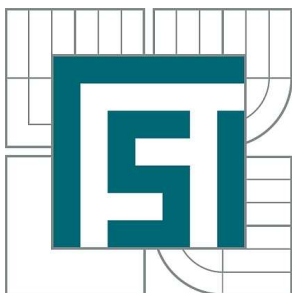


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## VENTILOVÉ ROZVODY ČTYŘDOBÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

VALVETRAINS OF FOUR STROKE COMBUSTION ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JAROSLAV PŘESLIČKA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. VÁCLAV PÍŠTĚK, DrSc.

BRNO 2012



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Jaroslav Přeslička

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:

### **Ventilové rozvody čtyřdobých spalovacích motorů**

v anglickém jazyce:

### **Valvetrains of four stroke combustion engines**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracovat přehled technických řešení rozvodových mechanismů čtyřdobých pístových spalovacích motorů.

Cíle bakalářské práce:

Zpracovat přehled technických řešení rozvodových mechanismů SV, OHV a OHC čtyřdobých pístových spalovacích motorů.

Zpracovat přehled nekonvenčních řešení rozvodových mechanismů (IOE, CIH, desmodromické rozvody).

Zpracovat přehled druhů pohonů vačkového hřídele.

Zpracovat přehled řešení variabilních rozvodových mechanismů.

Seznam odborné literatury:

STONE , Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire : Palgrave, 1999. 641 s. ISBN 0-333-74013-0.

Kraftfahrzeug - Kurbelwellen : Konstruktion, Berechnung, Herstellung. 2001. Auflage. Landsberg/Lech Verlag Moderne Industrie 2001. 70 s. ISBN 3-478-93243-2.

Hafner, K.E., Maass, H.: Kräfte, Momente und deren Ausgleich in der Verbrennungskraftmaschine, Springer-Verlag Wien-New York 1995

HEISLER, Heinz. Advanced Engine Technology. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2002. 794 s. ISBN 1-56091-734-2.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 9.11.2011

L.S.

---

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## ABSTRAKT

Práce se zabývá technickými řešeními rozvodových mechanismů čtyřdobých pístových spalovacích motorů, jejich výhodami a nevýhodami. V začátku je popsán pracovní oběh čtyřdobého spalovacího motoru a nastíněna problematika časování rozvodu. Následuje popis konstrukce ventilů, vačkových hřídelů, druhů vaček a průběhu zdvihu ventilu. Dále se text zabývá rozvodovými mechanismy SV, OHV, OHC a nekonvenčními rozvodovými mechanismy. Další část práce je zaměřena na způsoby pohonu vačkového hřídele. Poslední část se věnuje variabilním rozvodovým mechanismům. V závěru je naznačena možná budoucnost ventilových rozvodů spalovacích motorů.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Čtyřdobý spalovací motor, ventilový rozvod, SV, OHV, OHC, IOE, desmodromický rozvod, pohon vačkového hřídele, variabilní rozvodové mechanismy.

## ABSTRACT

The thesis deals with technical solutions of four stroke piston engines valvetrains, their advantages and disadvantages. First it describes four stroke engine working cycle and outlines the problems of valvetrain timing. Then follows the description of valve design, camshafts, types of cams and valve lift course. Another part of the text occupies with SV, OHV, OHC and unconventional valvetrains. The following part is focused to the ways of camshaft drive. The last part is engaged in variable valvetrains. At the end there is indicated the future of combustion engines valvetrains.

## KEYWORDS

Four stroke combustion engine, valvetrain, SV, OHV, OHC, IOE, desmodromic valvetrain, camshaft drive, variable valvetrains.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PŘESLIČKA, J. *Ventilové rozvody čtyřdobých spalovacích motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 48 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Ing. Václava Píštěka, DrSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 23. května 2012

.....

Jaroslav Přeslička

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat panu prof. Ing. Václavu Píštěkovi, DrSc., vedoucímu práce, za cenné rady a připomínky. Také bych chtěl poděkovat rodičům za podporu nejen při studiu na vysoké škole.



# OBSAH

|                                                      |           |
|------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ÚVOD.....</b>                                     | <b>10</b> |
| <b>1 ČTYŘDOBÝ SPALOVACÍ MOTOR.....</b>               | <b>11</b> |
| <b>2 VENTILY .....</b>                               | <b>13</b> |
| 2.1 VENTIL.....                                      | 13        |
| 2.2 SEDLO VENTILU .....                              | 15        |
| 2.3 VENTILOVÁ PRUŽINA .....                          | 15        |
| 2.4 OPĚRNÁ MISKA VENTILOVÉ PRUŽINY .....             | 16        |
| 2.5 VENTILOVÉ KLÍNKY .....                           | 16        |
| 2.6 VEDENÍ VENTILU .....                             | 17        |
| 2.7 UTĚSNĚNÍ DŘÍKU VENTILU .....                     | 17        |
| 2.8 POOTÁČENÍ VENTILŮ .....                          | 18        |
| <b>3 VAČKOVÝ HŘÍDEL, VAČKY.....</b>                  | <b>19</b> |
| 3.1 DRUHY VAČEK .....                                | 19        |
| 3.2 PRŮBĚH ZDVIHU VENTILU .....                      | 20        |
| <b>4 ZÁKLADNÍ DRUHY ROZVODOVÝCH MECHANISMŮ .....</b> | <b>21</b> |
| 4.1 SV ROZVOD.....                                   | 21        |
| 4.2 OHV ROZVOD .....                                 | 23        |
| 4.3 OHC ROZVOD .....                                 | 25        |
| 4.4 VENTILOVÁ VŮLE.....                              | 27        |
| <b>5 NEKONVENČNÍ ROZVODOVÉ MECHANISMY.....</b>       | <b>29</b> |
| 5.1 IOE ROZVOD .....                                 | 29        |
| 5.2 CIH ROZVOD.....                                  | 30        |
| 5.3 DESMODROMICKÉ ROZVODY.....                       | 31        |
| 5.4 PNEUMATICKÉ ZAVÍRÁNÍ VENTILŮ.....                | 33        |
| 5.5 MECHANICKO-HYDRAULICKÉ OVLÁDÁNÍ VENTILŮ .....    | 34        |
| 5.6 ELEKTROHYDRAULICKÉ OVLÁDÁNÍ VENTILŮ .....        | 35        |
| 5.7 ELEKTROMAGNETICKÉ OVLÁDÁNÍ VENTILŮ .....         | 35        |
| <b>6 POHON VAČKOVÉHO HŘÍDELE .....</b>               | <b>36</b> |
| 6.1 POHON VAČKOVÉHO HŘÍDELE ŘETĚZEM .....            | 36        |
| 6.2 POHON VAČKOVÉHO HŘÍDELE OZUBENÝM ŘEMENEM.....    | 38        |
| 6.3 POHON VAČKOVÉHO HŘÍDELE OZUBENÝM SOUKOLÍM.....   | 39        |
| <b>7 VARIABILNÍ ROZVODOVÉ MECHANISMY.....</b>        | <b>40</b> |
| 7.1 NATÁČENÍ VAČKOVÉHO HŘÍDELE .....                 | 41        |
| 7.2 ZMĚNA PROFILU VAČKY.....                         | 43        |
| 7.3 DALŠÍ VARIABILNÍ SYSTÉMY .....                   | 44        |
| <b>ZÁVĚR.....</b>                                    | <b>45</b> |
| <b>POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE.....</b>                | <b>46</b> |

# ÚVOD

Bez spalovacích motorů si současný svět dovedeme představit jen těžko. Spalovací motory jsou významným zdrojem energie, umožňují přepravu osob, zboží, surovin, intenzivní zemědělskou produkci, výrobu elektrické energie (elektrocentrály, záložní zdroje)... V současné době za ně neexistuje odpovídající náhrada.

Tato práce je určena všem, kteří se hlouběji zajímají o čtyřdobé spalovací motory. Měla by čtenáři v krátkosti poskytnout ucelený přehled o konstrukci ventilových rozvodů, které jsou jednou z klíčových částí čtyřdobých spalovacích motorů, výhodách a nevýhodách jednotlivých řešení. Text se převážně zabývá vačkovými rozvodovými mechanismy, které jsou nejpoužívanější, jsou však zmíněna i některá další řešení. Práce předpokládá základní znalost konstrukce čtyřdobých spalovacích motorů.

V první části je upřesněno, co rozumíme pod pojmem rozvod motoru a požadavky na něj kladené, popsán je i pracovní oběh čtyřdobého motoru a naznačeno je časování rozvodu. V další části se text věnuje konstrukci ventilů, vačkovým hřídelům a vačkám. Následuje stať věnovaná základním rozvodovým mechanismům (SV, OHV a OHC), která se zabývá i ventilovou vůlí. Další část popisuje nekonvenční rozvodové mechanismy včetně mechanismů, které nepoužívají k vyvození pohybu ventilu vačku. V další části jsou popsány způsoby pohonu vačkového hřídele. Poslední část ukazuje způsoby změny časování rozvodu a zdvihu ventilů na některých variabilních rozvodových mechanismech.

Pokud v textu není uvedeno jinak, je míněn zážehový atmosférický (nepřepřlňovaný) motor s přípravou směsi mimo válec (karburátor, nepřímé vstřikování). Pojmy jako nízká výška motoru, nahoře a dole vycházejí ze stojatého motoru, nezávisle na skutečném uspořádání motoru, poloze válců apod. Dole se tedy nachází klikový hřídel a nahoře hlava válce (válců).

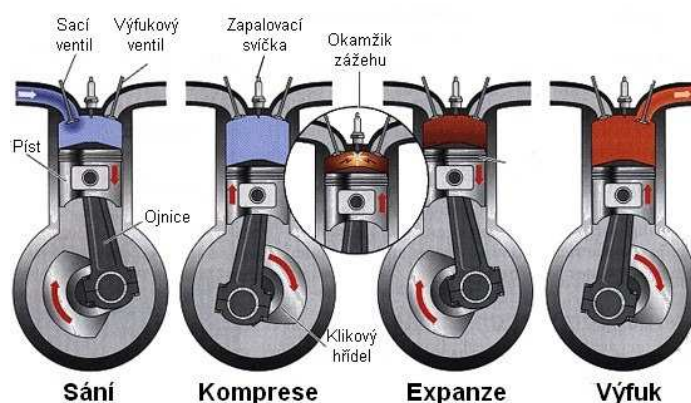
# 1 ČTYŘDOBÝ SPALOVACÍ MOTOR

Čtyřdobý spalovací motor je cyklicky pracující pístový stroj s vnitřním spalováním. Přeměňuje chemickou energii paliva jeho spalováním na mechanickou práci. Ke své činnosti potřebuje výměnu obsahu pracovního prostoru (spalovacího prostoru, vnitřního prostoru uzavřeného pístem), k tomu slouží rozvod motoru. Čtyřdobé motory používají téměř výhradně ventilové rozvody, šoupátkové rozvody se příliš nerozšířily (problémy s mazáním a chlazením [1]). V dnešní době se s jiným než ventilovým rozvodem u čtyřdobého motoru prakticky nesetkáme.

Rozvodem motoru rozumíme všechny součásti, které ovládají výměnu obsahu pracovního prostoru [2]. Hlavním požadavkem na ventilový rozvod je řízení plnění pracovního prostoru a odvod spalin spolehlivě v celém rozsahu provozních otáček. Toto musí být zajištěno tak, aby motor pracoval co nejefektivněji. Dalšími požadavky mohou být například nízká hmotnost (zejména z důvodu menších setrvačných hmot), nízký výkon potřebný pro pohon rozvodu, malá hlučnost, vysoká životnost, nenáročná údržba... Vyhovět všem těmto požadavkům není snadné, vždy se jedná o kompromis přizpůsobený danému motoru a jeho užití.

## Pracovní oběh čtyřdobého spalovacího motoru

Pro zpřesnění je zde stručně popsán pracovní oběh čtyřdobého motoru s důrazem na činnost ventilů. Čtyřdobý cyklus probíhá během čtyř zdvihů pístu (pohybů z úvratě do úvratě), tedy během dvou otáček klikového hřídele. Popis je proveden na zážehovém motoru se dvěma ventily na válec, začíná okamžikem zážehu stlačené směsi před koncem kompresního zdvihu před horní úvratí (HÚ).

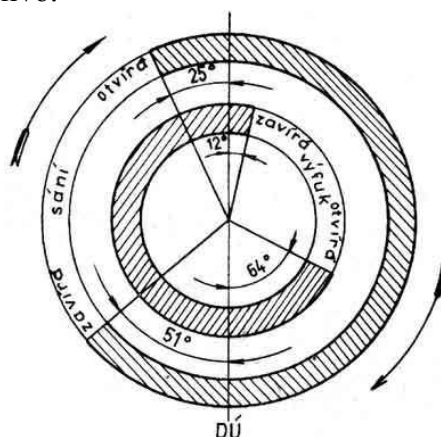


Obr. 1.1 Pracovní oběh čtyřdobého spalovacího motoru [3]

Sací i výfukový ventil je uzavřen. Stlačená směs je zažehnuta přeskočením elektrické jiskry mezi elektrodami zapalovací svíčky. Úhel natočení klikového hřídele před HÚ, kdy je směs zažehnuta, se nazývá předstih zážehu. Dále v této části uváděné úhly jsou úhly natočení klikového hřídele. Předstih zážehu se dle aktuálních podmínek chodu motoru (zejména v závislosti na otáčkách) pohybuje od  $0^\circ$  do  $45^\circ$  tak, aby bylo dosaženo nejvyššího tlaku krátce za HÚ. Následuje expanzní (pracovní zdvih), během kterého se píst pohybuje z HÚ do dolní úvratí (DÚ). Před DÚ,  $35^\circ$  až  $90^\circ$ , se začíná otevírat výfukový ventil. Vlivem stále ještě velkého tlaku ve válci (asi  $0,25$  až  $0,40$  MPa) unikne většina spalin ještě před dosažením DÚ. Po dosažení DÚ se píst začíná pohybovat k HÚ a vytlačuje zbylé spaliny s přetlakem asi  $0,20$  MPa. Motor je tak „brzděn“ méně, než kdyby byl výfukový ventil otevřen až v DÚ, ztrátová práce je menší. Ještě v průběhu výfukového zdvihu,  $0^\circ$  až  $40^\circ$  před HÚ, je otevírán

sací ventil. Po nějakou dobu okolo HÚ jsou tedy otevřeny oba ventily, sací se otevírá a výfukový zavírá. Toto se označuje jako stříh (překrytí) ventilů. Vlivem zpomalování pístu před HÚ (díky klikovému mechanismu) vytvářejí z motoru proudící spaliny podtlak a dochází tak k nasávání směsi (vzduchu a paliva) do spalovacího prostoru (při vyšších otáčkách). Dochází k tzv. výplachu, který má pozitivní vliv na naplnění pracovního prostoru čerstvou směsí (účinnost plnění) a odstraňuje poslední zbytky spalin, zároveň dochází k ochlazení spalovacího prostoru.  $0^\circ$  až  $30^\circ$  za HÚ je výfukový ventil zcela uzavřen, píst se pohybuje k DÚ, probíhá sací zdvih. Přestože se píst v DÚ na okamžik zastaví a následně se pohybuje k HÚ, tedy proti proudu nasávané směsi, je sací ventil stále otevřen. Vlivem setrvačnosti proudí směs do válce i proti pohybu pístu (při vyšších otáčkách). Sací ventil je zcela uzavřen  $35^\circ$  až  $90^\circ$  za DÚ a probíhá stlačování směsi (komprese). Stlačovaná směs je zažehnuta s daným předstihem před HÚ a celý děj se opakuje.

Pracovní oběh vznětového motoru se liší v několika bodech. Nasáván je pouze vzduch (to platí i pro zážehový motor s přímým vstřikováním), do kterého je s určitým předstihem (předvstřík, obdoba předstihu zážehu) vstřikováno palivo (motorová nafta), které se vzněcuje od kompresí ohřátého vzduchu (kompresní poměr je větší než u motorů zážehových). Během stříhu ventilů je možné nechat vniknout část vzduchu do výfukového kanálu, ochladit tak výfukový ventil a dokonale odvést všechny spaliny. Ke zhoršení emisí nemůže dojít, protože ve vzduchu není přítomno palivo.

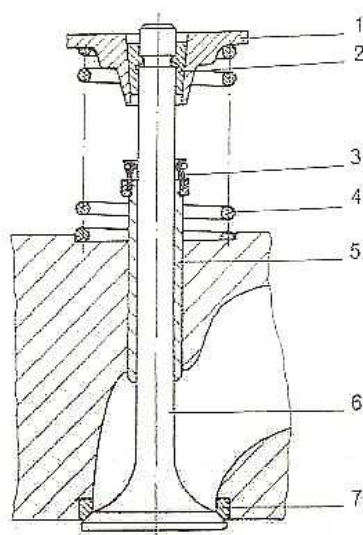


Obr. 1.2 Kruhový diagram časování rozvodu [4]

Uváděné úhly otevírání a zavírání ventilů jsou orientační (převzato z [5]) a v literatuře se liší, mají sloužit k utvoření představy o skutečném oběhu čtyřdobého spalovacího motoru. Tyto úhly se vynášejí do diagramů (časovací diagramy), tvoří časování rozvodu (časování ventilů), obr. 1.2. Velikost úhlů zpoždění a předstihu otevírání a zavírání ventilů vůči úvratím (a průběh zdvihů ventilů) mají významný vliv na naplnění pracovního prostoru, jeho vypláchnutí a dosahované parametry motoru (výkon, spotřeba paliva, emise...). Plně vyhovují pouze v úzkém rozsahu otáček, závisí na druhu a rychloběžnosti motoru, vycházejí z celkového řešení sacího a výfukového systému motoru [2]. Časování ventilů (časování rozvodu) je u motorů s „pevným časováním ventilů“ kompromisem. Tento problém částečně nebo úplně řeší variabilní rozvodové mechanismy (rozvodové mechanismy s proměnným časováním, případně i zdvihem ventilů), které jsou popsány v poslední části této práce.

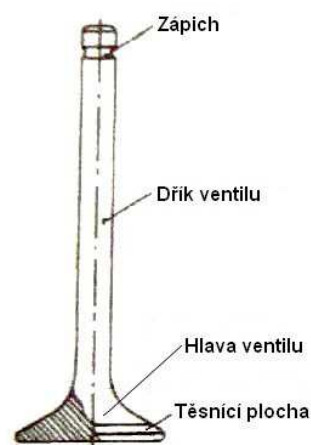
## 2 VENTILY

Používají se jednoduché talířové ventily s kuželovou dosedací (těsnící) plochou. Ventil je vlivem tlaku ve spalovacím prostoru tlačěn do sedla, což má pozitivní vliv na jeho těsnost. Konstrukce je obdobná jako na obr. 2.1. Motor musí mít nejméně dva ventily na válec (jeden sací a jeden výfukový). Pokud má motor více než dva ventily (3, 4, 5, 6) na válec, hovoříme o víceventilové technice. Výfukové ventily bývají menší než sací (neplatí při použití různého počtu sacích a výfukových ventilů), rychle vyprázdnění pracovního prostoru zajišťuje vysoký tlak spalin. Menší ventil také přejímá méně tepla a méně se deformuje. Pokud se výfukové ventily zmenší, je možné sací ventily zvětšit a zlepšit tak plnění válce. Průměr výfukového ventilu bývá asi 85 % průměru sacího ventilu (platí při použití stejného počtu sacích a výfukových ventilů). Použití více ventilů umožňuje zvětšení průtočných průřezů oproti řešení se dvěma ventily, s tím souvisí lepší plnění a menší ztráty při výfuku. Ventily jsou menší a lehčí, motor tak může pracovat ve vyšších otáčkách (menší setrvačnost). Ventilové pružiny mohou být slabší, síly v rozvodovém mechanismu jsou menší. Nejčastěji se používá čtyř ventilů na válec. Nevýhodou je větší složitost, zejména hlavy válce (válců).



Obr. 2.1 Součásti ventilu [2]

- 1 - opěrná miska ventilové pružiny
- 2 - ventilové klínky
- 3 - utěsnění dříku ventilu
- 4 - ventilová pružina
- 5 - vedení ventilu (vodítko)
- 6 - ventil
- 7 - vložené ventilové sedlo

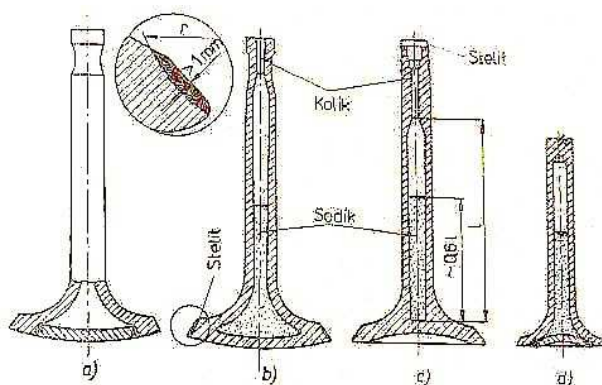


Obr. 2.2 Části ventilu [2]

### 2.1 VENTIL

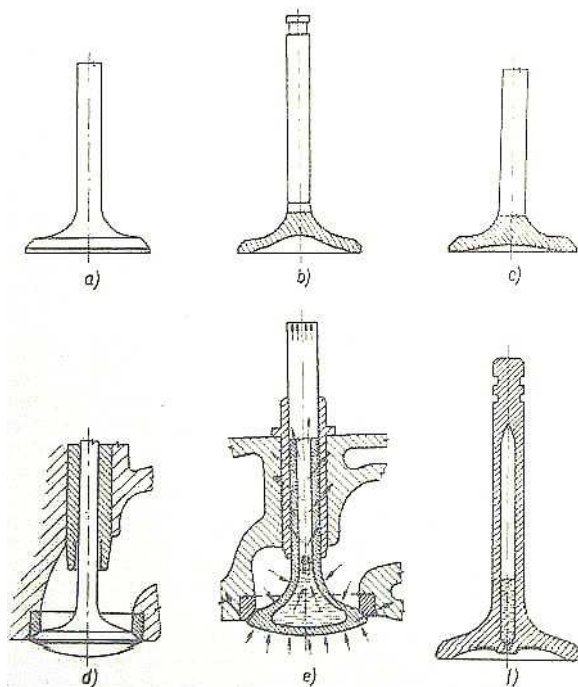
Ventil musí proudícím plynům klást malý odpor a společně se sedlem ventilu dobře uzavírat spalovací prostor. Ventil je vysoce namáhanou součástí spalovacího motoru. Je namáhán vysokými teplotami (zvláště výfukový, sací je ochlazován proudem čerstvé náplně), setrvačnými silami, silami ventilových pružin a tlaky ve spalovacím prostoru. Teplota hlavy výfukového ventilu benzínového motoru dosahuje (800 až 850) °C. To klade vysoké požadavky na materiál ventilu. Ventil se skládá z hlavy (talíře), dříku a stopky. Hlava ventilu musí být dostatečně tuhá, nesmí se deformovat ani při vysokých teplotách, zároveň však musí být i poddajná, aby se přizpůsobila malým deformacím sedla. Dosedací (těsnící) plocha musí být odolná proti opotřebení, někdy je tvořena návarem tvrdokovu. Hlava přechází kuželovou částí a zaoblením do dříku ventilu. Kuželová část zajišťuje plynulou změnu průtočného průřezu a zvyšuje tuhost hlavy. Zaoblení má stejný účel, navíc významně snižuje koncentraci napětí. Dřík ventilu je jeho vodící částí. Musí být odolný proti zadírání ve vedení a proti opotřebení, bývá proto chromován. Na stopce ventilu je zápich (nebo několik zápichů), do kterého se vkládají dvoudílné klínky upevňující misku ventilových pružin (ventilové pružiny). Čelní plocha dříku přenáší síly ovládající ventil, proto musí být dostatečně tvrdá. Někdy se opatřuje návarem tvrdokovu. [2], [6]

Výfukové ventily se vyrábějí většinou jako bimetalové (dvoukovové). Hlava a spodní část dříku obtékaná výfukovými plyny jsou zhotoveny ze žáruvzdorné (chrom-manganové) oceli a dřík z chromokřemičité oceli. Obě části jsou svařeny třením. Chrom-manganová ocel se nedá vytvrdit, proto musí být dosedací plocha hlavy vytvořena návarem tvrdokovu (stelit). Pro nejvíce zatížené motory se používají výfukové ventily chlazené sodíkem (obr. 2.3). Sodík vyplňuje (50 až 60) % objemu dutiny ve ventilu, zbytek je vyplněn inertním (netečným) plynem. Sodík se teplem roztaví (teplota tání 97 °C, teplota varu 883 °C) a při pohybu ventilu se setrvačností pohybuje v dutině. Tím přenáší teplo z hlavy do dříku, kde je přes vedení a hlavu motoru odváděno do chladicího média. [2], [6]



Obr. 2.3 Sodíkem chlazené ventily [6]

Používá se více tvarů hlav ventilů. Tulipánová hlava, obr. 2.4b, se hodí pro více zatížené motory, je tuhá a deformuje se méně než hlava na obr. 2.4a. Její povrch je ale větší, takže přejímá více tepla. Vypouklá hlava, obr. 2.4d, dobře vede proud výfukových plynů, používá se u více zatížených motorů. [6]

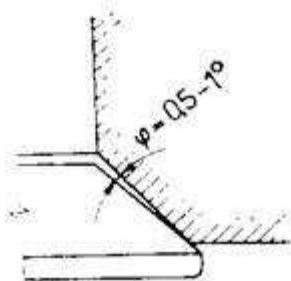


Obr. 2.4 Běžné tvary hlav ventilů [6]

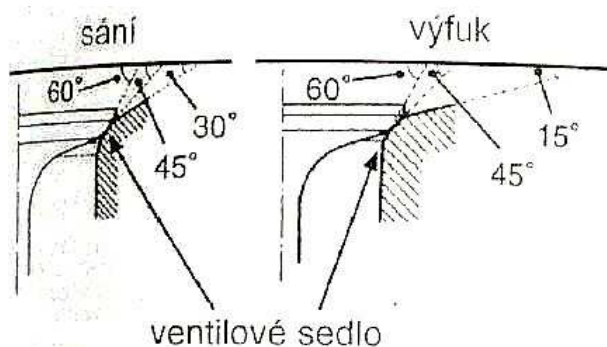
Zkouší se i ventily keramické, vyrobené ze speciálního vysoce odolného silikonového nitridu a dalších přísad. Tyto ventily dobře odolávají vysokým teplotám a tlakům. Navíc jsou až o 55 % lehčí než ocelové ventily. [2]

## 2.2 SEDLO VENTILU

V hlavách válců z hliníkových slitin, někdy i v litinových hlavách, jsou pro zvýšení pevnosti dosedacích ploch vložena prstencová sedla ventilů z odolnějších materiálů. Používají se sedla z vysocelegovaných ocelí nebo litiny. Vložená sedla jsou v hlavě nalisována. V litinových hlavách válců mohou být ventilová sedla vyrobena přímo. V sedle je vytvořena kuželová dosedací (těsnicí) plocha pro hlavu ventilu pod úhlem  $45^\circ$  (někdy u sacích ventilů  $30^\circ$ , míněno k rovině kolmé k ose ventilu). Tato plocha musí mít vhodnou šíři. Je-li příliš úzká, odvádí z hlavy ventilu málo tepla a přítlačná síla (tlak) je velká. Velká přítlačná síla však zaručuje dobrou těsnost, proto je šířka plochy kompromisem mezi těsností a dobrým odvodem tepla. Šířka dosedací plochy sacího ventilu bývá 1,5 mm, výfukového 2 mm. Úhel dosedací plochy sedla a ventilu se liší o  $(0,5 \text{ až } 1)^\circ$ , aby se ventil rychleji zaběhl a dobře těsnil. Styková plocha je zpočátku úzká a dobře těsní, během provozu se pak postupně zvětšuje až na normální šířku, obr. 2.5. Aby bylo možné vyrobit přesnou šíři dosedací plochy v sedle ventilu, jsou nad touto plochou a pod ní umístěny tzv. korekční úhly, viz obr. 2.6. Tyto úhly tvoří přechodové kuželové plochy, ty zároveň zlepšují proudění plynů otevřeným ventilem. [2], [6]



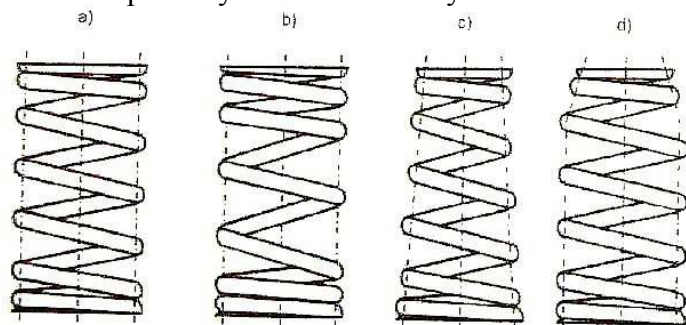
Obr. 2.5 Odlišnost úhlu sedla a ventilu [6]



Obr. 2.6 Korekční úhly v sedle ventilu [7]

## 2.3 VENTILOVÁ PRUŽINA

Ventilová pružina zajišťuje zpětný pohyb ventilu (jeho zavírání), udržuje kontakt součástí rozvodu během celého zdvihu (otevírání a zavírání) ventilu a zabráňuje jeho samovolnému otevření vlivem rozdílů tlaků. Musí mít dostatečnou sílu, aby s jistou rezervou překonala setrvačnost ventilu, tření ve vodítku a síly od tlaků proudících plynů, její síla ale nesmí být nadměrná, aby nezvyšovala výkon potřebný pro pohon rozvodu. Nesmí docházet k tomu, že by vačka „utekla“ ventilu. Ventil se musí pohybovat přesně tak, jak mu umožňuje vačka (sledovat přesně zdvihovou křivku danou vačkou), nesmí dojít ke ztrátě kontaktu s vačkou. Pokud toto není zajištěno, rozvod je nadměrně namáhán rázy při obnovení kontaktu s vačkou, případně odskakováním ventilu ze sedla po prudkém dosednutí neřízeném vačkou, to má rovněž nepříznivý vliv na chod a výkon motoru.



Obr. 2.7 Tvary ventilových pružin [2]

- a) válcový symetrický
- b) válcový nesymetrický  
(s proměnným stoupáním)
- c) kuželový
- d) včelinkový

Nejpoužívanější jsou válcové šroubové pružiny (dnes prakticky výhradně) s konstantním stoupáním závitu. Často se ventilové pružiny montují souose dvě na jeden ventil, přičemž vnitřní pružina má opačný směr vinutí než vnější, aby nedošlo k jejich zaklesnutí. Toto řešení omezuje možnost ztráty funkčnosti pružiny vlivem jejího nadměrného rozkmitání, protože každá z pružin má jinou frekvenci vlastních kmitů. Kromě toho může v případě prasknutí (únavový lom) jedné z pružin druhá zabránit havárii motoru (kolizi ventilu s pístem, vpadnutí ventilu do válce). Další konstrukční úpravou proti rozkmitání ventilové pružiny je proměnné stoupání závitu nebo proměnný průměr vinutí pružiny (kuželovitý nebo soudečkovitý tvar). Pro zlepšení únavové pevnosti se drát ventilových pružin brousí nebo kuličkuje. Mezi závity pružiny při plně otevřeném ventilu by měla být mezera asi 0,5 mm. Závěrné závity pružiny jsou zabroušeny do roviny, aby byla styková plocha co největší a aby pružina měla co nejmenší sklon k vybočování. Ventilové pružiny pro sací i výfukové ventily téhož motoru bývají stejné [6].



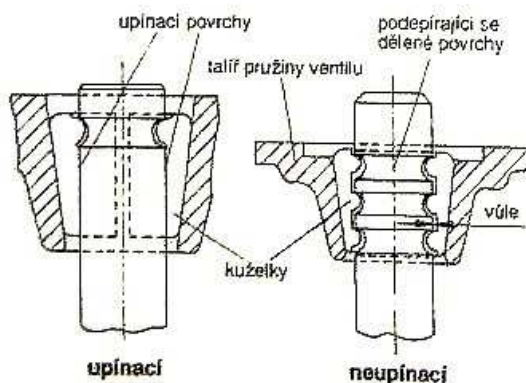
Obr. 2.8 Ventilové pružiny [8]

## 2.4 OPĚRNÁ MISKA VENTILOVÉ PRUŽINY

Opěrná miska (talíř) ventilové pružiny přenáší sílu pružiny přes ventilové klínky na ventil. Musí být co nejlehčí, aby nezvyšovala setrvačnou hmotu ventilu. Často, zvláště u hlav z hliníkových slitin, je i mezi pružinu a hlavu vkládána opěrná miska, ta slouží především ke zvětšení stykové plochy.

## 2.5 VENTILOVÉ KLÍNKY

Ventilové klínky (kuželky) spojují opěrnou misku ventilu a ventil. Rozlišují se klínky (kuželky) upínací a neupínací, obr. 2.9.



Obr. 2.9 Ventilové klínky [2]

## 2.6 VEDENÍ VENTILU

Vedení ventilu slouží ke středění ventilu k sedlu a k odvádění tepla z ventilu. Mělo by tedy být dostatečně dlouhé a vůle mezi vedením a ventilem co nejmenší. Velká vůle ztěžuje přestup tepla, malá vůle zvyšuje nebezpečí zadření ventilu. U výfukového ventilu je třeba, aby vedení sahalo co nejdříve k hlavě ventilu a aby ochlazovaná část dříku byla co nejdelší. Prodlužováním dříku ventilu se však zvětšuje výška motoru a hmotnost pohybujících se částí rozvodu. Přibližováním vedení k hlavě ventilu se zužuje kanál a rostou odpory proudění plynů. [2]

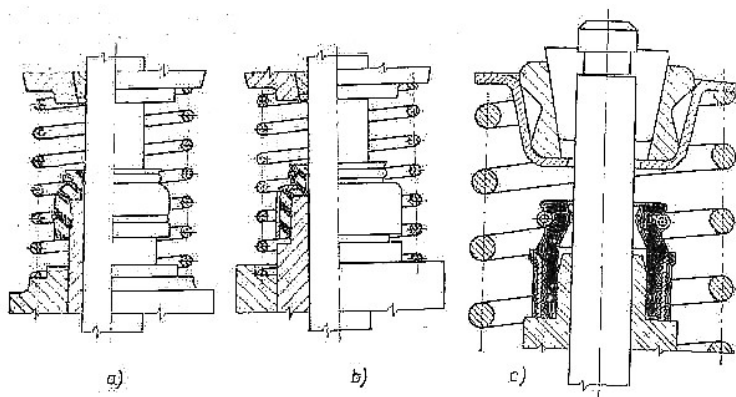


Obr. 2.10 Vodítka ventilů [9]

V hlavách ze slitin hliníku jsou zalisována speciální vedení (vodítka) s dobrými kluznými vlastnostmi z perlitické šedé litiny nebo hliníkové bronzy, ten se používá pro více zatížené motory (lépe odvádí teplo). [2]

## 2.7 UTĚSNĚNÍ DŘÍKU VENTILU

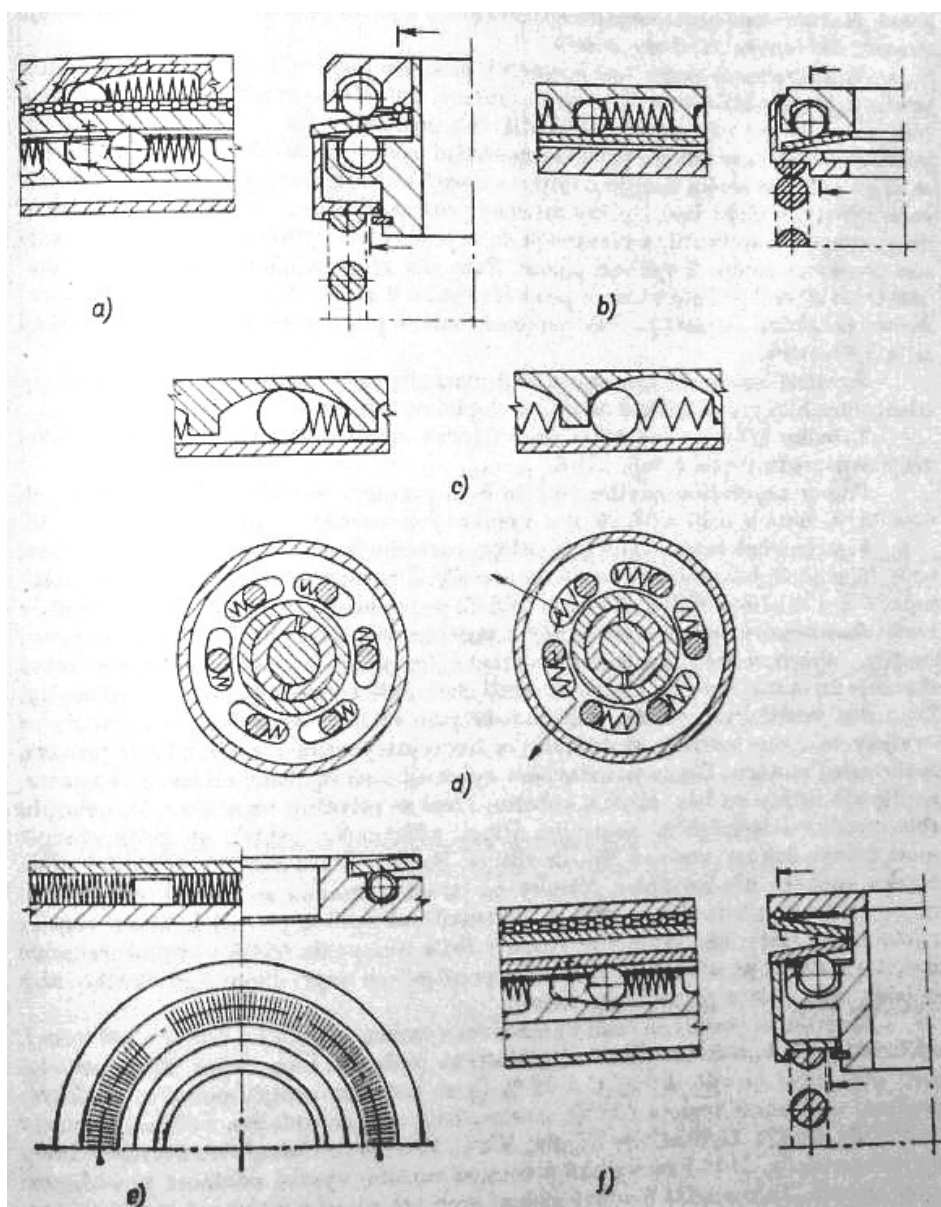
Aby nedocházelo k pronikání oleje přes vedení ventilu do kanálu, musí být dřík ventilu utěsněn. Těsnění dříku ventilu je umístěno na horním konci vedení. Musí zajišťovat vytvoření dostatečného olejového filmu ve vedení ventilu, ale musí také zabránit průniku oleje do sacího nebo výfukového kanálu. Pronikání oleje by mělo za následek vyšší spotřebu oleje, vznik pevných úsad (karbonu na dříku ventilu) a zhoršení emisí motoru. [2]



Obr. 2.11 Utěsnění dříku ventilu [6]

## 2.8 POOTÁČENÍ VENTILŮ

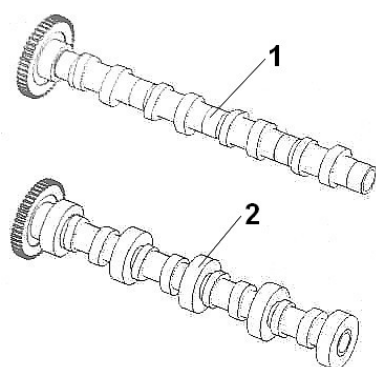
Rovnoměrného opotřebení dosedacích ploch a jejich čištění od úsad se dosahuje pootáčením ventilu. Ventil se může samočinně otáčet působením tečné síly vyvolané stlačováním ventilu, která působí ve směru vinutí pružiny. Pootáčení ventilu se dosáhne vyosením síly ovládající ventil. Pod miskami pružin ventilů může být u rychloběžných motorů umístěno zařízení pro pootáčení ventilů dle obr. 2.12. Pružný kroužek se opírá při uzavřeném ventilu o miskou a nosný kroužek. Nosný kroužek má tvarované výřezy, ve kterých jsou kuličky s pružinami. Nosný kroužek se při otevírání ventilu opře o kuličky a přesune je do nejnížší části vybrání. Na kuličky působí síla pružin, která vrátí kuličky do výchozí polohy při zavírání ventilu. Toto zařízení pootočí ventil o  $6^\circ$  až  $8^\circ$  při jednom zdvihu ventilu. Životnost tohoto zařízení není příliš velká, proto se nedoporučuje pro silněji zatížené motory. [6]



Obr. 2.12 Zařízení k pootáčení ventilu [6]

### 3 VAČKOVÝ HŘÍDEL, VAČKY

Vačkový hřídel přeměňuje otáčivý pohyb získaný od klikového hřídele na posuvný pohyb ventilů. Tuto přeměnu zajišťují vačky. Jedna vačka zpravidla přísluší jednomu nebo dvěma stejnojmenným ventilům. Kromě vaček se na vačkovém hřídeli nachází válcové čepy, sloužící k jeho uložení v bloku nebo hlavě motoru, zpravidla v kluzných ložiscích. Vačkový hřídel může být uložen v dělených (otevřené provedení) nebo nedělených (tunelové provedení) kluzných ložiscích. Při použití nedělených ložisek musejí mít ložiskové čepy dostatečně velký průměr, aby bylo možné vačkový hřídel prostrčit ložisky v bloku motoru nebo hlavě válců. Jeden konec vačkového hřídele je upraven pro upevnění kola rozvodu, které slouží k jeho pohonu, někdy je toto kolo uprostřed hřídele. Vačkový hřídel bývá dutý z důvodu snížení hmotnosti, dutina může sloužit k rozvodu mazacího oleje k ložiskům a vačkám. Všechny čepy a vačky jsou povrchově upraveny, cementovány a kaleny. Konečná úprava tvaru a ovality je docílena jemným broušením. [2]



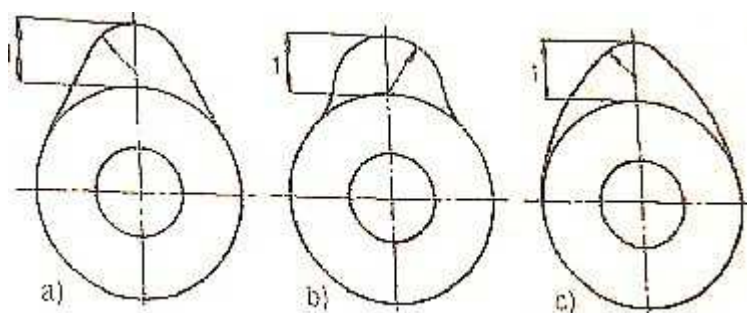
Obr. 3.1 Vačkový hřídel [2]

1 - pro uložení v dělených ložiscích

2 - pro uložení v nedělených ložiscích

#### 3.1 DRUHY VAČEK

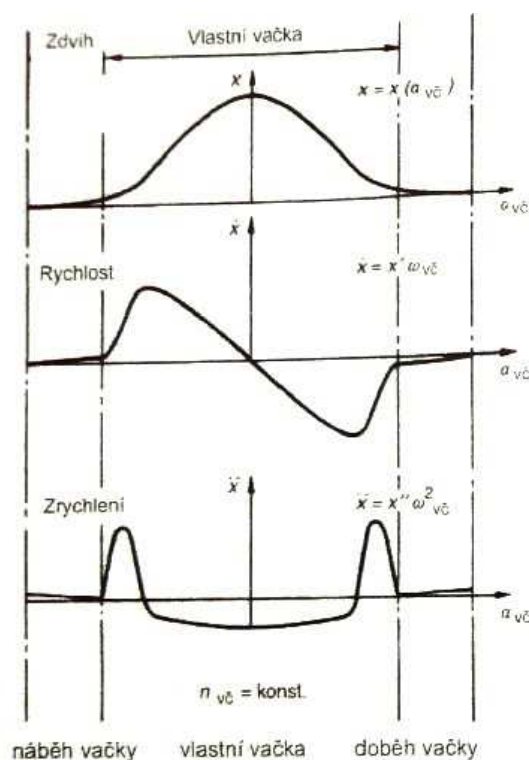
Podle tvaru rozeznáváme vačky tangenciální, harmonické, s dutým bokem a speciální. Tangenciální vačka (vačka s přímým bokem, obr. 3.2a) je tvořena tečnami k základní a vrcholové kružnici. Tento tvar zajišťuje velká zrychlení a zpomalení zdvihu, používá se u pomaloběžných motorů. Harmonická vačka (obr. 3.2c) je tvořena kruhovými oblouky, jejich tvar je určen základní kružnicí, na kterou navazuje další kružnice. Vrchol je tvořen konečnou (vrcholovou) kružnicí. Náběhová kružnice vymezuje pozvolně vůli v rozvodu na začátku zdvihu. Vačka s dutým bokem (obr. 3.2b) je konstruována tak, že základní a vrcholová kružnice je spojena kruhovým obloukem, který tvoří dutý bok vačky. Tento druh vaček se používá u stabilních motorů. Speciální vačka je tvořena tak, aby vyhovovala požadavkům zrychlení a zdvihu ventilu. Používá se u současných motorů, které jsou většinou podčtvercové a rychloběžné. [2]



Obr. 3.2 Druhy vaček [2]

## 3.2 PRŮBĚH ZDVIHU VENTILU

Tvar vačky se odvíjí od požadavku na průběh a velikost zdvihu ventilu. Závisí i na tom, s čím je vačka v kontaktu. Za výchozí lze považovat zdvihátko s rovným dnem, které koná přímočarý pohyb v závislosti na úhlu natočení vačky. Pokud však má zdvihátko vypouklé dno nebo je opatřeno kladkou, je zdvih ventilu pozměněn. Pokud je vačka v kontaktu s vahadlem či rozvodovou pákou je zdvih ventilu rovněž pozměněn. I páky a vahadla mohou být opatřeny kladkami, které dále mění průběh zdvihu. Špičatá (vejčitá) vačka otevírá a zavírá ventil pomalu a ventil zůstává otevřen pouze po krátkou dobu. Strmá (ostrá) vačka otevírá a zavírá ventil rychle a ventil zůstává otevřený po delší dobu. Vačky mají často nesymetrický tvar, plošší náběžná strana způsobuje pomalejší otevírání, strmější úběžná strana umožňuje delší trvání otevření ventilu a rychlejší zavírání. [2]



Obr. 3.3 Kinematika vačky [2]

$\alpha_{vč}$  - úhel natočení vačky

$n_{vč}$  - otáčky vačkového hřídele

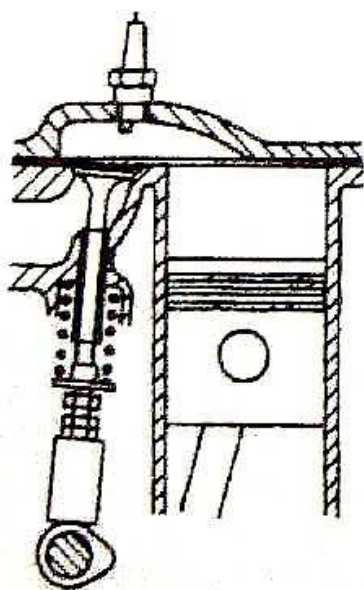
Dobrá výměna náplně válce vyžaduje rychlé otevírání a zavírání ventilů. Zrychlení ale nesmějí být příliš velká. Je nutné uvažovat setrvačné síly s ohledem na síly v rozvodovém mechanismu a možnosti ventilových pružin. Zdvih vačky (obrys vačky) se skládá z počátečního zdvihu (náběhu vačky) a hlavního zdvihu (vlastní vačka). V oblasti náběhu je rychlost zdvihu malá, aby došlo k vymezení vůle v rozvodovém mechanismu (ventilové vůle) bez velkých rázů. V mechanismu musí být vůle, aby bylo zajištěno, že ventil dosedne do sedla a bude těsnit. Vlastní vačka určuje průtokový průřez ventilu pro výměnu náplně. Zakončení vytváří doběh vačky (obdoba náběhu), ten zajišťuje pomalé dosednutí ventilu do sedla. Typický průběh zdvihu, rychlosti a zrychlení ventilu v závislosti na úhlu natočení vačky při konstantních otáčkách je znázorněn na obr. 3.3. [2]

## 4 ZÁKLADNÍ DRUHY ROZVODOVÝCH MECHANISMŮ

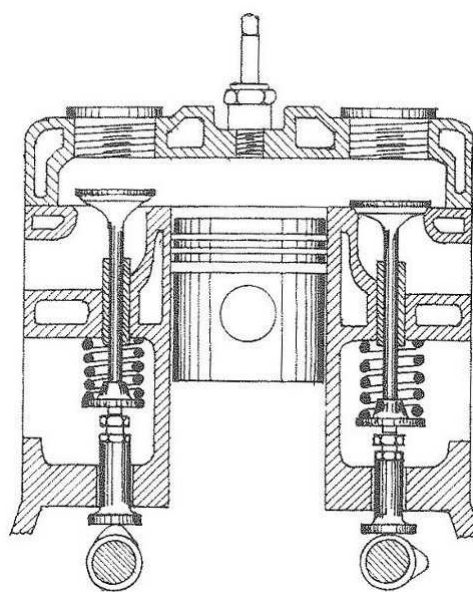
Každé používané řešení rozvodového mechanismu se skládá z určitých součástí, které jsou různě uspořádány a uloženy buď v bloku válců nebo hlavě motoru [2]. Podle tohoto hlediska pak rozlišujeme různé druhy ventilových rozvodů. Za tři základní lze považovat rozvody SV, OHV a OHC, o kterých je pojednáno v této části.

### 4.1 SV ROZVOD

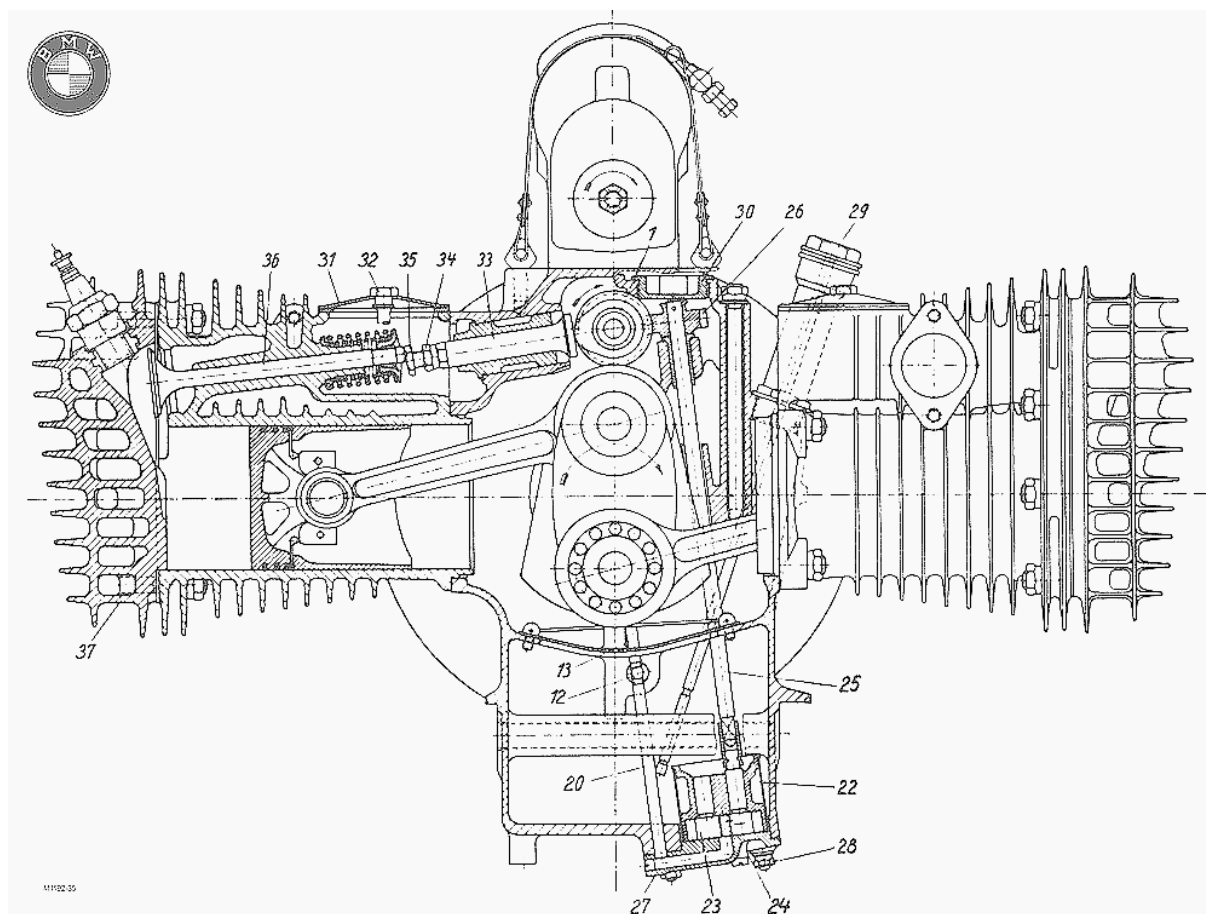
Označení SV vychází z anglického **S**ide **V**alve, česky rozvod s postranními ventily. Jak plyne z označení rozvodu, ventily jsou umístěny po straně válce, obr 4.1. SV rozvod se rovněž označuje jako rozvod se stojatými ventily, protože ventily „stojí“ vedle válce hlavou nahoru. V angličtině je motor s SV rozvodem často nazýván flathead engine, volně přeloženo motor s plochou či placatou hlavou. Ventily jsou ovládány vačkou pouze přes zdvihátka, jejichž součástí je i šroub pro seřizování ventilové vůle. Výhodou tohoto rozvodu je především jeho jednoduchost, malý počet součástí a s tím související nízká hmotnost a setrvačnost, vysoká tuhost, jednoduchá hlava válce (válců) a snadný pohon vačkového hřídele, který je umístěn v blízkosti hřídele klikového. U motorů do V je možné ovládat ventily obou řad válců jedním vačkovým hřídelem. Toto řešení má však nevýhodu v nevhodném tvaru spalovacího prostoru, který musí navíc být umístěn mimo válec (jeho vrtání). Není možné dosáhnout vysokého kompresního poměru, nutného pro uspokojivý výkon motoru. Malý kompresní poměr znemožňuje jeho použití u vznětových motorů. Plnicí účinnost je také malá z důvodu složitého proudění plynů do válce. Proud nasávaná směs se musí otočit přes hranu válce o 180°, ze stejného důvodu jsou i ztráty při výfuku velké. Velká tuhost a malé setrvačné hmoty umožňují dosahování vysokých otáček, to ale u SV rozvodu není možné, protože ztráty prouděním plynů jsou značné a s otáčkami rostou. Pro tyto nevýhody se v současné době ve vozidlových motorech nepoužívá, svého času byl však velmi rozšířen. Dnes se používá v malých jedno nebo dvouválcových motorech sekaček na trávu a podobně. Zpravidla jsou oba ventily na jedné straně válce vedle sebe, ojediněle se vyskytovalo i řešení se sacím ventilem na jedné straně a výfukovým na protější straně válce. Použito bylo dvou vačkových hřídelů. Takovéto uspořádání mělo zlepšit výplach spalovacího prostoru a chlazení v místě výfukového ventilu a kanálu.



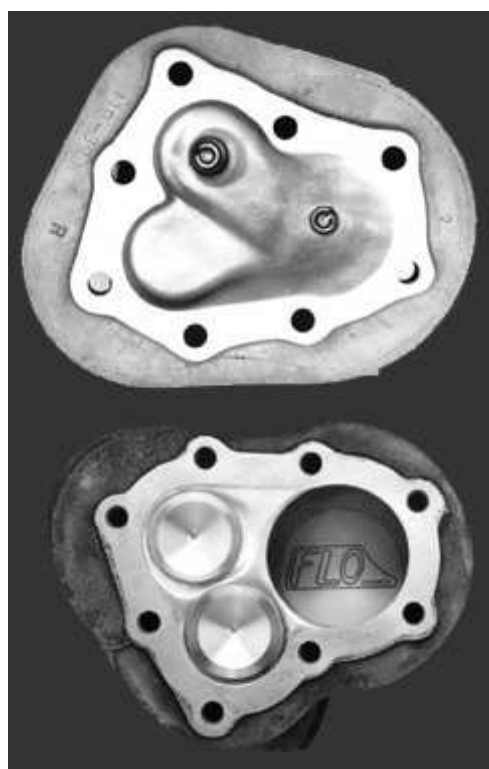
Obr. 4.1 „L“ uspořádání SV rozvodu [2]



Obr. 4.2 „T“ uspořádání SV rozvodu [10]



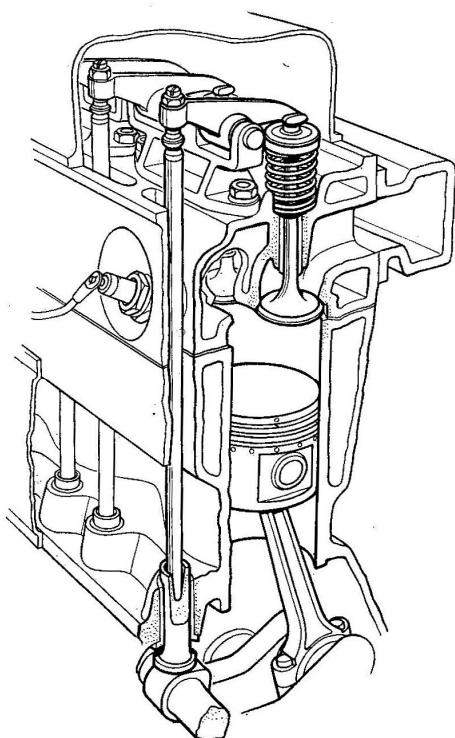
Obr. 4.3 Řez motocyklovým motorem BMW R-71 s SV rozvodem [11]



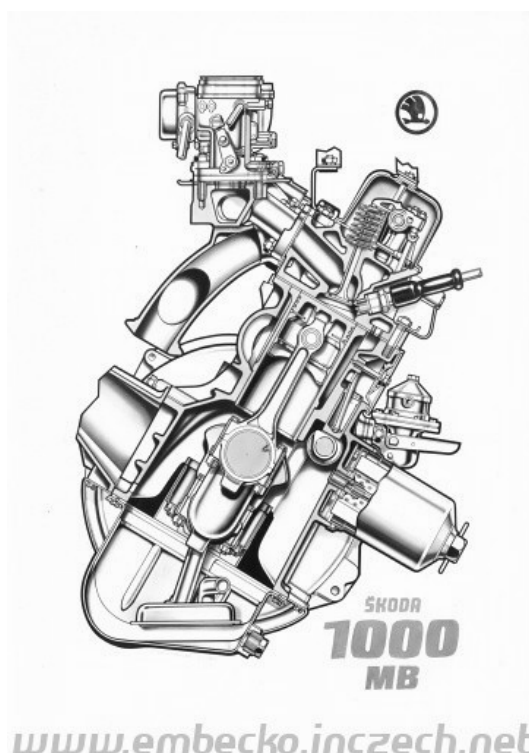
Obr. 4.4 Hlava a válec SV motoru [12]

## 4.2 OHV ROZVOD

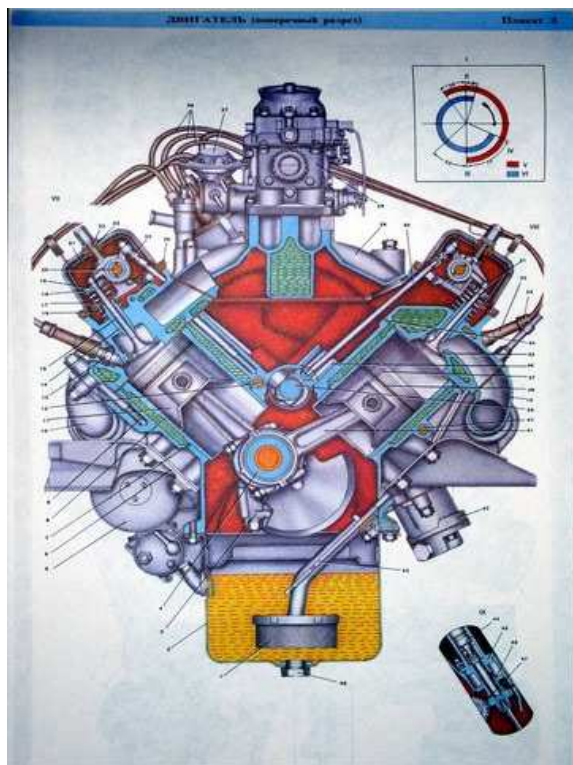
OHV zkracuje anglické **O**ver **H**ead **V**alve. Ventily jsou umístěny v hlavě válce (válců), vačkový hřídel je v bloku motoru, nejčastěji blízko klikového hřídele. Poloha ventilů umožňuje vytvoření příznivého tvaru spalovacího prostoru, použití více ventilů na válec a dosažení vysokého kompresního poměru. Ovládání ventilu vačkovým hřídelem je zprostředkováno přes zdvihátko, ventilovou (zdvihací, rozvodovou) tyčku a vahadlo ventilu (dvouramenná páka). Na vahadle, většinou na straně tyčky, je šroub pro seřizování ventilové vůle. Někdy se ventilová vůle seřizuje výškou uložení páky, rovněž pomocí šroubu (u lisovaných vahadel). Často se umísťují všechny ventily do řady, vahadla jsou pak uložena na společném čepu vahadel. Takováto konstrukce je poměrně jednoduchá. Výměna náplně je dobrá, kanály mohou být více napříměny, odpory při proudění plynů jsou výrazně menší než u SV rozvodu. Výhodné je použití OHV rozvodu u motorů do V, kde lze obě řady válců ovládat jedním společným vačkovým hřídelem, obr. 4.7. Pohon vačkového hřídele, který je blízko klikového hřídele, není komplikovaný. Nevýhodou je velká vzdálenost mezi vačkovým hřídelem a ventily, kterou některé konstrukce částečně kompenzují umístěním vačkového hřídele vysoko v bloku motoru, blízko hlavy. Velký počet součástí zvyšuje hmotnost rozvodu (setrvačné síly), snižuje jeho tuhost a zvyšuje ztrátový výkon potřebný pro pohon rozvodu. Ventilové pružiny musejí být silnější než u SV nebo OHC rozvodu (uvažujeme-li podobné motory pracující při stejných otáčkách). Rozvod není kvůli malé tuhosti a větším setrvačným silám vhodný pro vysoké otáčky (použitelný je asi do 8 000 otáček za minutu [5]). Některé konstrukce používají z důvodu komplikovaného ovládání ventilů jedním vačkovým hřídelem vačkové hřídele dva, jeden pro sací a druhý pro výfukové ventily. Jiná řešení využívají namísto zdvihátek páky.



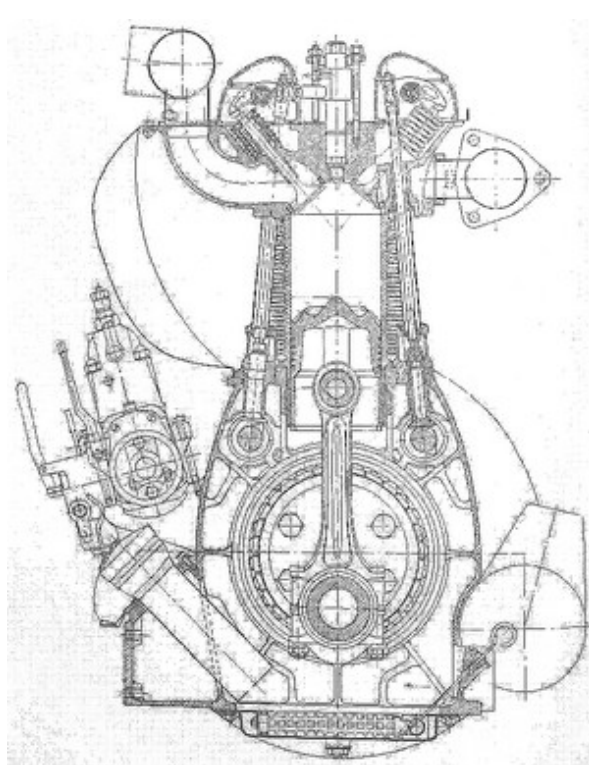
Obr. 4.5 OHV rozvod [13]



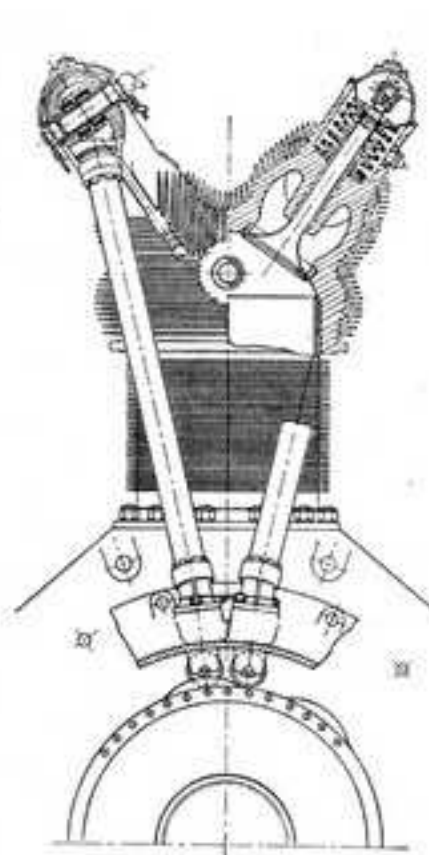
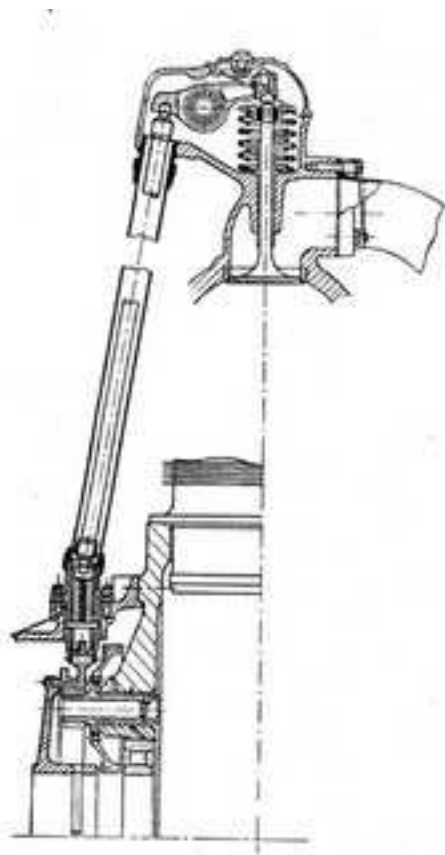
Obr. 4.6 Řez motorem Škoda 1000 MB s OHV rozvodem [14]



Obr. 4.7 Ovládání ventilů obou řad válců  
V motoru GAZ-66 společným vačkovým  
hřídelem [15]



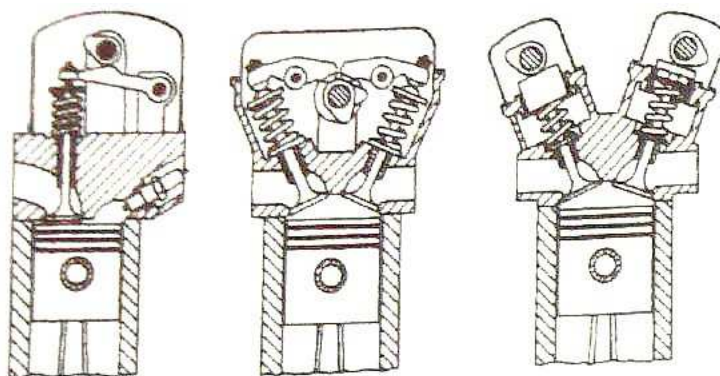
Obr. 4.8 Řez motorem Tatra 114  
se dvěma vačkovými hřídeli [1]



Obr. 4.9 OHV rozvod leteckého hvězdicového motoru s vačkovým kotoučem [16]

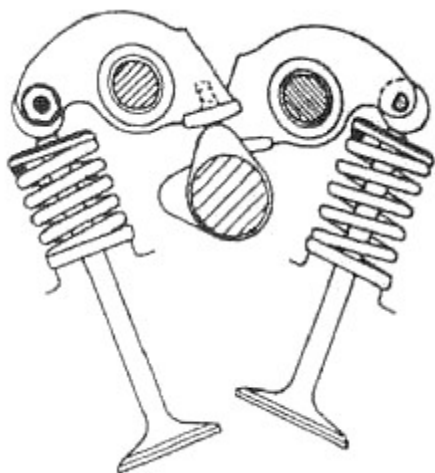
### 4.3 OHC ROZVOD

OHC, z anglického **O**ver **H**ead **C**amshaft, označuje rozvod s vačkovým hřídelem (vačkovými hřídeli) a ventily v hlavě válce (válců). Vačkový hřídel je uložen nad nebo mezi ventily. Rozvod OHC je v současné době nejpoužívanějším rozvodem automobilových a motocyklových motorů. Používá se jednoho nebo dvou vačkových hřídelů. Řešení s jedním vačkovým hřídelem se označuje jako SOHC (Single Over Head Camshaft), se dvěma vačkovými hřídeli pak DOHC (Double Over Head Camshaft). Umístění vačkového hřídele v hlavě motoru zmenšuje vzdálenost mezi vačkou a ventilem, počet pohybujících se součástí je tak malý. Menší počet součástí znamená nižší hmotnost a setrvačné síly, i tuhost OHC rozvodu je pak větší než OHV. Při použití jednoho vačkového hřídele (SOHC) jsou ventily ovládány pomocí vahadel nebo rozvodových pák. Ojedinele se vyskytují jiná řešení, například jedna řada ventilů ovládaná hrníčkovými zdvihátky a druhá vahadly, obr. 4.12. Při použití dvou vačkových hřídelů (DOHC) ovládá zpravidla jeden vačkový hřídel sací a druhý výfukové ventily buď přes hrníčková zdvihátka nebo pomocí rozvodových pák. Protože je hmotnost součástí rozvodu malá a jeho tuhost velká, hodí se pro vysoké otáčky, zejména pak rozvod DOHC. Ventil se může otevírat a zavírat rychleji (větší zrychlení) než umožňuje rozvod OHV. Většinou se používá více ventilů na válec. Otáčky motoru jsou omezeny ventilovými pružinami, které mohou spolehlivě pracovat asi do 14 000 otáček za minutu (platí při použití lehkých ventilů z titanových slitin [5]). Vyšších otáček při použití OHC rozvodu lze dosáhnout jen užitím desmodromického ovládání nebo pneumatického zavírání ventilů. Nevýhodou OHC rozvodu je větší složitost hlavy motoru a velká vzdálenost mezi vačkovým a klikovým hřídelem, která komplikuje jeho pohon.

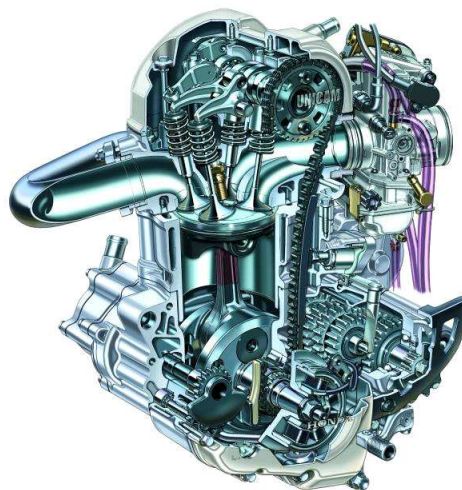


Obr. 4.10 OHC rozvod [2]

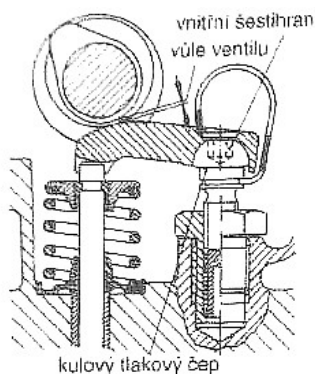
Pokud jsou ventily ovládány vahadly (obr. 4.10 uprostřed), seřizuje se ventilová vůle šroubem nebo excentrickým kotoučem (výstředníkem) na konci vahadla na straně ventilu. V případě použití rozvodových pák (obr. 4.10 vlevo) se ventilová vůle nastavuje seřizovacím šroubem v místě uložení páky nebo jako u vahadel šroubem na straně ventilu. Některá řešení s krátkými pákami (konec páky je pod vačkou, vačka přímo nad ventilem) uloženými na pevných válcových čepech používají k seřízení ventilové vůle podložky mezi pákou a ventilem (například půlkulového tvaru). Jsou-li použita hrníčková zdvihátka (obr. 4.10 vpravo), docílí se správné ventilové vůle výměnou kalených podložek mezi zdvihátkem a vačkou nebo pomocí seřizovacího šroubu ve zdvihátku. [2]



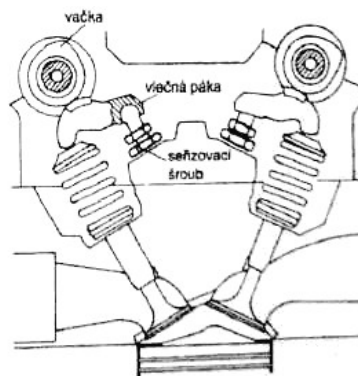
Obr. 4.11 OHC rozvod s vahadly a excentry pro seřizení ventilové vůle [2]



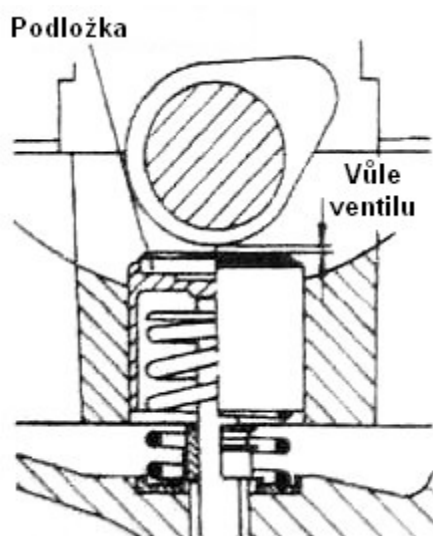
Obr. 4.12 OHC rozvod se sacími ventily ovládanými hrníčkovými zdvihátky a výfukovými ventily ovládanými vahadly (Honda crf 450) [17]



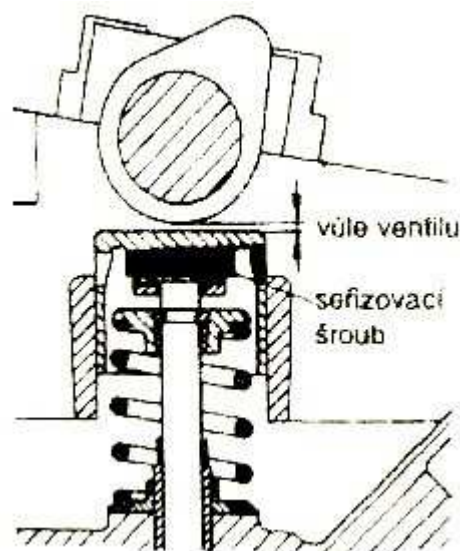
Obr. 4.13 Opěrka páky s vnitřním šestihranem [2]



Obr. 4.14 DOHC rozvod s rozvodovými pákami [2]



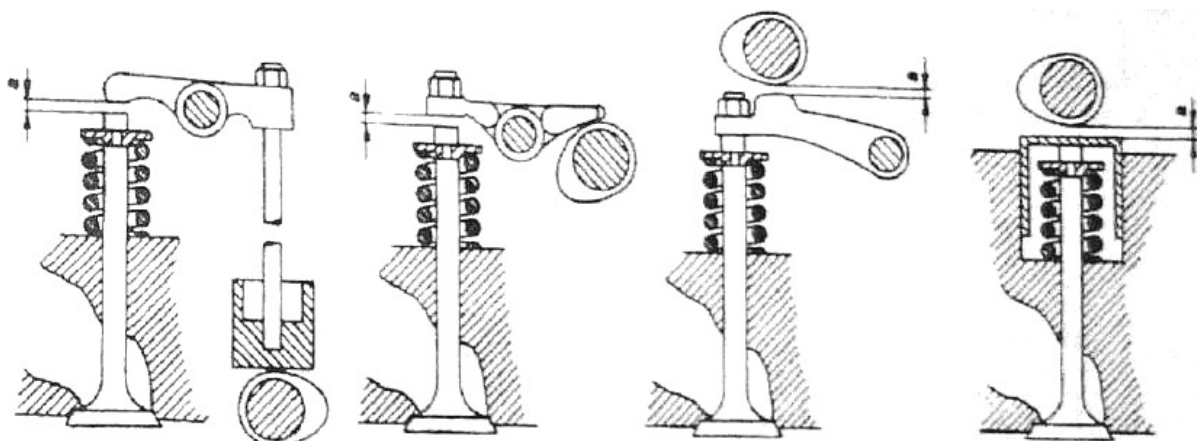
Obr. 4.15 Hrníčkové zdvihátko s podložkou pro nastavení ventilové vůle [2]



Obr. 4.16 Hrníčkové zdvihátko se šroubem pro nastavení ventilové vůle [2]

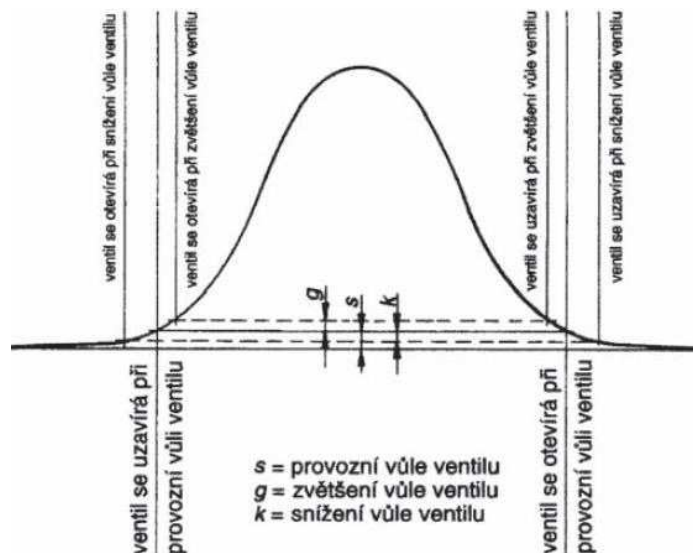
## 4.4 VENTILOVÁ VŮLE

Jak již bylo zmíněno výše, v rozvodovém mechanismu musí být jistá vůle, aby bylo zajištěno že ventil dosedne do sedla a bude těsnit. Různé části motoru se při jeho ohřátí za provozu různě roztahují, proto se i ventilová vůle s teplotou mění. Zpravidla je ventilová vůle studeného motoru větší než provozní (teplého motoru). Většinou se pro seřizování předepisuje hodnota pro studený motor (při teplotě okolo 20 °C). Vůle výfukových ventilů bývá větší než sacích ventilů kvůli jejich vyšší teplotě. Její velikost ovlivňuje časování a životnost rozvodu, musí proto být správně nastavena.



Obr. 4.17 Měření ventilové vůle u různých provedení rozvodu [2]

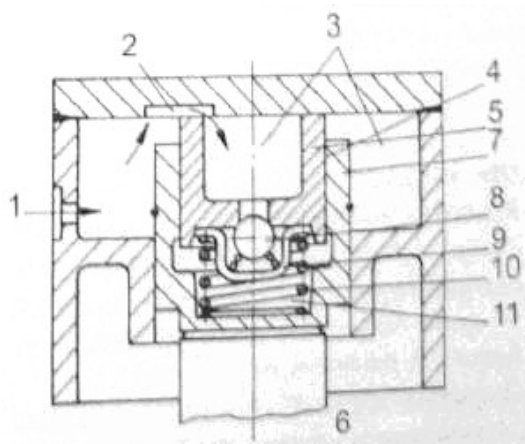
Malá ventilová vůle způsobuje, že se ventil otevírá dříve a zavírá později. Ventil je tedy zavřený po kratší dobu, což zhoršuje odvod tepla. Při malé vůli nemusí ventil po zahřátí motoru dosedat do sedla, to vede ke ztrátě tlaků ve válci únikem plynů, nesprávnému plnění, tedy ztrátě výkonu. Zejména u výfukového ventilu hrozí nebezpečí podpálení ventilu (opálení talíře ventilu a sedla). [2]



Obr. 4.18 Vliv ventilové vůle na otevírání ventilu [2]

Velká ventilová vůle způsobuje, že se ventil otevírá později a uzavírá dříve. Zkrácená doba otevření vede ke zhoršení plnění motoru a ke snížení jeho výkonu. Velká vůle také zvětšuje rázy v rozvodu, protože ke kontaktu součástí rozvodu dojde v oblasti zdvihové křivky, kde je zrychlení udělované vačkou větší než v oblasti náběhu. [2]

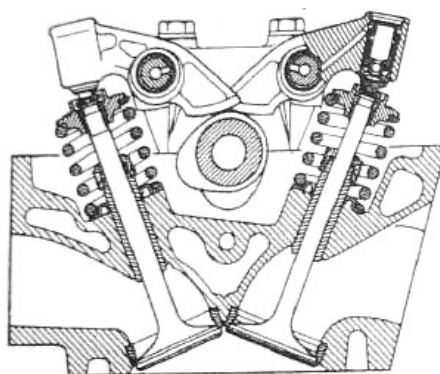
U mnoha současných automobilových a některých motocyklových motorů není třeba ventilovou vůli seřizovat. Je to umožněno použitím hydraulických prvků k samočinnému vymezování ventilové vůle, které jsou vhodně vsazeny mezi ostatní díly rozvodu. Tyto hydraulické prvky udržují změnou délky ventilovou vůli během chodu motoru na nule nezávisle na teplotě. Nulová vůle zajišťuje bezrázový provoz a nižší hlučnost. Používají se hydraulická zdvihátka (hrníčková u OHC rozvodů i zdvihátka OHV či CIH rozvodů), hydraulické opěrky rozvodových pák i hydraulické prvky ve vahadlech OHC rozvodů. Princip činnosti těchto zařízení je vysvětlen na hrníčkovém zdvihátku.



Obr. 4.19 Hrníčkové zdvihátko s hydraulickým vymezováním ventilové vůle [2]

- 1 - přívod oleje
- 2 - přestup oleje
- 3 - zásobní prostor oleje
- 4 - netěsnost pístku ve válci
- 5 - píst
- 6 - dřík ventilu
- 7 - válec
- 8 - kuličkový ventil
- 9 - klec kuličky
- 10 - pružina
- 11 - pracovní (vysokotlaký) prostor

Hrníčkové zdvihátko s hydraulickým vymezováním vůle ventilů (obr. 4.19) je připojeno k mazací soustavě motoru. Olej je přiváděn bočním otvorem ve zdvihátku vedoucím do prostoru zdvihátka a dále je veden drážkou ve dně zdvihátka do zásobníku nad pístkem. Při otevírání ventilu působí zdvihátko přes olej uzavřený kuličkou ve vysokotlakém prostoru na ventil. Při zavírání ventilu a jeho dosednutí, které je zaručeno malou netěsností pístku, tlačí pružina pístek vzhůru a kuličkovým ventilem je doplněn olej ze zásobníku do pracovního prostoru. Pružina pak udržuje kontakt mezi zdvihátkem a vačkou, takže je ventilová vůle udržována na nule. Obdobně pracují i hydraulická zdvihátka OHV rozvodu a hydraulické opěrky rozvodových pák OHC rozvodu, případně hydraulické prvky ve vahadlech ventilů OHC rozvodu. [2]



Obr. 4.20 Hydraulické vymezování ventilové vůle ve vahadlech ventilů [2]

Hydraulické prvky k vymezování ventilové vůle zvyšují spotřebu oleje, takže olejové čerpadlo musí být větší, to znamená větší příkon čerpadla. Zvýšené jsou i požadavky na čistotu oleje, ten také nesmí obsahovat vzduchové bubliny. Další nevýhodou jsou větší ztráty třením zapříčiněné kontaktem zdvihátka (nebo jiné části rozvodu) a vačky při zavřeném ventilu. Pokud ze zásobníku ve zdvihátku vyteče olej, pracuje ventil po krátkou dobu (než se k němu dostane olej) s velkou vůlí. [6]

## 5 NEKONVENČNÍ ROZVODOVÉ MECHANISMY

V tomto bodě uvedené rozvODOVÉ mechanISMY se nedočkaly tak velkého rozšíření jako mechanISMY SV, OHV a OHC. Nejedná se ale o mechanISMY nepoužívané, například desmodromický rozvod je používán dodnes u motocyklových motorů Ducati. Existují i další zde neuvedená řešení, tato však nebyla používána ve stejném rozsahu nebo nebyla používána vůbec. V závěru této části jsou uvedeny mechanISMY, které nejsou pouze mechanické.

### 5.1 IOE ROZVOD

IOE je zkratka anglického **I**ntake/**I**nlet **O**ver **E**xhaust, česky rozvod se sacím ventilem nad výfukovým. Často se motor s IOE rozvodem nazývá motorem s „F“ hlavou, anglicky F-head engine. Tento rozvod lze považovat za kombinaci rozvodu SV a OHV. Sací ventil je visutý (hlavou dolů jako u OHV rozvodu) v hlavě válce. Výfukový ventil je umístěn vedle válce podobně jako u SV rozvodu. První čtyřdobé spalovací motory byly právě takovéto konstrukce. Byly volnoběžné a používaly nucené otevírání pouze pro výfukový ventil, sací ventil byl opatřen jen slabou pružinou a byl ovládán podtlakem ve válci (obr. 5.2). Toto řešení přestalo záhy postačovat, proto se i sací ventil opatřil nuceným otevíráním a silnější pružinou. Výfukový ventil je ovládán vačkou pouze přes zdvihátko (stejně jako u SV rozvodu), sací ventil je ovládán přes zdvihátko, tyčku a vahadlo (jako u OHV rozvodu). IOE rozvod umožňuje použití velkých ventilů (zejména sacích), větších než u SV či OHV rozvodu. Proudění směsi při sání je dobré, při výfuku jsou odpory velké, jako u SV rozvodu. Jelikož je na straně válce pouze výfukový ventil, může se motor (zejména výfukový kanál a jeho okolí) lépe chladit. [18]

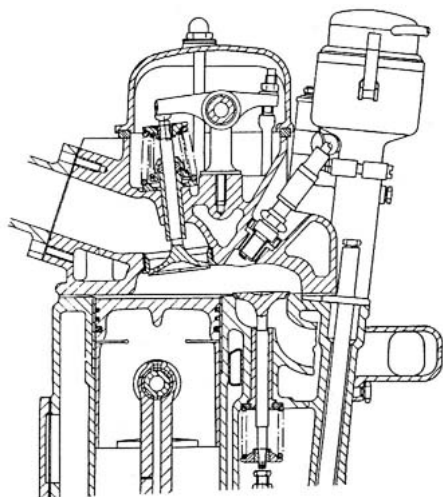
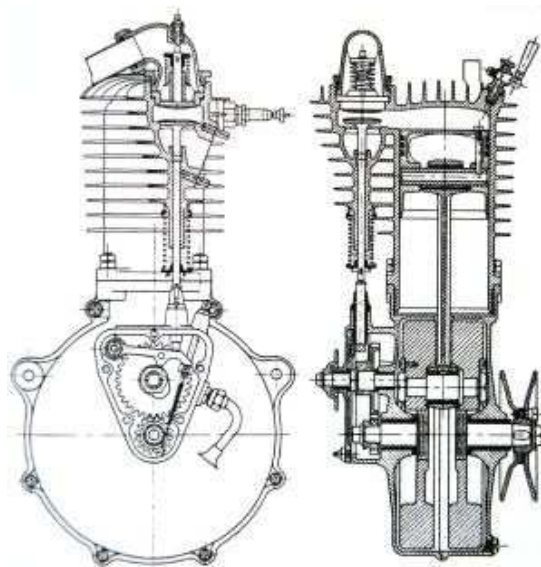


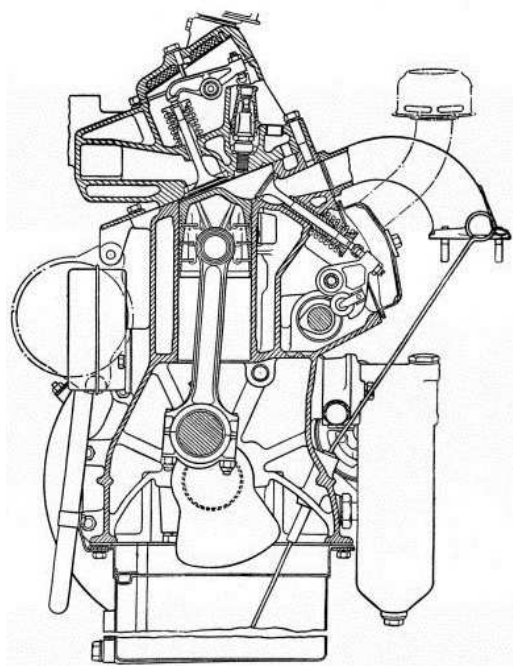
Fig. 19. B.60 cylinder head: 6·4:1 compression ratio, 3·500-inch bore

Obr. 5.1 Uspořádání IOE rozvodu [19]

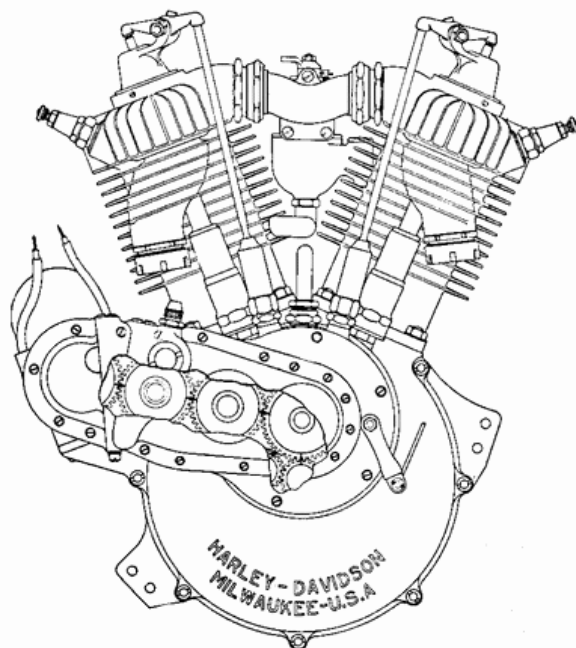


Obr. 5.2 Motor Adler z roku 1906 s podtlakem ovládaným sacím ventilem [20]

Rover používal výrobně komplikovanější řešení (obr. 5.3), které však umožňovalo vytvoření příznivějšího tvaru kompresního (spalovacího) prostoru a lepší proudění plynů. Spalovací prostor byl tvořen téměř polokoulí (ideální tvar) a svíčka byla umístěná uprostřed. Velké víření směsi zvyšovalo odolnost proti detonacím, to byl i jeden z důvodů, proč toto uspořádání vyráběl Rover poměrně dlouho (od roku 1948 do osmdesátých let). Toto uspořádání by bylo vzhledem k poloze vačkového hřídele výhodné pro motory do V. [18]



Obr. 5.3 IEO rozvod motoru Rover [21]

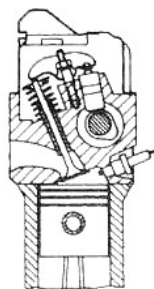


Obr. 5.4 Motocyklový V motor z roku 1916  
s IOE rozvodem (Harley - Davidson) [22]

Rozvod IOE nebyl využíván pouze společností Rover, svého času se objevoval v motocyklových a automobilových motorech zejména v USA a Velké Británii. V letech 1936 a 1937 se dokonce v USA objevil rozvod EOI (Exhaust Over Intake/Inlet), tedy rozvod s výfukovým ventilem nad sacím, u motocyklu Indian Four. Toto uspořádání mělo zlepšit promísení nasávané směsi a odpařování paliva, což mělo vést ke zvýšení výkonu. Hlava motoru se však přehřívala a ventilová vůle se musela častěji seřizovat, proto se později koncepce tohoto motoru vrátila k IOE uspořádání. [18]

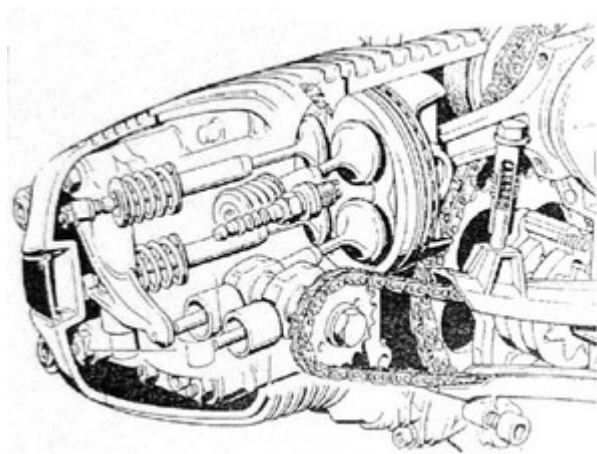
## 5.2 CIH ROZVOD

Zkratka CIH vychází z anglického Camshaft In Head, což znamená, že vačkový hřídel je uložen v hlavě válce (válců). Vačkový hřídel i ventily jsou umístěny v hlavě motoru. Takový rozvod by tedy bylo možné zařadit mezi rozvody OHC, avšak jedná se o rozvod specifický. Zjednodušeně ho lze považovat za „OHV rozvod v hlavě motoru“. Vačka ovládá ventily přes zdvihátka a vahadla, oproti OHV rozvodu tedy chybí zdvihací tyčky. Hmotnost pohybujících se součástí je menší než u OHV rozvodu a tuhost vyšší. Výhodou je snadná realizace hydraulického vymezování ventilové vůle ve zdvihátku, které by se v případě použití SOHC rozvodu s vahadly provádělo obtížněji. Nevýhodou je větší vzdálenost mezi vačkovým a klikovým hřídelem. Rozvod CIH používala automobilka Opel.

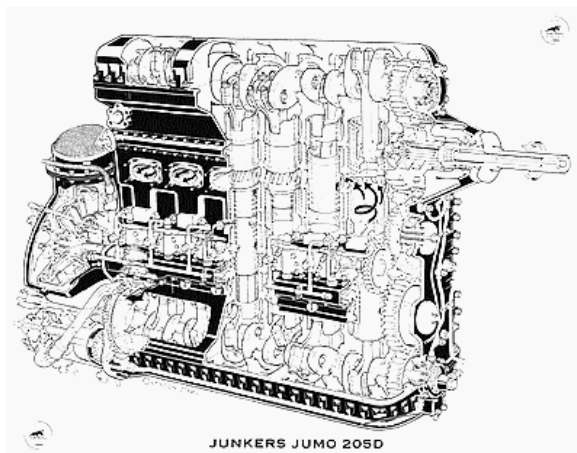


Obr. 5.5 CIH rozvod [2]

Další výhodou může být nižší výška motoru, také proto byl používán i BMW u motocyklových motorů s protilehlými válci (ploché uspořádání). Tyto motory jsou nesprávně označovány jako boxer, skutečný boxer má však dva klikové hřídele (spojené převodem ozubenými koly) a v jednom válci se proti sobě pohybují dva písty (obr. 5.7), spalovací prostor je tak tvořen písty a válcem, motor nemá hlavu. Označení boxer je dnes pro ploché motory zažité. BMW nazývalo CIH rozvod u svých motocyklů HC rozvodem (**H**igh-mounted **C**amshaft).



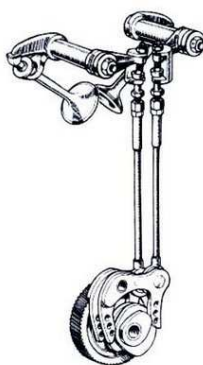
Obr. 5.6 CIH rozvod motocyklového motoru BMW [2]



Obr. 5.7 Boxer (Letecký motor Junkers) [23]

### 5.3 DESMODROMICKÉ ROZVODY

Desmodromický rozvod užívá vačku nejen k otevírání ventilu, ale i k jeho zavírání namísto ventilových pružin. Někdy se označuje jako rozvod s nuceným zavíráním ventilů, toto označení ale nelze považovat za korektní, protože ventily jsou nuceně zavírány i v případě užití pružin. Rovněž se nazývá rozvodem s vázaným pohybem ventilů, ani takovéto označení není přesné, protože pohyb ventilů je vázán (ke klikovému hřídeli) u všech ventilových rozvodů, přestože v tomto případě je míněna vazba při zavírání ventilu. Desmodromického ovládání ventilů se používalo téměř výhradně u OHC rozvodů (dodnes Ducati), kde je možné plně využít jeho předností. Desmodromický OHV rozvod z šedesátých let minulého století ukazuje obr. 5.8. Jedná se o sadu pro zvýšení výkonu, která nahrazovala konvenční pružinový OHV rozvod motocyklového motoru Velocette M [24]. Různá řešení desmodromického rozvodu se objevovala v závodních strojích nebo prototypch mnoha značek už od počátku dvacátého století, do sériové výroby ho zařadila jen Ducati (od roku 1968, jednoválcový stroj Mark3 Desmo 250/350 [25]).

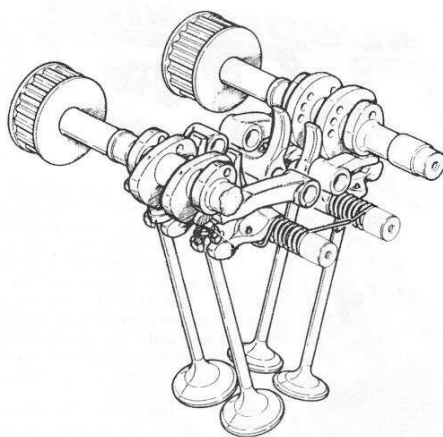


Obr. 5.8 Desmodromický OHV rozvod [26]



*Obr. 5.9 Desmodromický OHC rozvod Ducati [10]*

Na obr. 5.9 je konstrukce desmodromického OHC rozvodu motocyklových motorů Ducati se dvěma ventily na válec (DesmoDue). Na vačkovém hřídeli jsou čtyři vačky, jedna otevírací a jedna zavírací pro každý ventil. Vačka otevírá ventil přes otevírací vahadlo (na obrázku horní) a hrníčkovou podložku na jeho dříku. Zavírání ventilu je realizováno druhou vačkou přes zavírací vahadlo (dolní) a kroužek, který je k ventilu připevněn pomocí půlkroužků kruhového průřezu. Není možné dovřít ventil až do sedla pouze pomocí vačky (tepelná roztažnost, opotřebení dílů rozvodu), mezi ventilem (kroužkem na ventilu) a zavíracím vahadlem musí být malá vůle. Konečné dovření (dosednutí do sedla) ventilu je zajištěno slabou vlásenkovou pružinou (za chodu motoru i setrvačností ventilu). Obrázek 5.10 ukazuje rozvod Ducati pro hlavy se čtyřmi ventily na válec (DesmoQuattro).



*Obr. 5.10 Desmodromický DOHC rozvod Ducati [10]*

Protože pohyb ventilu je přesně a spolehlivě určen vačkami, není rozvod limitován možnostmi pružin a lze tak dosahovat vyšších otáček než s pružinovými rozvody. I síly v rozvodu a práce potřebná pro jeho pohon jsou menší, protože není nutné překonávat síly pružin. Při použití desmodromického rozvodu je možné otevírat a zavírat ventily velmi rychle (velká zrychlení), takže je ventil plně otevřen po delší dobu a plnění motoru se tak značně zlepší. I zde jsou však zrychlení (tedy i otáčky) limitována hmotností rozvodu a s tím souvisejícími setrvačnými silami a silami v kontaktu vaček a vahadel. Desmodromického rozvodu se neužívá jen k dosažení vysokých otáček, ale právě z důvodu lepšího plnění a malých ztrát v porovnání s pružinovými rozvody i pro běžné otáčky, které by byly

dosažitelné s pružinami. Nevýhodou je vyšší složitost a požadavky na přesnost, tedy i cena. Taktéž údržba je náročnější, častější a dražší než u pružinových rozvodů. Na každém ventilu je nutné seřídit dvě vůle (otevírací a zavírací), tyto se seřizují výměnou podložek mezi vahadly a ventilem (hrníčkové podložky otevíracího vahadla a kroužku zavíracího vahadla), přitom se mění i půlkroužky upevňující kroužek zavíracího vahadla na dřík ventilu, protože bývají otláčeny [27]. Použití hydraulického vymezování ventilové vůle je znemožněno nedostatkem prostoru, vedlo by i ke zvýšení hmotnosti pohybujících se součástí. Možným řešením by mohlo být hydraulické podepření čepů vahadel, realizace by ale byla značně komplikovaná z důvodu nedostatečného prostoru a nutnosti použít dvou těchto hydraulických podpěr pro každý ventil.



Obr. 5.11 Originální půlkroužky kruhového průřezu [28]



Obr. 5.12 Půlkroužky MBP s větší stykovou plochou [28]

Jak již bylo uvedeno výše, zavírací vahadlo zavírá ventil pomocí kroužku uchyceného k ventilu půlkroužky kruhového průřezu, které jsou značně namáhány a poměrně brzy se otláčí (malá styková plocha). Jisté zlepšení nabízí firma MBP, která tyto půlkroužky kruhového průřezu nahrazuje půlkroužky komplikovanějších průřezů, stykové plochy jsou tak větší. MBP uvádí prodloužení servisního intervalu pro seřizování ventilových vůlí u čtyřventilových hlav Ducati z 10 000 km na 30 000 km [28].

Dalším možným usnadněním údržby je systém německé firmy JAKO, který nahrazuje původní čepy zavíracích vahadel excentrickým uložením, kterým lze seřizovat zavírací vůli. Otvírací vůle se i v tomto případě seřizuje výměnou hrníčkové podložky, ale tento úkon je jednodušší než seřízení vůle zavírací. Seřizování vůlí je tak mnohem jednodušší a levnější. [27]

## 5.4 PNEUMATICKÉ ZAVÍRÁNÍ VENTILŮ

Pneumatické zavírání ventilů najdeme v současné době u vysokootáčkových závodních motorů (formule 1, moto GP). Jedná se o systém, který překonává limity ventilových pružin, dosahuje se s ním 20 000 otáček za minutu. Firma Renault přišla jako první s myšlenkou uzavírat ventily rychleji pomocí stlačeného vzduchu v polovině osmdesátých let minulého století u šestiválcového 1,5 l motoru přepínávaného turbodmychadlem [29]. Nejen že se tak dosahuje vysokých otáček, ale ventil je možné i rychleji otevírat a zavírat, což má příznivý vliv na plnění spalovacího prostoru. [5]

Schéma pneumaticky zavíraného ventilu je na orb. 5.13. Namísto pružiny je ventil uzavírán pístkem připevněným ke dříku. Píst se pohybuje v pracovním válci, ten je spojen potrubím se zpětným ventilem (přívod stlačeného vzduchu) a s přetlakovým ventilem. Ze zásobníku

1 - vačkový hřídel  
2 - pístek  
3 - pracovní prostor válečku  
4 - zpětný ventil  
5 - přetlakový ventil  
6 - redukční ventil  
7 - zásobník tlaku (tlaková láhev)  
8 - přívod stlačeného vzduchu z kompresoru

## 5.5 MECHANICKO-HYDRAULICKÉ OVLÁDÁNÍ VENTILŮ

Diagram illustrating the internal components of a hydraulic cylinder with a solenoid valve, labeled with numbers 1 through 7:

- (1) - pracovní komora (working chamber)
- (2) - brzdící pístek (braking piston)
- (3) - vložka (insert)
- (4) - pracovní píst (working piston)
- (5) - elektromagnetický ventil (solenoid)
- (6) - zásobník tlaku (pressure reservoir)
- (7) - sací ventil (suction valve)

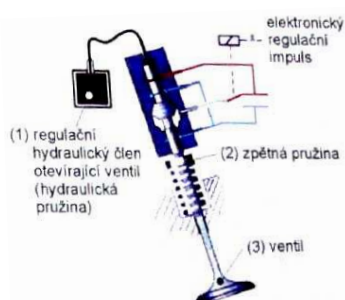


A 3D CAD model of a mechanical assembly, likely a valve or actuator. The assembly is composed of several parts, each color-coded for identification. A large, light blue base plate with multiple mounting holes is at the bottom. On top of this base, there are two main vertical assemblies. The left one features a blue stem with a green cap and a yellow spring. The right one features a red stem with a green cap and a yellow spring. Both stems are connected to a central horizontal component with a green body and a red cap. The entire assembly is shown in a perspective view, highlighting its complex geometry and the interlocking of its parts.

34

## 5.6 ELEKTROHYDRAULICKÉ OVLÁDÁNÍ VENTILŮ

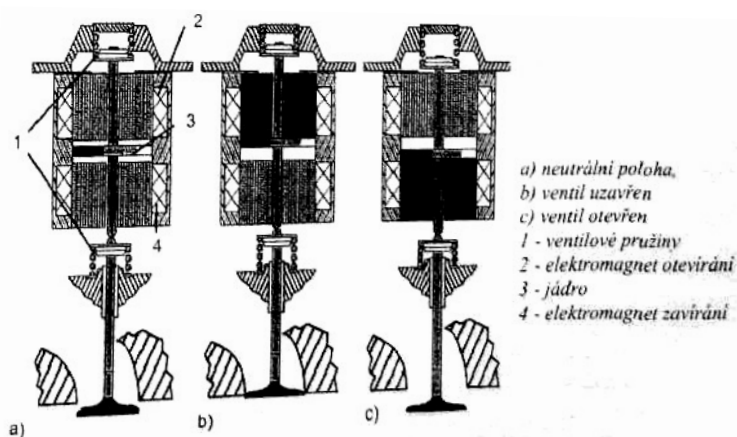
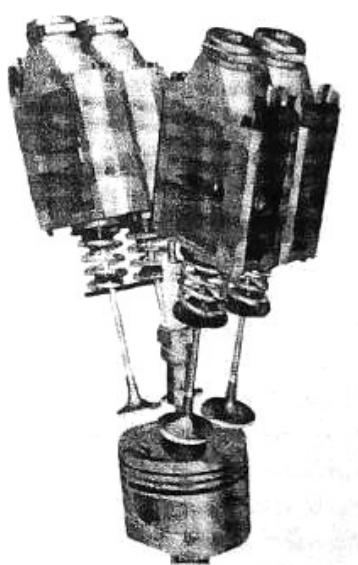
Elektrohydraulický systém ovládání ventilů vyvinula firma DaimlerChrysler. Tento systém pracuje bez vačkového hřídele. Ventily jsou ovládány samostatně a nezávisle pomocí elektronicky řízeného elektrohydraulického systému, obr. 5.15. Toto řešení snižuje spotřebu paliva až o 10 %, snižuje obsah škodlivin ve výfukových plynech a umožňuje účinnější brzdění motorem. Nabízí široké možnosti řízení, v případě potřeby získá motor větší výkon a točivý moment, je možné vypínání válců... Lze ho zařadit mezi variabilní rozvodové mechanismy. [2]



Obr. 5.16 Elektrohydraulické ovládání ventilů [5]

## 5.7 ELEKTROMAGNETICKÉ OVLÁDÁNÍ VENTILŮ

Ani toto řešení nepoužívá vačkový hřídel, pohyb ventilu je řízen elektromagnety (např. systém EVA - Elektromagnetic Valve Actuator). Ventil opatřený pružinami je posouván elektromagnety, které působí na jádro spojené s ventilem. Dobu otevření a jeho zdvih řídí elektronika v závislosti na podmínkách chodu motoru. Tento systém má rovněž široké možnosti nezávislého řízení jednotlivých ventilů a je méně náročný na prostor. Problémem je přesné ustavení ventilu a velký elektrický příkon (potřebné je větší napětí, asi 42 V), proto se v sériové výrobě zatím neobjevil. Toto řešení taktéž patří mezi variabilní rozvodové mechanismy. [5]



Obr. 5.18 Princip činnosti elektromagnetického ovládání ventilů [2]

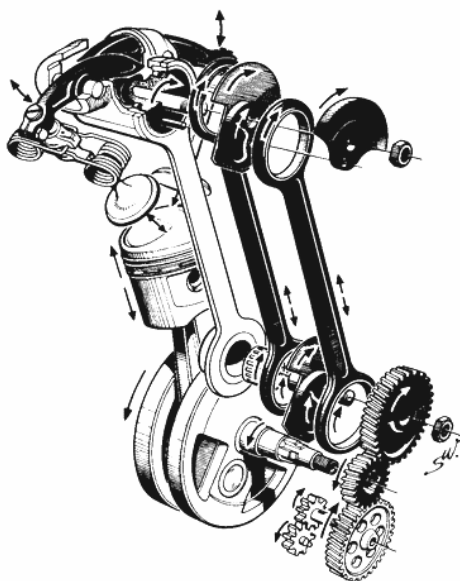
Obr. 5.17 Elektromagnetické ovládání ventilů [2]

## 6 POHON VAČKOVÉHO HŘÍDELE

Vačkový hřídel je poháněn klikovým hřídelem. Úhel natočení vačkového hřídele musí být přesně určen natočením klikového hřídele. Z principu činnosti čtyřdobého spalovacího motoru vyplývá, že vačkový hřídel se musí otočit jednou za dvě otáčky klikového hřídele, tedy převod od klikového hřídele musí být 1:2. Pokud by nebyl převodový poměr spolehlivě zajištěn, mohlo by dojít ke změně časování rozvodu a havárii motoru (kolize ventilů s pístem), v lepším případě jen ke zhoršení chodu motoru a ztrátě výkonu. Nelze proto využít třecích převodů, je nutný převod s tvarovým stykem.

Rozvodové ústrojí je nejlepší pohánět na straně odběru výkonu (u setrvačníku), aby se omezil vliv kroutivých kmitů klikového hřídele na časování. Omezí se tak nerovnoměrnost chodu pohonu rozvodu, tím se zvýší jeho životnost a sníží hlučnost. Toto provedení je však konstrukčně složitější, proto se vačkový hřídel zpravidla pohání od volného (předního) konce klikového hřídele. Rozměry a hmotnost pohonu tak mohou být menší, protože klikový hřídel zde má menší průměr než na straně odběru výkonu (u setrvačníku). [6]

V používaných koncepcích pohonu rozvodu se nežádka objevují i různé kombinace níže uvedených pohonů, případně několikastupňové převody téhož druhu. Zajímavým řešením je pohon vačkového hřídele ojnicemi (obr. 6.1), který používala firma NSU u svých motocyklových a automobilových motorů v letech 1952 až 1973 pod označením Ultramax [31].



*Obr. 6.1 Pohon vačkového hřídele ojnicemi (NSU Ultramax) [32]*

### 6.1 POHON VAČKOVÉHO HŘÍDELE ŘETĚZEM

Jako rozvodových řetězů se používá tří druhů řetězů: válečkového, pouzdrového a ozubeného (obr. 6.2). Nepoužívá se spojovacích článků, řetězy jsou vždy v tzv. nekonečném provedení. Pouzdrový řetěz je obdobné konstrukce jako řetěz válečkový, ale nemá válečky. Častěji se vyskytuje řetěz válečkový nebo pouzdrový než ozubený. Ozubený řetěz se používá více v USA než v Evropě. Jeho výhodou je menší hlučnost a větší únosnost. Setkáme se s ním spíše u motocyklových motorů. Vedení na řetězových kolech zajišťují vnější destičky, ve

kterých není vytvořen profil zubu. Válečkový řetěz díky válečkům podléhá méně opotřebení v kontaktu s řetězovými koly, otáčející se válečky také snižují třecí ztráty. Pouzdrový řetěz může mít čepy většího průměru než řetěz válečkový, může tak přenášet větší zatížení. [33]



Obr. 6.2 Druhy rozvodových řetězů [2]

Řetězový pohon vačkového hřídele se používá především při větší vzdálenosti hřídelů, tedy hlavně u OHC rozvodů. Kromě vačkového hřídele se jím v tomto případě může pohánět i další příslušenství motoru (vodní pumpa, vstříkovací čerpadlo...). Vyskytuje se ale i u rozvodů OHV (např. starší modely automobilů Škoda), případně SV. Řetězový převod je spolehlivý, má dobrou životnost a účinnost, dobře odolává vyšším teplotám. Ve spalovacích motorech je dobře mazán a není vystaven vlivům vnějšího prostředí, zejména prachu, přesto dochází k jeho opotřebení a řetěz se „vytahuje“. Musí být správně předepnut, aby bylo zajištěno, že nepřeskočí nebo nespadne z řetězových kol. Předpětí má vliv i na životnost převodu. Při větší osové vzdálenosti (OHC rozvody) je řetěz částečně veden v plastových vodících lištách nebo kovových lištách s kluznou vrstvou z plastu, které omezují jeho kmitání. Odlehčená větev je napínána napínací lištou pomocí hydraulického nebo mechanického napínáku, ten je navíc vybaven tlumičem pro omezení kmitání. Při krátké osové vzdálenosti (OHV rozvody) není těchto lišt (ani napínacích) většinou zapotřebí. Se zvětšujícím se opotřebením (prodloužením) řetězu se zvyšuje hlučnost a mírně se mění i časování rozvodu.

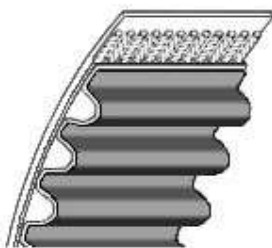


Obr. 6.3 Řetězový pohon DOHC rozvodu [2]

Řetězová kola nesmějí mít příliš malý počet zubů, protože se zmenšujícím se počtem zubů klesá plynulost chodu převodu. Navíc se zmenšujícím se průměrem roste velikost tahové síly v řetězu, obvodová rychlost se naopak snižuje. Řetězová kola se vyrábějí z uhlíkové oceli, legovaných ocelí a ze slinutých materiálů [2].

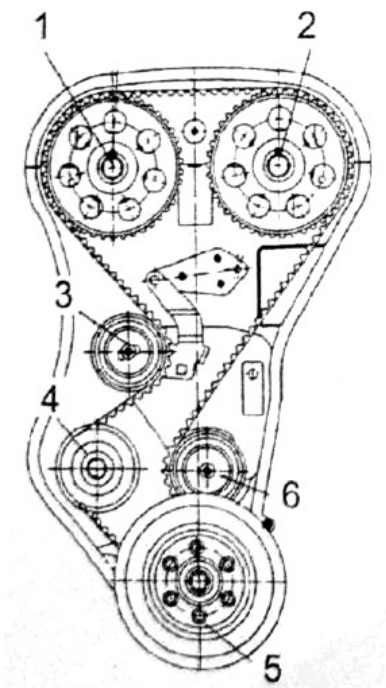
## 6.2 POHON VAČKOVÉHO HŘÍDELE OZUBENÝM ŘEMENEM

Pohon vačkového hřídele ozubeným řemenem se používá při větší osové vzdálenosti, tedy hlavně u OHC rozvodů. Řemenový pohon je levnější než řetězový, má tichý chod, nepotřebuje mazání a během provozu se vytahuje pouze nepatrně. Údržba je jednoduchá a nenáročná (prakticky žádná). Díky malé hmotnosti je jen málo zatěžován odstředivými silami a hodí se tak pro vysokootáčkové motory. Ozubený řemen nevyžaduje velké předpětí, musí však být správně předepnut, aby se eliminovala možnost jeho přeskočení, které by vedlo k havárii motoru (v lepším případě jen ke ztrátě výkonu a zhoršenému chodu motoru) a aby měl požadovanou životnost. Toto předepnutí je zpravidla zajištěno mechanicky z vnější hladké strany řemenu napínací kladkou, měří se speciálními přístroji. Stejně jako v případě řetězu je možné rozvodovým řemenem pohánět i další příslušenství motoru. [2]



Obr. 6.4 Konstrukce ozubeného řemenu [34]

Ozubený řemen se skládá z tažné vrstvy, která je vyztužena ocelovými dráty, skelnými vlákny nebo kevlar. Tažná vrstva je mezi vrstvami neoprenu, polyuretanu nebo kaučuku. Tyto vrstvy tvoří i zuby. Zuby mohou být na obou nebo pouze na jedné straně, vrstva na druhé straně je pak ochranná (vůči nečistotám, chemickým vlivům...). Rozvodové řemeny jsou zpravidla ozubené jen na jedné straně. Ozubená vrstva je dále pokryta vrstvou odolávající otěru (nylonová tkanina).



Obr. 6.5 Řemenový pohon DOHC rozvodu automobilového motoru [2]

- 1 - výfukový vačkový hřídel
- 2 - sací vačkový hřídel
- 3 - napínací kladka
- 4 - čerpadlo chladicí kapaliny
- 5 - klikový hřídel
- 6 - vodící kladka

Rozvodový řemen musí odolávat vysokým teplotám, jejich kolísání a musí mít dostatečnou pružnost i za velkých mrazů. Musí mít vysokou pevnost v tahu, odolnost proti otěru, délkovou stabilitu a odolávat chemickým vlivům (tuky, olej, slaná voda, vodní mlha...). Nesmí se lámat. [2]

Zpočátku se používal lichoběžníkový profil zubů, dnes se používají řemeny s parabolickým tvarem zubů (HTD, HTD2), ty mají větší únosnost, tišší chod a méně se opotřebovávají [33].

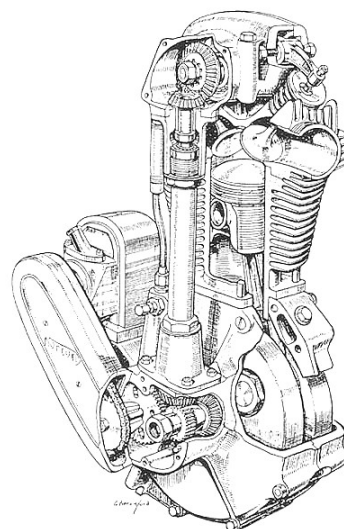
Nevýhodou rozvodového řemenu je jeho nižší životnost. V současné době vydrží přibližně 100 000 km [33]. Výměna však nebývá náročná a příliš nákladná. Rozhodně je třeba dodržovat interval výměny řemene stanovený výrobcem. Další nevýhodou je uložení převodu mimo skříň, čímž se zvětšuje počet ploch (hřídelí), které je nutné utěsnit [6]. Chráněn bývá pouze jednoduchým plastovým krytem, který brání vnikání prachu, šterku, vody... Řemen hrozí poruchou (přetržením, přeskočením, utržením zubů) poněkud více než řetěz, řemeny však prodělaly značný vývoj a při dodržení intervalů výměny a správné montáži se problémy vyskytují jen zřídka. V současné době se objevují i rozvodové řemeny mazané olejem (mokrý), které jsou méně hlučné a mají dlouhou životnost (240 000 km Ford Focus 1.0 EcoBoost) [35].

### 6.3 POHON VAČKOVÉHO HŘÍDELE OZUBENÝM SOUKOLÍM

Pohonu čelním soukolím se používá především na krátkou vzdálenost (OHV rozvody) nebo při velkém zatížení (motory nákladních automobilů, lodní motory...). Při pohonu OHV rozvodu se vystačí s jedním párem ozubených kol, pro pohon OHC rozvodu je však již třeba soustava více kol (z důvodu kompaktních rozměrů). Kvůli nižší hlučnosti, plynulejšímu chodu a větší únosnosti se často používají kola se šikmými zuby, to mírně komplikuje řešení pohonu, protože je třeba zachycovat axiální síly. Pohon vačkového hřídele ozubeným soukolím je spolehlivý a má velkou životnost, klade však větší nároky na přesnost a je dražší.



Obr. 6.6 Pohon vačkového hřídele OHC rozvodu čelním soukolím (motocyklový motor Benelli Leoncino) [36]

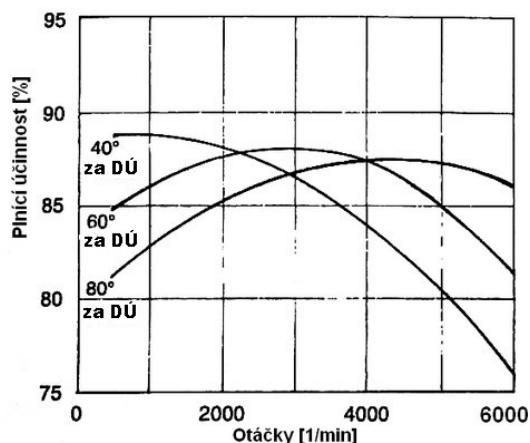


Obr. 6.7 Pohon OHC rozvodu motocyklového motoru královským hřídelem [37]

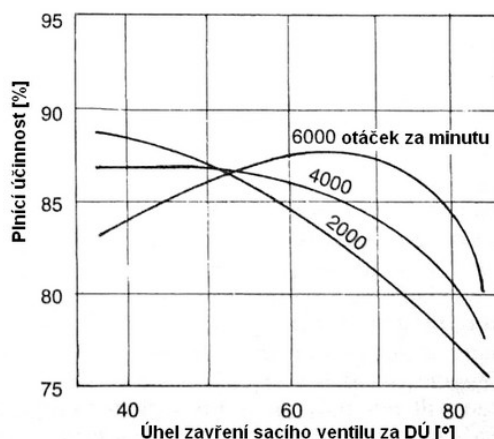
U vzduchem chlazených motocyklových a leteckých motorů s OHC rozvody se kvůli lepšímu chlazení používal pohon tzv. **královským hřídelem** (obr. 6.7). Jedná se o pohon pomocí hřídele a dvou párů kuželových nebo šroubových soukolí. Hnací (královský) hřídel zabírá malý prostor, válec motoru je tak dobře chlazen.

## 7 VARIABILNÍ ROZVODOVÉ MECHANISMY

Jak již bylo zmíněno výše, časování rozvodu a zdvih ventilů mají významný vliv na chod motoru a dosahované parametry (průběh točivého momentu, výkon, spotřeba, emise...). Variabilní rozvodové mechanismy přizpůsobují časování rozvodu (případně i zdvih ventilů) aktuálním provozním podmínkám (zejména otáčkám), díky tomu má motor větší pružnost než motor s pevným časováním ventilů, lepší průběh točivého momentu a vysoký výkon.

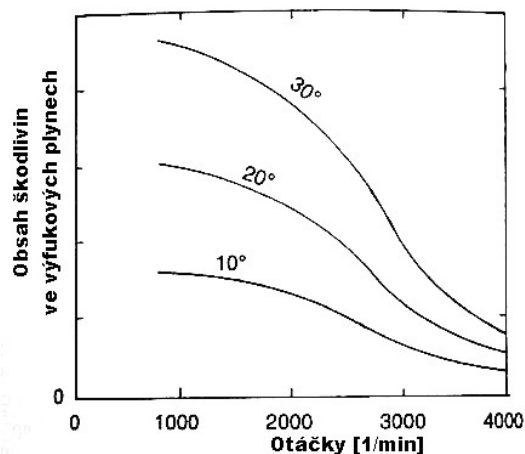


Obr. 7.1 Vliv úhlu zavření sacího ventilu na plnicí účinnost [38]

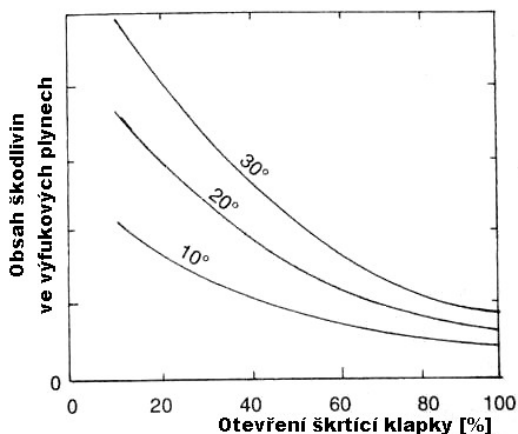


Obr. 7.2 Vliv úhlu zavření sacího ventilu na plnicí účinnost [38]

Pokud má mít motor výkon ve vysokých otáčkách, je zapotřebí pro dobré plnění válce zavírat sací ventil dlouho za DÚ, při nízkých otáčkách však při stejném úhlu zavírání za DÚ dochází k vytlačení části nasáté směsi zpět do sacího traktu, což má za následek pokles točivého momentu (oproti časování s menším úhlem zavření sacího ventilu za DÚ). Ve vysokých otáčkách je rovněž zapotřebí velký stříh (překrytí) ventilů [5]. Stříh ventilů, otevření sacího ventilu a zavření výfukového ventilu mají významný vliv na chod motoru a emise. Vhodným časováním lze dosáhnout řízeného vnitřního vedení výfukových zplodin. Dřívějším otevřením sacího ventilu se zvýší podíl zbytkových zplodin ve spalovacím prostoru, protože se zvětší jejich objem natlačený do sacího potrubí, odkud jsou nasáty zpět do spalovacího prostoru [2]. Aby bylo dosaženo stejného točivého momentu (výkonu), je třeba více otevřít škrtkovací klapku, tím se sníží ztráty v sacím traktu a spotřeba paliva [2]. Proměnným zdvihem ventilů je možné řídit rychlost proudění plynů ventilem nebo jím dokonce nahradit škrtkovací klapku a řídit tak množství nasávané směsi, čímž se sníží ztráty při sání.



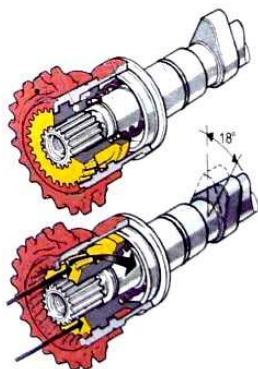
Obr. 7.3 Vliv úhlu zavření výfukového ventilu za HÚ na emise motoru [38]



Obr. 7.4 Vliv úhlu otevření sacího ventilu před HÚ na emise motoru [38]

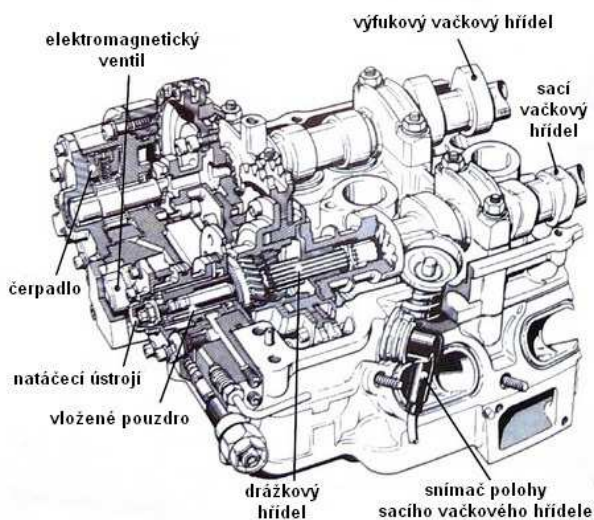
## 7.1 NATÁČENÍ VAČKOVÉHO HŘÍDELE

Natáčení vačkového hřídele vůči klikovému hřídeli je nejužívanějším řešením proměnného časování ventilů. Doba otevření ventilu je stále stejná (i zdvih), pouze se posouvá okamžik otevření a zavření ventilu. Podmínkou pro použití je rozvod se dvěma vačkovými hřídeli (samostatným sacím a výfukovým, DOHC), aby bylo možné posouvat vůči sobě okamžiky otevření a zavření sacích a výfukových ventilů. Natáčí se buď pouze sací vačkový hřídel nebo v současné době častěji oba vačkové hřídele. Takováto změna časování není zcela ideální, řídí se tak velikost stříhu (překrytí) ventilů. Při potřebném zvětšení stříhu ventilů ve vysokých otáčkách se sníží velikost úhlu za DÚ, kdy je zavírán sací ventil, celkově je ale vliv na parametry motoru příznivý.



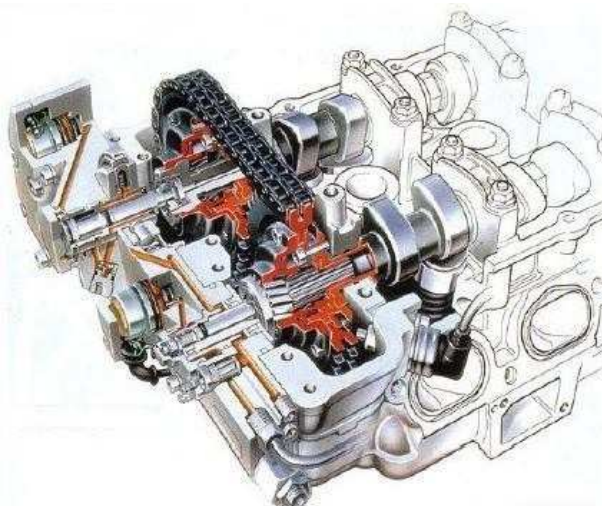
Obr. 7.5 Pootáčení vačkového hřídele pomocí šikmých drážek (Alfa Romeo 2.0 TS) [5]

Jednou z možností jak natáčet vačkový hřídel vůči klikovému je jeho natáčení vůči kolu (řetězovému, ozubené řemenici, ozubenému), které ho pohání. Poprvé se toto řešení objevilo v sériové produkci u motorů Alfa Romeo 2.0 TS v roce 1985. U tohoto motoru je sací vačkový hřídel natáčen vůči řetězovému kolu pohonu pomocí axiálně (ve směru osy) posuvného vloženého pouzdra. Pouzdro je spojeno s vačkovým hřídelem přímým drážkováním a s řetězovým kolem šikmými drážkami, takže při axiálním posunu kroužku se kolo a hřídel vůči sobě natáčí (obr. 7.5). V základní poloze je pouzdro udržováno tlačnou pružinou. Posun proti pružině je uskutečněn tlakovým olejem. Změna časování je skoková, tlakový olej buď není přiveden a mechanismus se nachází v základní poloze, nebo je přiveden a mechanismus se nachází v druhé krajní poloze, vačka je pootočená. Vačkový hřídel se takto pootáčí vůči rozvodovému kolu o 15° až 30° (30° až 60° natočení klikového hřídele). [5]



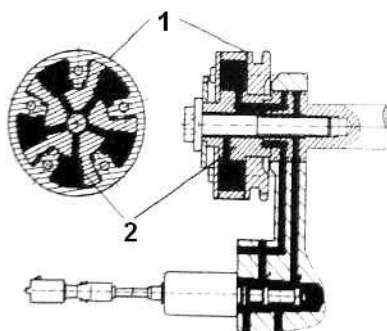
Obr. 7.6 BMW VANOS [5]

Na stejném principu pracuje i systém VANOS (VARIABLE NOckenwellen Steuerubg) firmy BMW. Vanos však natáčí sací vačkový hřídel vůči kolu rozvodu plynule v rozsahu  $21^\circ$  ( $42^\circ$  úhlu natočení klikového hřídele). Natáčení je realizováno hydraulicko-mechanicky, tlakový olej (10 MPa) dodává čerpadlo poháněné výfukovým vačkovým hřídelem (obr. 7.6). Dalším zlepšením je systém double VANOS, který natáčí oba vačkové hřídele (obr. 7.7). [5]



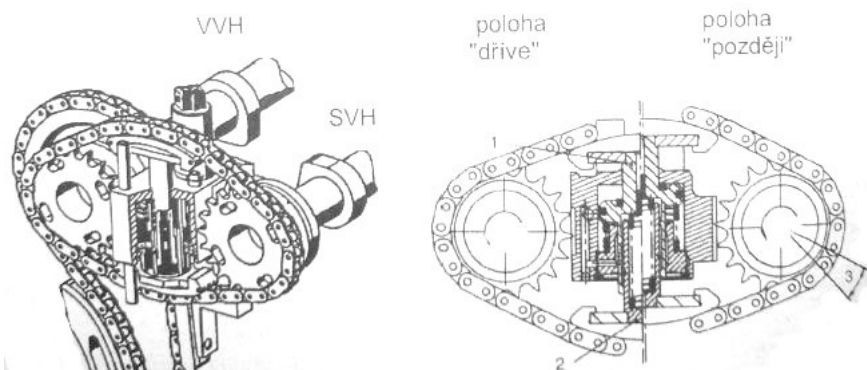
Obr. 7.7 BMW double VANOS [39]

Další podobný způsob plynulého natáčení vačkového hřídele vůči kolu pohonu je na obr. 7.8. Toto zařízení je vlastně rotačním hydromotorem (křídlovým). Poloha rotoru (2) je ovládána tlakovým olejem, který je přiváděn přes elektromagnetický ventil. Podle změny tlaku oleje na obou stranách rotoru se mění jeho poloha vůči kolu pohonu (1). Rotor je spojen s vačkovým hřídelem a dochází tak k natáčení vačkového hřídele vůči kolu pohonu. Úhel nastavení vačkového hřídele je porovnáván s požadavkem řídicí jednotky a regulován elektromagnetickým ventilem. V porovnání s ozubenými plynulými nastavovači (např. VANOS) je toto řešení levnější. Tento systém používá mnoho automobilek pod různými názvy, například CVVT (Continuously Variable Valve Timing). [2]



Obr. 7.8 Nastavovač vačkového hřídele s otočným hydromotorem [2]

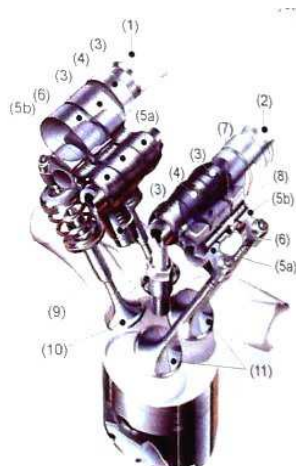
Jiným způsobem natáčení vačkového hřídele je změna délky spojovacího členu (řetězu, řemenu) pomocí napínacích lišt nebo kladek, které na jedné straně spojovací člen prodlužují a na druhé zkracují. Tuto koncepci nalezneme u motorů Porsche (VarioCam) a Audi. Výfukový vačkový hřídel je poháněn od hřídele klikového. Od vačkového hřídele výfukových ventilů je poháněn vačkový hřídel sacích ventilů pomocí řetězového (řemenového) převodu, který umožňuje měnit délku tažné větve pomocí elektrohydraulického nastavovače (napínače), obr. 7.9. Tato zařízení pracují pouze dvupolohově (skoková změna) [2], plynulá změna by byla proveditelná.



Obr. 7.9 Nastavování vačkového hřídele změnou délky tažné větve řetězu [2]  
VVH - výfukový vačkový hřídel, SVH - sací vačkový hřídel

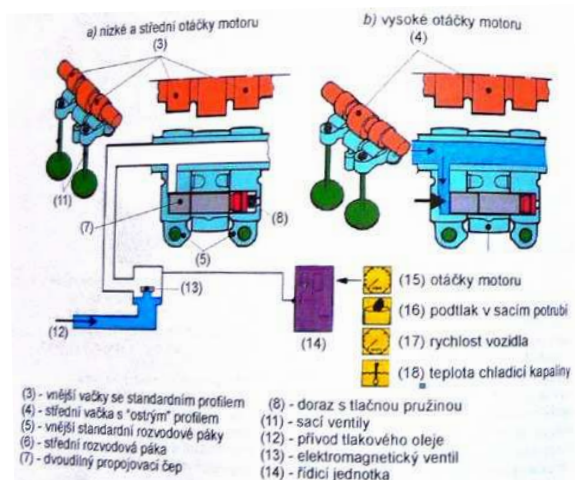
## 7.2 ZMĚNA PROFILU VAČKY

Dalším způsobem jak měnit časování ventilů je změna profilu vačky. Takto lze měnit i zdvih ventilů. Tato změna může být realizována různým způsobem skokově nebo dokonce i plynule (složitě tvarovaná vačka s měnícím se profilem v axiálním směru, změna se provádí axiálním posunutím).

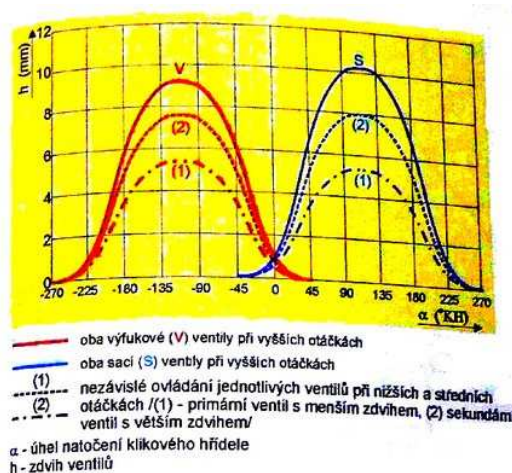


Obr. 7.10 Uspořádání systému VTEC [5]

Poměrně jednoduchým systémem umožňujícím skokovou změnu časování a zdvihu ventilů je VTEC (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control) používaný společností Honda. Honda původně vyvinula tento systém pro závodní motory formule 1, později se uplatnil i u sériových motorů. Funkce je vysvětlena na motoru Honda Civic 1,6 VTi. Motor má rozvod DOHC se čtyřmi ventily na válec (dva sací a dva výfukové), obr. 7.10. Na každou dvojici ventilů připadají tři vačky a tři rozvodové páky. V oblasti nižších otáček otevírají ventily krajní z trojice vaček, prostřední vačka ovládající prostřední páku pracuje „naprázdno“, páka nijak nepůsobí na ventily. Zajímavostí je, že krajní vačky nejsou stejné, každá má jiný zdvih, aby při nízkých otáčkách byla směs lépe rozvířena. Časování a zdvih obou ventilů jsou navrženy tak, aby byl průběh točivého momentu co nejvýhodnější a spotřeba paliva byla nízká. Při vyšších otáčkách dojde ke spojení prostřední páky s krajními pákami, ventily jsou tak ovládány prostřední vačkou, která má jiné časování a větší zdvih (je naladěna na vysoké otáčky). Spojení je provedeno hydraulicky ovládaným děleným čepem (obr. 7.11), uskuteční se teprve když se páky srovnají do roviny (průměry základních kružnic všech tří vaček jsou stejné). Okamžik, kdy dojde k propojení pák, určuje řídicí jednotka v závislosti na otáčkách, zatížení, teplotě chladicí kapaliny a rychlosti jízdy. [5]



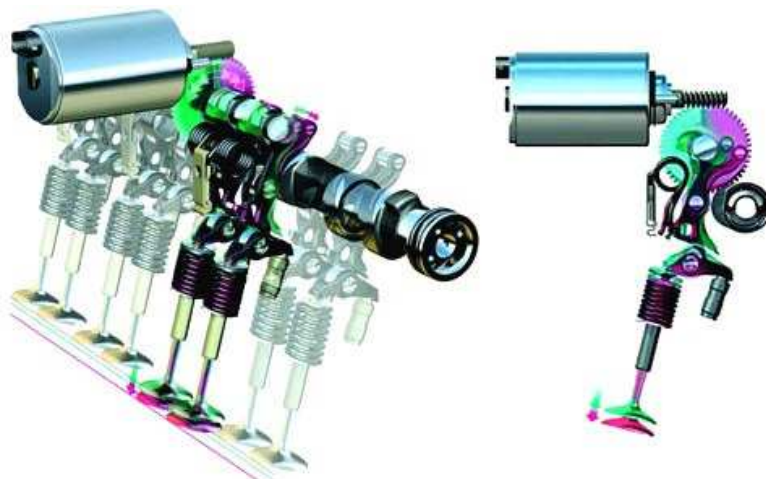
Obr. 7.11 Funkce systému VTEC [5]



Obr. 7.12 Průběhy otevírání a zavírání ventilů systému VTEC [5]

### 7.3 DALŠÍ VARIABILNÍ SYSTÉMY

Existují i další variabilní systémy proměnného časování a zdvihu ventilů, které pracují na jiných principech než natáčení vačkového hřídele vůči klikovému hřídeli nebo změny profilu vačky. Do této skupiny patří i některé mechanismy z bodu 5 (nekonvenční rozvodové mechanismy). Jako příklad je uveden mechanismus pro plynulou změnu zdvihu ventilů Valvetronic.



Obr. 7.13 Valvetronic (BMW) [40]

Tento mechanismus využívá k řízení zdvihu sacích ventilů firma BMW ve spojení s proměnným časováním ventilů double VANOS. Díky plynulému řízení zdvihu ventilů motor nepotřebuje škrtkovací klapku (ta sice v motoru je, ale zůstává plně otevřená, pracuje pouze v nouzovém režimu). Zdvih se pohybuje mezi (0,3 až 9,7) mm a změna zdvihu z maximálního na minimální (nebo naopak) trvá pouhé 0,3 s, za stejnou dobu se přenastaví z jedné krajní polohy do druhé i systém double VANOS [41]. Vačka sacího vačkového hřídele nepůsobí na rozvodovou páku přímo, ale přes vloženou páku podepřenou výstředníkovým hřídelem. Změna zdvihu ventilu se uskutečňuje změnou polohy vložené páky pootočením výstředníkového hřídele. Výstředníkový hřídel je pootáčen krokovým motorem přes šnekové soukolí. [5]

## ZÁVĚR

Práce poskytuje přehled technických řešení ventilových rozvodů. Neobsahuje všechna konstrukční řešení, zabývá se však nejpoužívanějšími řešeními, dříve používanými řešeními a řešeními, která se možná uplatní v blízké budoucnosti. Popisuje jednotlivá uspořádání, jejich výhody a nevýhody, srovnává možnosti pohonu vačkových hřídelů a popisuje princip činnosti variabilních rozvodových mechanismů, který je ukázán na některých používaných řešeních. Utváří představu o tom, jak složitou problematikou jsou ventilové rozvody.

Na vozidlové spalovací motory jsou kladeny stále přísnější požadavky na spotřebu paliva, emise, výkon... Právě na tyto parametry má ventilový rozvod klíčový vliv. Vzhledem k výhodám variabilních rozvodových mechanismů lze očekávat jejich rostoucí zastoupení v automobilových motorech. Nevýhodou těchto mechanismů je vyšší cena. Vývoj variabilních systémů však neustále pokračuje a některé mechanismy jsou již dnes cenově přijatelné pro aplikaci v běžných automobilových motorech i pro malé automobily (např. MultiAir). Časem se mohou stát kvůli plnění emisních předpisů nutnou součástí spalovacích motorů.

Brzké nastoupení „bezvačkových“ rozvodových mechanismů patrně nenastane, i když ho není možné vzhledem k technickému vývoji vyloučit. Nástup těchto mechanismů se očekával mnoho let, ale dosud se v sériové výrobě neobjevily. Vačkové mechanismy jsou spolehlivé, levné a díky dlouholetému používání dobře zvládnuté. „Bezvačkové“ mechanismy odstraňují některé součásti spalovacího motoru (zejména pohon vačkového hřídele), takže konstrukce motoru je v některých ohledech jednodušší než u motoru s vačkovým rozvodovým mechanismem.

V oblasti pohonu vačkového hřídele se patrně budou stále více uplatňovat rozvodové řemeny pracující v oleji („mokrý řemen“), které vydrží po celou dobu životnosti motoru.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] MACKERLE, Julius. *VZDUCHEM CHLAZENÉ VOZIDLOVÉ MOTORY*. vydání druhé. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1960, 512 s. typové číslo L 13-D-3 II/2319.
- [2] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vydání. Brno: vlastním nákladem, 2003. ISBN 80-238-8756-4.
- [3] [online]. [cit. 2012-01-06]. Dostupné z: <http://www.indowebster.web.id/showthread.php?t=170274&page=18>
- [4] [online]. [cit. 2012-01-06]. Dostupné z: [http://kotamuda.humlak.cz/navody\\_manualy/127/HTM/HTM2/motor/vackovy.htm](http://kotamuda.humlak.cz/navody_manualy/127/HTM/HTM2/motor/vackovy.htm)
- [5] ZDENĚK, Jan a Bronislav ŽĎÁNSKÝ. *AUTOMOBILY 3: Motory*. 5. vydání. Brno: Advid, spol. s r. o., 2008. ISBN 978-80-87143-06-3.
- [6] KOŽOUŠEK, Josef. *VÝPOČET A KONSTRUKCE SPALOVACÍCH MOTORŮ II*. vydání první. Praha: Nakladatelství technické literatury, n. p., 1983, 488 s. typové číslo L13-C3-IV-31/28715.
- [7] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů. díl 1*. 1. vydání. Brno: vlastním nákladem, 2004. ISBN 80-239-1601-7
- [8] [online]. [cit. 2012-01-12]. Dostupné z: <http://blogs.corvettefever.com/6627224/corvette-parts/street-strip-dual-valve-spring-for-comp-cams-gm-lsr-cams/index.html>
- [9] [online]. [cit. 2012-01-12]. Dostupné z: <http://blengineering.co.uk/sample-page/>
- [10] [online]. [cit. 2012-02-04]. Dostupné z: <http://www.autoznanosti.cz/index.php/motor/36-ventilove-rozvody-zakladni-rozdeleni.html>
- [11] [online]. [cit. 2012-02-04]. Dostupné z: <http://www.fallschirmjager.net/Vehicles/Motorcycles/BMWTechnical/Drawings.html>
- [12] [online]. [cit. 2012-02-04]. Dostupné z: <http://www.floheadworks.com/Engine%20types/Flathead%20K%20Model.htm>
- [13] [online]. [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:OHV\\_engine,\\_section\\_%28Autocar\\_Handboo,\\_13th\\_ed,\\_1935%29.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:OHV_engine,_section_%28Autocar_Handboo,_13th_ed,_1935%29.jpg)
- [14] [online]. [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: [http://www.embecko.inczech.net/mb/vyvoj\\_mb\\_02.htm](http://www.embecko.inczech.net/mb/vyvoj_mb_02.htm)
- [15] [online]. [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: [http://kaufner.webz.cz/gaz66\\_dok\\_rezy\\_1.php](http://kaufner.webz.cz/gaz66_dok_rezy_1.php)
- [16] [online]. [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: <http://www.smcars.net/forums/miscellaneous/25555-leonhard-gunbus.html>

- [17] [online]. [cit. 2012-02-06]. Dostupné z: [http://www.atvsources.com/images/article-images/press-releases/2001/sparks/crf450\\_engine\\_cutaway\\_01.jpg](http://www.atvsources.com/images/article-images/press-releases/2001/sparks/crf450_engine_cutaway_01.jpg)
- [18] IOE engine. [online]. [cit. 2012-03-03]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/IOE\\_engine](http://en.wikipedia.org/wiki/IOE_engine)
- [19] [online]. [cit. 2012-02-20]. Dostupné z: <http://www.curbsideclassic.com/automotive-histories/automotive-history-the-curious-f-head-engine/>
- [20] [online]. [cit. 2012-03-4]. Dostupné z: <http://www.motohistory.net/news.html>
- [21] [online]. [cit. 2012-03-04]. Dostupné z: <http://www.head2head.free-online.co.uk/Rover/engine.htm>
- [22] [online]. [cit. 2012-03-04]. Dostupné z: <http://webpace.webring.com/people/qp/pravg/engine.htm>
- [23] [online]. [cit. 2012-03-06]. Dostupné z: <http://inter.action.free.fr/images/affiches/junkers-jumo.gif>
- [24] BMG DESMO KIT. [online]. [cit. 2012-03-10]. Dostupné z: <http://thevintagent.blogspot.com/2008/06/bmg-desmo-kit.html>
- [25] History of Desmodromic Timing. [online]. [cit. 2012-03-10]. Dostupné z: [http://www.ducati.com/history/editorials/history\\_of\\_desmodromic\\_timing/index.do](http://www.ducati.com/history/editorials/history_of_desmodromic_timing/index.do)
- [26] [online]. [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/forum-detail/?fid=7&ft=51186>
- [27] ŘEŠENÍ VENTILOVÝCH VŮLÍ. [online]. [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: <http://www.ducati.motocentrum.cz/mbp.html>
- [28] [online]. [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: <http://www.mbpducati.com>
- [29] Pneumatic valve springs. [online]. [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Pneumatic\\_valve\\_gear](http://en.wikipedia.org/wiki/Pneumatic_valve_gear)
- [30] [online]. [cit. 2012-04-010]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/fiat-multiair-powertrain-technologies-vice-vzduchu-italske-motory-5234>
- [31] NSU Ultramax camshaft drive system. [online]. [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: <http://www.nsu4.nl/english/e1ultramaxcamshaftsystem.html>
- [32] [online]. [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: [http://www.classicmotorcycles.org.uk/bikemuseum/museum\\_nsu.htm](http://www.classicmotorcycles.org.uk/bikemuseum/museum_nsu.htm)
- [33] STÝBLO, Slavomír. Konstrukce rozvodů: je lepší řetěz či řemen?. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.tipcar.cz/konstrukce-rozvodu--je-lepsi-retez-ci-remen--4843.html>
- [34] [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.whm.net/content/en/prod1/neoprene-tooth-belts/conti-synchrobelt-htd>

- [35] VOKÁČ, Luděk. Překvapení pod kapotou. První jízdy s tříválcem 1,0 ve Fordu Focus. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: [http://auto.idnes.cz/trivalec-ve-fordu-focus-prvni-jizdy-dbl-/auto\\_testy.aspx?c=A120226\\_110506\\_auto\\_testy\\_vok](http://auto.idnes.cz/trivalec-ve-fordu-focus-prvni-jizdy-dbl-/auto_testy.aspx?c=A120226_110506_auto_testy_vok)
- [36] [online]. [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: <http://www.flickr.com/photos/galpalu/2953583087/in/photostream/>
- [37] [online]. [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: <http://www.racingvincent.co.uk/14%20Norton%20Site/Manx-Norton-14.html>
- [38] HEISLER, Heinz. *Advanced Engine Technology*. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2002. 794 s. ISBN 1-56091-734-2.
- [39] [online]. [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://www.oto-hui.com/diendan/f319/he-thong-vanos-variable-nockenwellen-steuerung-tren-dong-co-bmw-12979.html>
- [40] [online]. [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://dpgo.ru/article/2012-02-06/menyaem-fazy-gazoraspredeleniya-neobhodimost-i-tehnologii>
- [41] SAJDL, Jan. Valvetronic. [online]. [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/valvetronic/>