sobě navzájem v malém rozsahu natácejí podle tlaku v ovládacím válečku napínáku. Tento tlak je řízen podle pokynů elektronické řídicí jednotky, která ovládá činnost celého motoru. Lze měnit okamžik zavření sacích ventilů, a tím i velikost vzájemného překrytí výfuku a sání, což ovlivňuje plnění válců, a tedy i průběh točivého momentu. Při volnoběžných a vysokých otáčkách je vačkový hřídel sacích ventilů nastaven tak, že sací ventily zavírají později (34° za DÚ). V tomto případě nedochází k překrývání s výfukovými ventily (sací ventil otevírá až 12° za HÚ), což přispívá ke stabilizaci běhu naprázdno a co nejvyššímu výkonu při vysokých otáčkách. Při nízkých a středních otáčkách motoru je vačkový hřídel sacích ventilů nastaven tak, že zavírá sací ventily dříve (12° za DÚ) a otevírá 10° před HÚ. V tomto případě dochází k mírnému překrývání s výfukovými ventily. Dosáhne se tím dokonalejšího výplachu a lepšího naplnění válců a tím zlepšení průběhu točivého momentu.



Obr. 4.1 Staviteľný napínák systému Porsche Variocam [1]

2.4.2 BMW Vanos

Dva klasické vačkové hřídele čtyřventilového rozvodu DOHC plynule mění časování sacích ventilů tím, že se podle elektronického programu plynule natáčejí až o 42° vůči klikovému hřídeli. V hlavě řetězového kola je šikmými drážkami vedené vložené pouzdro, spojené posuvně vnitřním přímým drážkováním s vačkovým hřídelem. Pouzdro drží v základní poloze vinutá pružina. Působením tlaku oleje se pouzdro posouvá proti pružině a současně se spolu s vačkovým hřídelem natáčí vzhledem k řetězovému rozvodovému kolu, takže se mění počátek i konec otevření ventilů.

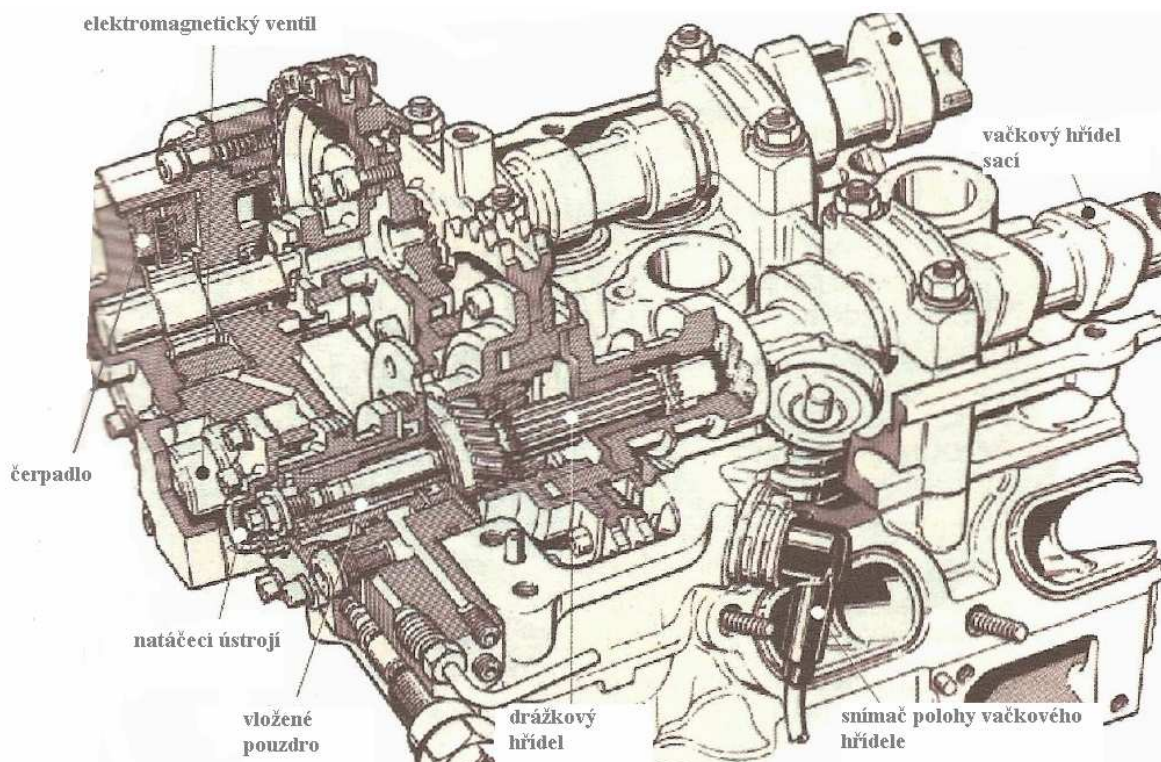
Podobný systém použila poprvé v roce 1985 firma Alfa Romeo ve svém motoru Alfa Romeo 2.0 TS. Časování sacích ventilů se měnilo pouze fázově a nikoli plynule.

2.4.3 VVT-i (Variable Valve Timing – inteligent)

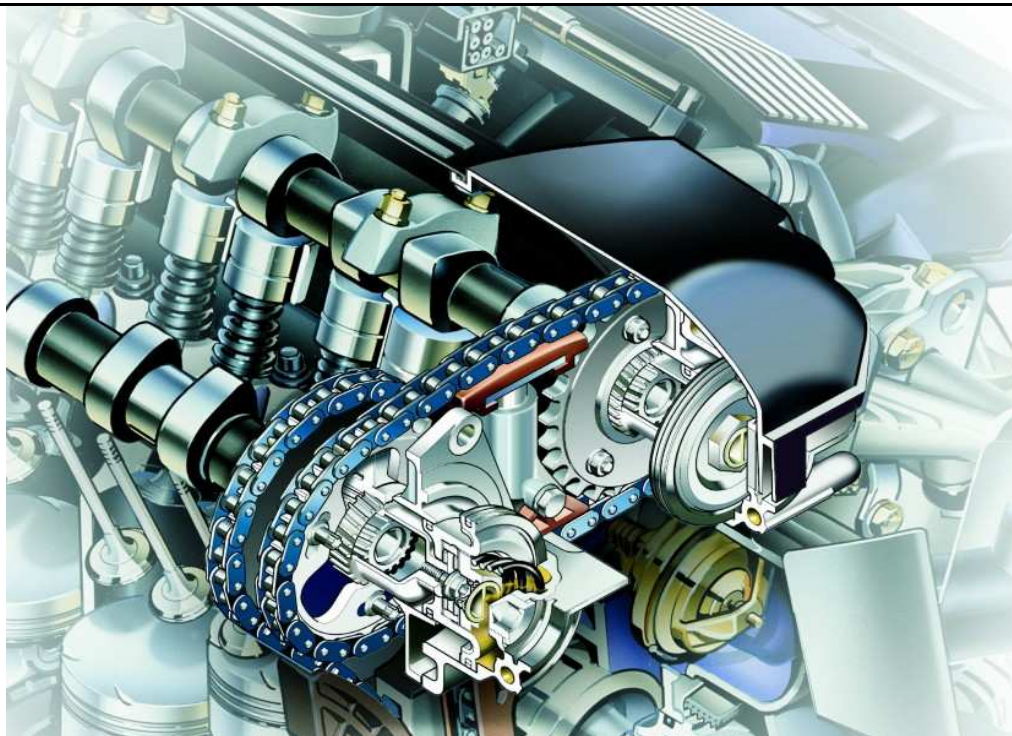
Tento systém se používají motory vozů Toyota a Lexus. Plynule mění časování sacích ventilů a pracuje na obdobném principu jako Vanos.

2.4.4 BMW Double Vanos (Bi - Vanos)

Na rozdíl od systému Vanos umožňuje přenastavení vačkového hřídele sacích ventilů ve větším rozsahu (až o 60° vůči klikovému hřídeli) a navíc ještě ovládá vačkový hřídel výfukových ventilů. Tím se dosáhlo ještě lepší možnosti regulace časování ventilového rozvodu.



Obr. 4.2 BMW Vanos [1]



Obr. 4.4 BMW Double Vanos [7]

2.4.5 Porsche Variocam plus

Jde o systém, který automobilka Porsche vyvinula pro svůj model Porsche 911 Turbo. K systému Porsche Variocam se přidal ještě proměnný zdvih ventilů. Poměrováno náročností konstrukce přináší tato kombinace ze všech systémů proměnného ovládní ventilů nejlepší výsledky. Dosáhlo se jednak, vysoké úrovně výkonu a točivého momentu, ale i zlepšení spotřeby (průměrně o 18%) a snížily se emise (průměrně o 13%). Geniálně je vyřešený způsob, jakým se mění zdvih ventilů, ovládaných dvojicí hrníčkových zdvihátek, z nichž jedno je uloženo uvnitř druhého tak, aby vnitřní zdvihátko ovládala vačka se zdvihem pouhé 3 mm, zatímco vnějším zdvihátkem pohybuje dvojice vaček se zdvihem 10 mm. Přepnutí z mírných vaček na ostré okamžitě způsobí víc než dvojnásobný nárůst točivého momentu, proto musí zasáhnout řídicí jednotka úpravou polohy škrťací klapky a míry re-cirkulace výfukových plynů, aby tento přechod byl plynulý a zůstal řidiči utajen. Závislé veličiny, které ovlivňují nastavení, jsou otáčky motoru, poloha pedálu plynu, teplota motorového oleje a zařazený převodový stupeň. Při dlouhém zdvihu jsou obě zdvihátka spojena jisticím kolíkem ovládaným proti vratné pružině tlakem oleje dávkovaným elektromagnetickým ventilem. V druhém případě na ventil účinně působí jen prostřední zdvihátko ovládané vačkou s krátkým zdvihem, vnější zdvihátko se pohybuje naprázdno.



Obr. 4.5 Porsche Variocam Plus [8]

2.4.6 VTEC (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control)

Jde se o systém proměnného časování a zdvihu ventilů. Zdvih i časování se mění skokově. Tento systém byl původně automobilkou Honda vyvinut pro vozy F1. Poprvé byl tento systém představen v roce 1988 pro čtyřventilové motory s rozvodem DOHC. V současnosti je v nabídce Hondy několik verzí motoru VTEC. Troj a dvouvačková verze motoru SOHC VTEC (řídí pouze sací ventily) a dvě verze DOHC VTEC (řídí jak sací, tak výfukové ventily). Ještě ve vývoji je systém VTEC-DI s přímým vstřikem benzínu, schopný spalovat extrémně chudé směsi s poměrem až 65:1.

2.4.6.1 VTEC SOHC – dvouvačková verze:

Při nízkých otáčkách pracuje s plným zdvihem pouze jeden ventil a druhý zůstává téměř zcela uzavřen, jeho zdvih je pouze 0,65 mm. Nezůstává plně uzavřen z důvodu chlazení ventilových sedel, nevytváří se před ním přetlak a docílí se tím lepšího vrstvení zápalné směsi. Nejbohatší směs se tak hromadí kolem svíčky. Motory s tímto rozvodem mohou tak při nízkém zatížení pracovat s velmi chudou směsí (až 22:1). Teprve při vysokých otáčkách jsou prostřednictvím hydraulického pístku propojena vahadla obou ventilů, oba tedy pracují se stejným zdvihem dobou otevření.



Obr. 4.6.1 VTEC SOHC - dvouvačková verze [9]

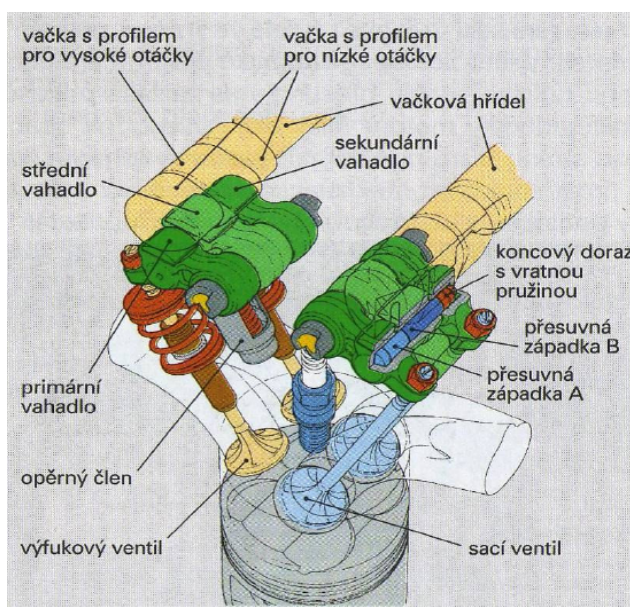
2.4.6.2 VTEC SOHC – trojvačková verze:

Při nízkých otáčkách pracuje stejně jako dvouvačková verze. Ve středních otáčkách se připojí první ventil k druhému a pracují se stejným zdvihem. A teprve ve vysokých otáčkách se zapojuje „ostrá“ vačka, která mění výšku, i dobu zdvihu sacích ventilů.

Obě tyto verze jsou někdy nazývány jako VTEC-E (Economy)

2.4.6.3 VTEC DOHC (2 profily vaček)

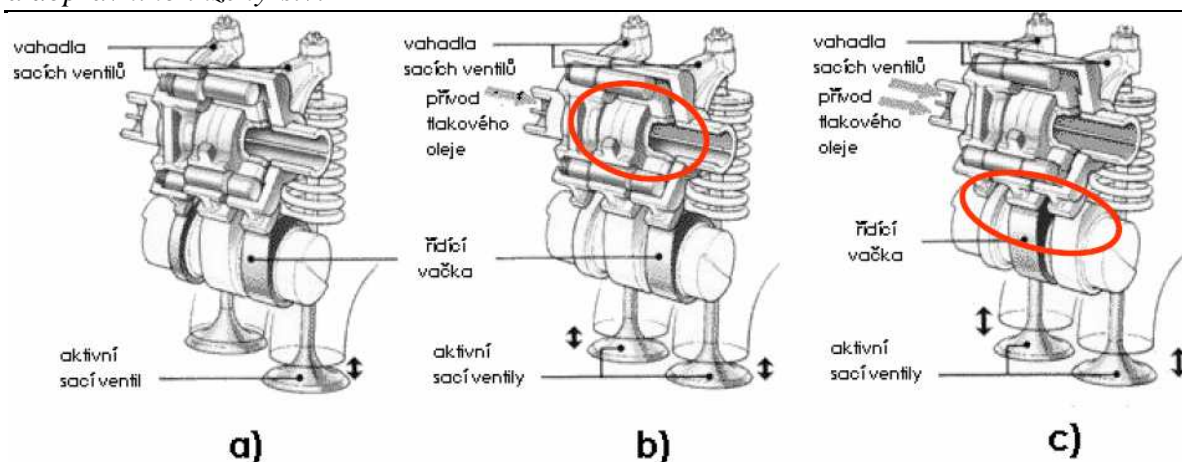
Skutečně naplno využívá výhod systému motor DOHC VTEC, který mění časování jak sacích, tak výfukových ventilů. Každá vačková hřídel má tři vačky na válec a tři oddělená vahadla. Při nízkých a středních otáčkách jsou sací i výfukové ventily řízeny nízko profilovanými vačkami (se stejným zdvihem) a dvěma vnějšími vahadly. Když motor dosáhne vysokých otáček, pístek spojí tři vahadla v jedno a ventily jsou následně řízeny střední, vysoko profilovanou vačkou.



Obr. 4.6.3 princip činnosti systému VTEC DOHC [1]

2.4.6.4 VTEC DOHC (3 profily vaček)

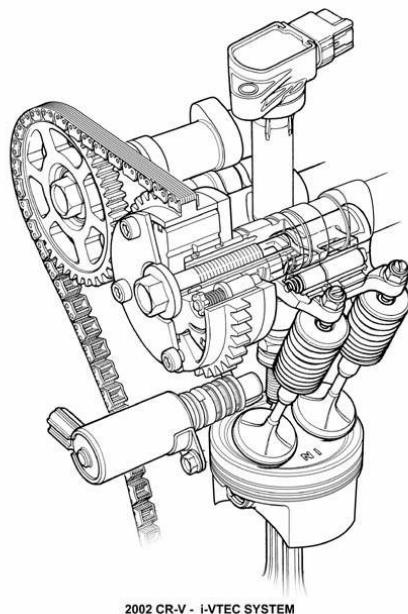
Každá vačková hřídel má tři vačky na válec a tři oddělená vahadla. Při nízkých a středních otáčkách jsou sací i výfukové ventily řízeny nízko profilovanými vačkami (ale s rozdílným zdvihem) a dvěma vnějšími vahadly. Když motor dosáhne vysokých otáček, pístek spojí tři vahadla v jedno a ventily jsou následně řízeny střední, vysoko profilovanou vačkou. Takže rozdíl oproti předchozí verzi spočívá v rozdílném zdvihu ventilů při nízkých a středních otáčkách. Princip činnosti zůstává zachován. Na obrázku je znázorněn princip činnosti při různém rozpětí otáček.



**Obr. 4.6.4 VTEC DOHC (3 profily vaček) – a) nízké otáčky
b) střední otáčky
c) vysoké otáčky
[11]**

2.4.6.5 i-VTEC

Jde o verzi VTEC, která je doplněna otočným hydromotorem pro plynulou změnu časování. Tento systém používá automobil s největším měrným výkonem v kategorii atmosférických motorů Honda S2000.



Obr. 4.6.5 i-VTEC [10]

2.4.7 BMW Valvetronic

Systém Valvetronic kombinuje systém Double Vanos s plně variabilním zdvihem sacích ventilů. Plně variabilním zdvihem ventilů plně nahrazuje škrťací klapku. Motory vybaveny tímto systémem mají škrťací klapku pouze pro nouzový režim, jinak je stále otevřena. Náhradou škrťací klapky se tak podařilo odstranit ztráty vznikající turbulencí proudění vzduchu kolem jen částečně otevřené klapky. Škrťací klapka zůstává tedy stále

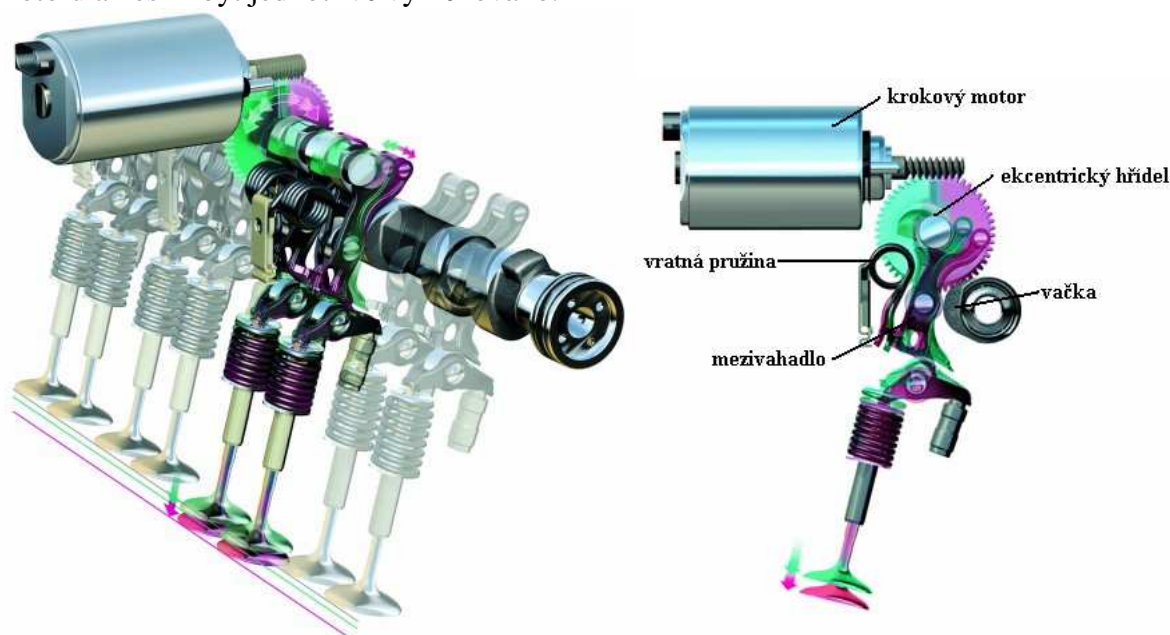
otevřena a určujícím faktorem množství směsi, která se dostává do válců je velikost zdvihu sacích ventilů. Náhradou škrtkové klapky se tak má snížit spotřeba až 14 %.

Valvetronic je tedy kombinací systému Double Vanos, který mění polohu vačkové hřídele vůči klikové hřídeli až o 60° a elektromechanického zařízení měnící plynule zdvih sacích ventilů od minimálního zdvihu (pouhé 0,3 mm) až po maximální zdvih (9,7 mm). Změna nastavení mezi minimálním a maximálním zdvihem trvá jen 300 milisekund. Za stejnou dobu se přenastaví i Double Vanos. Sama automobilka BMW označuje svůj Valvetronic za největší motorový projekt ve své historii. Poprvé byl tento systém představen u vozu BMW 316 Compact s čtyřválcovým šestnáctiventilovým zážehovým motorem o objemu 1,8 l disponující výkonem 85 kW. Postupně jsou tímto systémem doplňovány i ostatní motory BMW. Motory s tímto systémem nejenže mají nižší spotřebu, ale i vyšší výkon (přibližně o 14%) a rychleji reagují na sešlápnutí plynového pedálu.

Rozvodový mechanismus sacích ventilů je doplněn mezivahadlem, tvořícím spolu s běžným vahadlem spojení mezi vačkou a ventilem. S mezivahadlem pohybuje excentrický hřídel, uložený nad ním. Tento pohyb je právě zárukou odpovídajícího zdvihu ventilů. S excentrickým hřídelem pohybuje šnekovým převodem elektromotor.

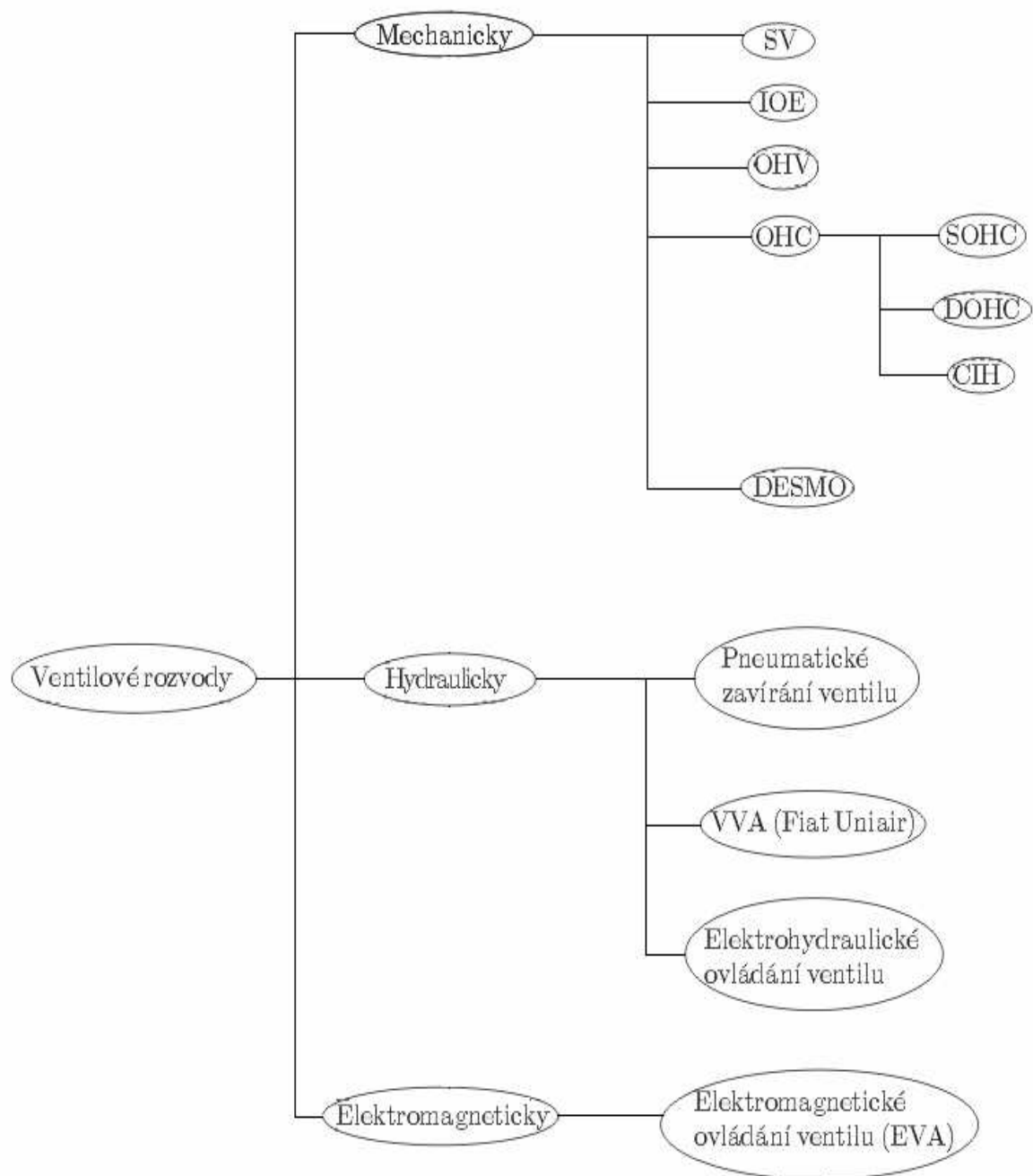
Aby bylo dosaženo přesného zdvihu všech ventilů a především stejného minimálního zdvihu 0,3 mm, jsou všechny díly tohoto rozvodu vyráběny s velkou přesností (tolerance mezivahadla je pouze 0,008 mm). Odchyłka otevření zdvihu ventilu smí činit pouze $\pm 10\%$. Proto jsou navíc mezivahadlo (mezipáka) a vahadlo rozděleny do 4 klasifikačních tříd. Toto označení je na dílech vypáleno laserem. Minimální zdvih (0,3 mm), je navíc ve výrobě měřen a popřípadě dvojice mezivahadla a vahadla je nahrazena jinou klasifikační třídou.

Vačková hřídel a excentrická hřídel je vedena ve speciálním lůžku, na kterém je zachycen i elektromotor zajišťující nastavování excentrické hřídele. Toto lůžko je párováno s hlavou motoru a nesmí být jednotlivě vyměňováno.

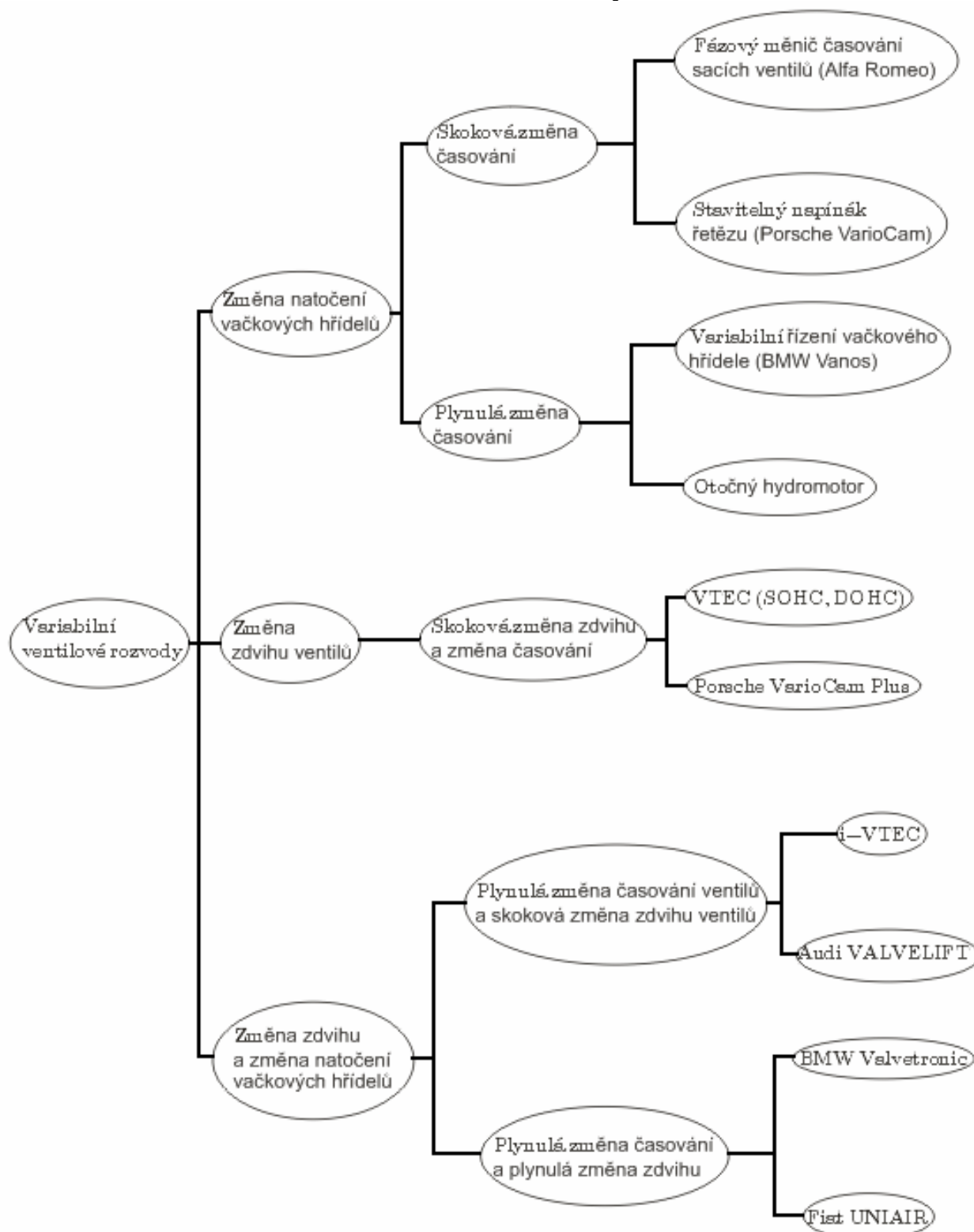


Obr. 4.7 BMW Valvetronic [12, 13]

2.4 Tabulka rozdělení rozvodů



2.5 Tabulka rozdělení variabilních ventilových rozvodů



3. Závěr

Stále přísnější emisní normy ze strany ochránců přírody a požadavky na vyšší výkon, točivý moment a nižší spotřebu ze strany zákazníků vyvíjejí tlak na výrobce, aby stále vylepšovali a zdokonalovali pohonné jednotky. Ventilový rozvod je jeden z nejdůležitějších systémů mající na tyto požadavky vliv.

Během vývoje spalovacího motoru se objevilo mnoho typů ventilových rozvodů, z nichž se některé používají doposud a jiné se již téměř nevyskytují. Některé z těchto systémů jsem se Vám snažil v této práci přiblížit. Zaměřil jsem se zejména na různé systémy variabilních ventilových rozvodů, které jsem zpracoval do tabulky, protože si myslím, že plně variabilní ventilový rozvod je nyní hlavním cílem konstruktérů. Tyto rozvody jako elektrohydraulické a elektromagnetické již existují, ale narážejí na spoustu technických problémů, zejména cenu a dostatečnou spolehlivost. Přesto si myslím, že se jim to v brzké době podaří nebo přijdou jiná konstrukční řešení a my budeme moci jezdit s výkonnějšími a úspornějšími automobily.

Literatura

- [1] Jan, Z., Žďánský, Automobily 3 (motory), Avid s.r.o Brno, 2000
- [2] <http://www.desmomania.wz.cz/desmomania/desmodromic.htm>
- [3] <http://cs.wikipedia.org/wiki/OHC>
- [4] http://www.italiaspeed.com/2005/cars/other/technology/02/uniair_350.jpg
- [5] <http://www.auta5p.eu/informace/motory/motory.htm>
- [6] http://cesomot.cz/doc_cz/AE-vyrobni-program-ventilovych-rozvodu.pdf
- [7] http://argyrides.eu/bmw/features/doubleVanos/2713_832.jpg
- [8] http://www.autozine.org/technical_school/engine/variocam_plus.jpg
- [9] http://www.honda-praha.cz/data/mod_news/73/pict/small-3-vtec3.jpg
- [10] http://www.canadiandriver.com/testdrives/images/02crv_i-vtec.jpg
- [11] http://www.v6performance.net/gallery/data/500/1239Three_stage_VTEC.jpg
- [12] <http://www.km77.com/tecnica/motor/valvetronic/med/mecanismo.jpg>
- [13] <http://www.kfztech.de/kfztechnik/motor/steuerung/valvetronic1a.jpg>