

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Vývoj a konstrukce rozvodových mechanismů spalovacích motorů**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Autor práce: Tomáš Tíce

PRAHA 2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tomáš Tíce

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Vývoj a konstrukce rozvodových mechanismů spalovacích motorů**

Název anglicky

**Design and construction of combustion engine timing mechanism**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je literární rešerše v oblasti rozvodových mechanismů vozidlových spalovacích motorů.

### Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce – návrh postupů získávání dat
4. Přehled řešené problematiky – konstrukce rozvodových mech., časování ventilů,
5. Výsledky a diskuze
6. Závěr
7. Seznam použitých zdrojů
8. Přílohy

## Doporučený rozsah práce

30 stran

## Klíčová slova

rozvodový mechanismus, časování ventilů, motor

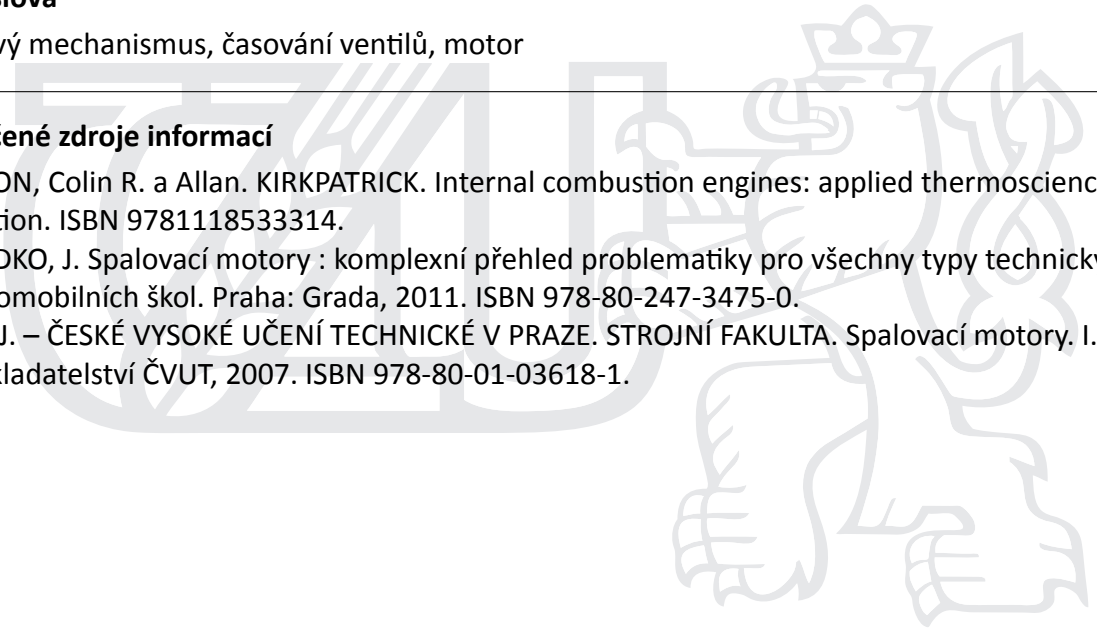
---

## Doporučené zdroje informací

FERGUSON, Colin R. a Allan. KIRKPATRICK. Internal combustion engines: applied thermosciences. Third edition. ISBN 9781118533314.

HROMÁDKO, J. Spalovací motory : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.

MACEK, J. – ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. STROJNÍ FAKULTA. Spalovací motory. I. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03618-1.



---

## Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

## Vedoucí práce

Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 26. 1. 2018

**doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 9. 3. 2018

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2019

## Prohlášení

*„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vývoj a konstrukce rozvodových mechanismů spalovacích motorů vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.*

*Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“*

V Praze dne 30. března 2019

Podpis:

## **Poděkování:**

Rád bych touto formou poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Jakobovi Maříkovi, Ph.D. za věcné rady a připomínky.

**Abstrakt:** Tato bakalářská práce se zabývá technickými řešeními rozvodových mechanismů pístových spalovacích motorů formou literární rešerše. Nejprve je popsán pracovní oběh dvoudobého a čtyřdobého motoru, zážehového i vznětového a nastíněna jejich historie. Dále jsou popsány rozvodové mechanismy dvoudobých a čtyřdobých motorů a jejich časování. Následuje rozdělení ventilových rozvodů z pohledu uspořádání jejich částí v motoru (SV, OHV, OHC atd.), popis konstrukce ventilů, zdvihátek, vahadel, vačkových hřídelů, rozvodových tyček a dalších dílů rozvodu. Jsou také popsány základní druhy pohonu vačkového hřídele, variabilní rozvodové mechanismy a krátký přehled nekonvenčních rozvodových mechanismů.

**Klíčová slova:** rozvodový mechanismus; časování ventilů; motor; ventilový rozvod

## **Design and construction of combustion engine timing mechanism**

**Summary:** This bachelor thesis deals with the technical solutions of the timing mechanisms of piston combustion engines in the form of literary research. Firstly, the work cycle of two-stroke and four-stroke engines, both petrol and diesel engines, are outlined and their history is described. Furthermore, the timing mechanisms of two-stroke and four-stroke engines and their timing are described. This is followed by valvetrain in terms of their engine parts (SV, OHV, OHC, etc.), valve design, tappets, rocker arms, camshafts, timing rods, and other valvetrain parts. There are also described basic types of camshaft drive, variable timing mechanisms and a brief overview of unconventional timing mechanisms.

**Key words:** timing mechanism; valve timing; engine; valvetrain

## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíl práce.....	2
3. Spalovací motor .....	3
3.1 Základní princip.....	3
3.2 Dvoudobé zážehové motory .....	3
3.3 Dvoudobé vznětové motory .....	5
3.4 Čtyřdobé zážehové motory.....	6
3.5 Čtyřdobé vznětové motory .....	9
4. Úkol rozvodového ústrojí.....	10
5. Rozvodové mechanismy pro dvoudobé motory.....	10
5.1 Výměna náplně ve válci dvoudobého motoru.....	12
6. Rozvodové mechanismy pro čtyřdobé motory .....	14
6.1 Časování rozvodu .....	14
6.2 Šoupátkový rozvod.....	15
6.3 Ventilové rozvody – rozdělení dle uspořádání .....	16
6.4 Víceventilová technika .....	21
6.5 Ventilové rozvody – díly mechanismu .....	22
7. Variabilní rozvodové mechanismy.....	36
8. Nekonenční rozvodové mechanismy .....	37
8.1 Pneumatické zavírání ventilů .....	37
8.2 Mechanicko-hydraulické ovládání ventilů VVA .....	37
8.3 Elektro-hydraulické ovládání ventilů .....	38
8.4 Elektromagnetické ovládání ventilů EVA.....	38
9. Závěr .....	39
10. Použitá literatura a zdroje .....	40
11. Seznam obrázků.....	43

# 1. Úvod

Lidstvo používalo k dopravě, v zemědělství a dalších odvětvích postupně několika zdrojů energie, nejprve se využívala lidská síla, síla tažných zvířat, později byla využita energie větru a vody. Obrovský pokrok pro dopravu znamenalo vynález spalovacího motoru. V současné době je spalovací motor nedílnou součástí moderní lidské společnosti. Je využíván především k dopravě lidí, zvířat, zboží atd.

Spalovací motor je významným zdrojem energie, existuje již více než 150 let. Za tu dobu prošel značným vývojem a díky němu prošla významným vývojem i lidská společnost. Vývoj motoru se stále nezastavil, probíhá a bude pravděpodobně probíhat i v budoucnosti, proto jsem si toto téma vybral ke své bakalářské práci.

Velice důležitou součástí pístového spalovacího motoru je rozvodový mechanismus. Jeho základní funkcí je řízení plnění válců motoru směsí nebo vzduchem. Tento mechanismus významně ovlivňuje dosažené parametry motoru (spotřeba paliva, výkon, emise atd.).

Na začátku mé bakalářské práce se věnuji základnímu principu dvoudobých a čtyřdobých spalovacích motorů, dále je uveden účel rozvodových mechanismů a jejich konstrukce. V závěru své práce se zabývám poměrně moderními řešeními rozvodových mechanismů v podobě variabilního časování a nekonvenčními řešeními rozvodových mechanismů.



## **2. Cíl práce**

Cílem této bakalářské práce na téma „Vývoj a konstrukce rozvodových mechanismů spalovacích motorů“ je seznámení se současnými i historickými rozvodovými mechanismy, které se používali či používají především k pohonu automobilů a motocyklů.

## 3. Spalovací motor

### 3.1 Základní princip

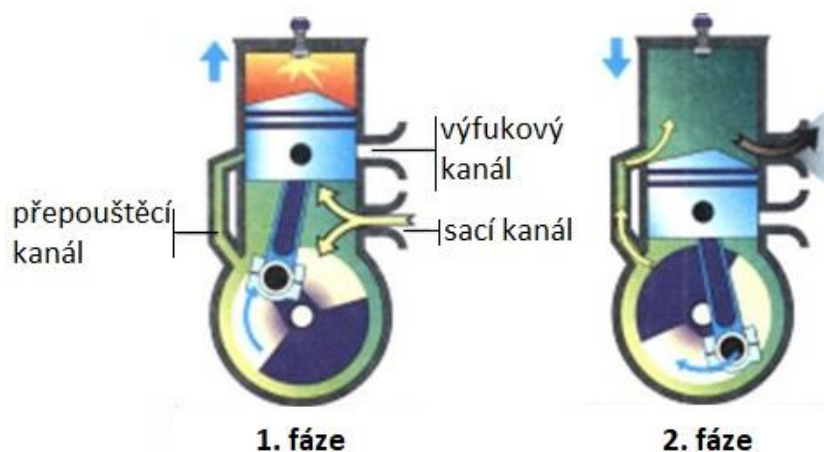
Spalovací motor je tepelný hnací stroj, funguje na principu přeměny chemické energie na tepelnou energii spálením plynného, či kapalného paliva a dále přeměnou na mechanickou práci. Řadí se k periodicky pracujícím strojům. Do válce se dostává pouze omezené množství pracovního média, které je ovlivněno mimo jiných faktorů také konstrukcí rozvodového mechanismu. Množství pracovního média výrazně ovlivňuje výkon motoru. Proto je důležité, aby se dostala z válce většina spalin vzniklých hořením paliva. Čím méně bude ve spalovacím prostoru spalin, tím více se do něj dostane čerstvé směsi nebo čerstvého vzduchu [4].

### 3.2 Dvoudobé zážehové motory

Za prvního konstruktéra dvoudobého zážehového motoru je považován skotský inženýr Dugald Clerk, který si ho v roce 1878 nechal patentovat [1], tento motor používal ventilovou techniku. Bezventilový dvoudobý motor vynalezl o dekádu později anglický inženýr Joseph Day, ve 20. století byl hojně využíván díky své jednoduchosti oproti čtyřdobému motoru především u zahradní techniky, motocyklů a osobních automobilů. V současné Evropě se vzhledem ke stále zvyšujícím se emisním limitům upouští od použití motoru s touto konstrukcí [3].

Pracovní cyklus proběhne během jedné otáčky klikové hřídele neboli během dvou zdvihů pístu. Dvoudobý motor je konstrukčně jednodušší než čtyřdobý motor, to je zapříčiněno tím, že výměna pracovní náplně probíhá ve většině případů pomocí pístu a otvorů ve stěně válce tzv. kanálů. Ve většině případů se jedná o motor tříkanálový (sací, přepouštěcí a výfukový kanál) [3].

Obr. 1 Pracovní fáze dvoudobého motoru [16]



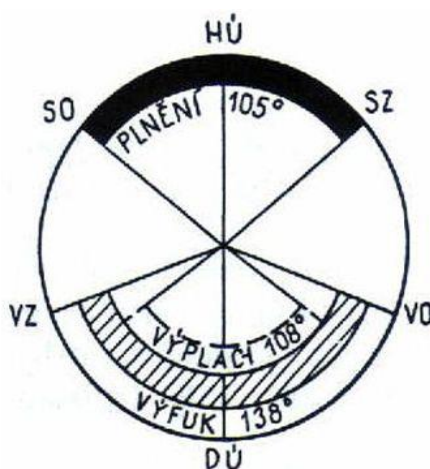
První fáze (zdvih) – pohyb pístu z dolní úvrati do horní úvrati

Píst je v DÚ a probíhá výměna zplodin hoření čerstvou náplní, při pohybu pístu k HÚ se zakryje přepouštěcí a výfukový kanál. V klikové skříni se zvětšuje objem čímž vzniká podtlak 20 až 40 kPa. Po odkrytí sacího kanálu spodní hranou pístu se díky podtlaku nasává nová pracovní náplň. Nad pístem se mezitím stlačuje zápalná směs, která je těsně před HÚ zažehnuta elektrickou jiskrou ze zapalovací svíčky [3].

Druhá fáze (zdvih) – pohyb pístu z HÚ (horní úvrať) do DÚ (dolní úvrať)

Po zapálení stlačené pracovní náplně ve válci prudce stoupá teplota i tlak, náplň expanduje a díky tomu je píst stlačován k DÚ, pomocí klikového mechanismu je práce vykonaná přímočarým pohybem pístu transformována na pohyb rotační. Pohybem pístu směrem k DÚ se jeho spodní hranou zakryje sací kanál, kterým se přivádí náplň do klikové skříně, která oproti čtyřdobému motoru funguje i jako dmychadlo. Pracovní náplň se zde zásluhou dalšího pohybu pístu stlačuje a vzniká přetlak 30 až 60 kPa. Současně se nejdříve horní hranou pístu před dosažením DÚ odkryje výfukový kanál a zplodiny hoření díky přetlaku začínají unikat do výfuku, čímž podstatně klesne tlak ve válci. Dalším pohybem pístu se odkryje také přepouštěcí kanál, který přivádí do pracovního prostoru novou náplň z prostoru klikové skříně, kde byla předběžně stlačena. Nová náplň vytlačuje zplodiny hoření z válce do výfukového kanálu, při tom se vzájemně promísí a dochází k úniku čerstvé směsi do výfuku. Tím se zvyšují emise vyprodukované motorem a spotřeba paliva. Pro potlačení této nevýhody se musí optimalizovat výplach válce, například se může využít více plnicích a výfukových otvorů ve stěně válce, které jsou pod určitým úhlem. Může se využít i tzv. deflektor (profilovaný tvar dna pístu) [2][3].

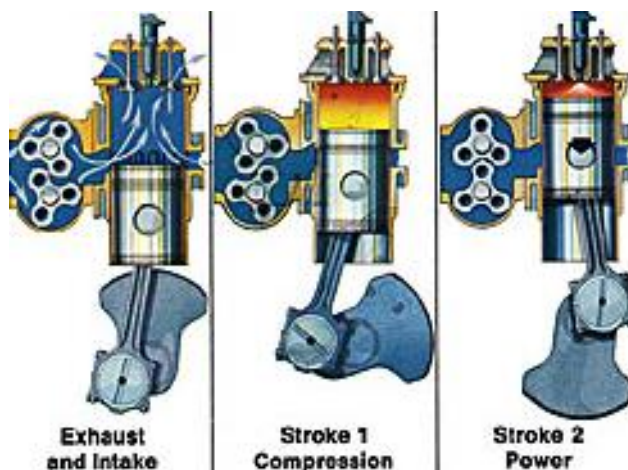
Obr. 2 Kruhový diagram časování rozvodu dvoudobého motoru [6]



### 3.3 Dvoudobé vznětové motory

Dvoudobé vznětové motory používají jako palivo těžší ropné frakce, v silničních vozidlech převážně naftu. Na rozdíl od zážehových dvoudobých motorů odvod zplodin hoření není ve většině případů řízený pístem, nýbrž ventilem (ventily), který je umístěn v hlavě motoru. Prostor pod pístem neboli v klikové skříni není využíván jako dmychadlo, dvoudobý vznětový motor využívá atmosférického tlaku, či externího dmychadla [3].

Obr. 3 Dvoudobý vznětový motor [17]



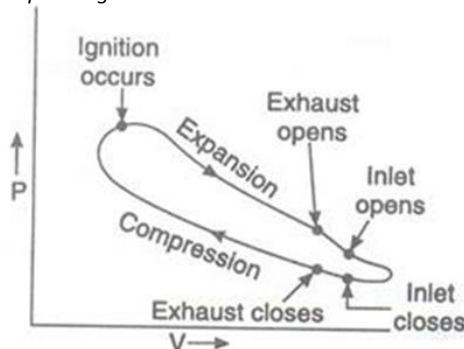
První fáze – pohyb pístu z dolní úvrati do horní

Píst je v DÚ, nezakrývá sací kanály, je otevřen výfukový ventil a dochází k výměně spalin hoření čerstvým vzduchem (výhoda oproti zážehovému dvoudobému motoru, kde spaliny nahrazuje směs paliva, oleje a vzduchu a dochází ke ztrátám, což má za následek i vyšší tvorbu emisí). Při pohybu pístu k HÚ se postupně zakrývají sací kanály, současně se uzavírá výfukový ventil. Po uzavření výfukového ventilu a překrytí sacích kanálů dochází ke stlačování vzduchu, čímž roste tlak i teplota. Před HÚ má komprimovaný vzduch vyšší teplotu, než je teplota vznícení nafty (popř. jiné těžší ropné frakce nebo paliva z obnovitelných zdrojů, např. MEŘO), po vstříknutí paliva dochází k jeho vznícení [3].

## Druhá fáze – pohyb pístu od horní k dolní úvrati

Po vznícení paliva prudce stoupá teplota a tlak, expandující plyny tlačí píst k DÚ, před odkrytím sacích kanálů se otevře výfukový ventil, vzhledem k přetlaku ve spalovacím prostoru dochází k úniku spalin do výfuku, poté píst odkryje sací kanály a dochází k sání čerstvého vzduchu [3].

Obr. 4 p-V diagram vznětového dvoudobého motoru [18]

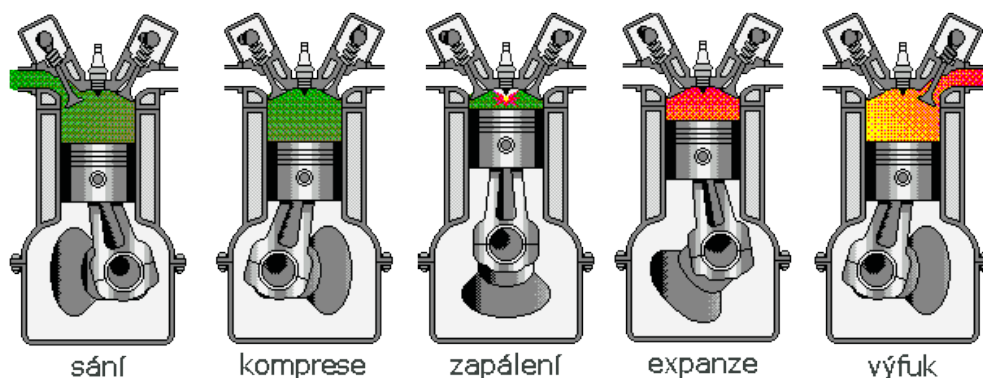


## 3.4 Čtyřdobé zážehové motory

První pokusy o motor s vnitřním spalováním používaly jako zdroj energie střelný prach, což se neosvědčilo. Jako vhodnější se ukázalo využití paliva v plynném skupenství, tohoto poznatku využil Švýcar Isaac de Rivaz, který v roce 1807 zkonstruoval motor využívající svítiplyn. První popis čtyřdobého cyklu formuloval francouzský fyzik Degrand roku 1858. O rok později si patentoval francouzský konstruktér Jean Joseph Etienne Lenoir dvojčinný, dvoudobý motor na plyn či kapalné palivo, který vycházel konstrukčně z parního stroje. Plány na tento motor koupil Němec Nikolaus Otto, který se jím inspiroval při vyvíjení čtyřdobého motoru (Ottův motor) [5].

Jeden pracovní cyklus proběhne během dvou otáček klikového hřídele a čtyř zdvihů pístu, každá fáze proběhne za dobu jednoho zdvihu pístu. Výměna pracovní náplně je prováděna pomocí rozvodového mechanismu, který až na výjimky využívá ventilovou techniku. Zapálení směsi je zajištěno pomocí zapalovací svíčky. Čtyřdobý motor má funkční pouze prostor nad pístem. Mazání je prováděno většinou tlakovým mazáním [3].

Obr. 5 Pracovní oběh čtyřdobého zážehového motoru [19]



### 3.4.1 Ottův cyklus

#### 1. doba – sání

Píst se pohybuje od horní úvrati do dolní úvrati čímž vzniká ve válci podtlak (10–20 kPa). Přes otevřený sací ventil nebo ventily, které se otevřely před HÚ ve vhodný okamžik, dochází k nasátí vzduchu, či směsi paliva se vzduchem. Sací ventil není otevřený pouze po dobu pohybu pístu od horní k dolní úvrati, ale otevírá se již 0° až 40° před horní úvratí kdy ještě probíhá 4. doba – výfuk. Proudící výfukové plyny vytváří určitý podtlak, díky kterému se uvádí do pohybu čerstvá náplň ještě před tím, než píst dosáhne horní úvratě. Vzhledem k tomu že čerstvá náplň proudící do válce se pohybuje rychlostí až 100 m/s, a má určitou setrvačnost, která se využívá k prodloužení sání, proto se sací ventil může uzavírat 35° až 90° za dolní úvratí. Ideální doba uzavření sacího ventilu je v okamžiku, kdy čerstvá náplň ztratí všechnu svojí kinetickou energii, a proud směsi se zastaví. Prodloužení doby sání se zvyšuje plnicí účinností, která vyjadřuje hmotnost nasáté čerstvé náplně. Zvýšením plnicí účinnosti se zvýší i výkon motoru, tohoto poznatku se využívá u motorů, které jsou přeplňované. Atmosférické motory dosahují obvykle 80 % účinnosti plnění. Zvýšení plnicí účinnosti se dá dosáhnout snížením aerodynamických ztrát v sacím systému motoru a snížením teploty ve válci [3].

#### 2. doba – komprese

Ventily jsou uzavřené (pro zlepšení naplnění válce může být z počátku komprese otevřený sací ventil), píst se pohybuje z DÚ do HÚ a tím dochází ke stlačení čerstvé náplně. Díky stlačování dochází ke zvyšování tlaku i teploty, jejich konečná hodnota závisí především na kompresním poměru, maxima se dosahuje na konci kompresního zdvihu, a to 350–450 °C a 1,8 MPa. Během komprese dochází k mísení vzduchu a odpařujícího paliva, kdy rychlost odpařování s teplotou roste [3][4][6].

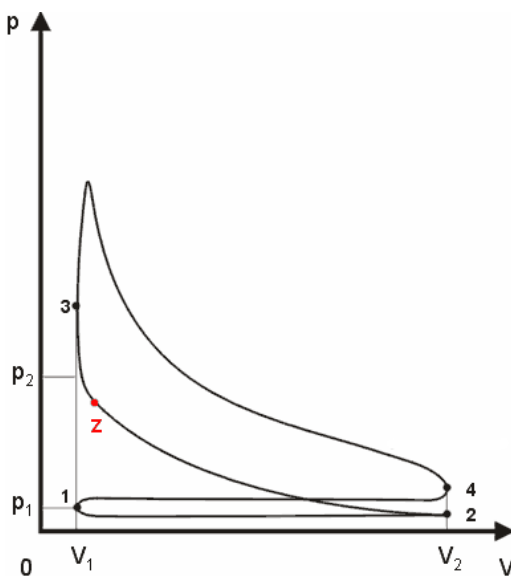
#### 3. doba – expanze

Sací i výfukové ventily jsou stále uzavřené, píst se pohybuje k HÚ. Před HÚ se mezi elektrodami zapalovací svíčky vytvoří elektrický výboj zvaný jiskra, který zažehne stlačenou zápalnou směs. Rozvinutí plamene není okamžité, ale má určitou prodlevu (cca 0,001 s), proto musí být směs zažehnuta 0° až 45° před HÚ v závislosti na otáčkách a zatížení motoru, tak aby v HÚ bylo dosaženo teploty 2000 až 2500 °C a tlaku 4 až 6,5 MPa. Píst má v tu dobu nulovou rychlost, při spalování dochází k rozpínání náplně válce. Zásluhou rozpínání náplně válce se píst začne pohybovat k DÚ a vykonává se mechanická práce. Díky tomu je tato doba jako jediná pracovní. Většina energie paliva je uvolněna přibližně 40° za HÚ [3][4].

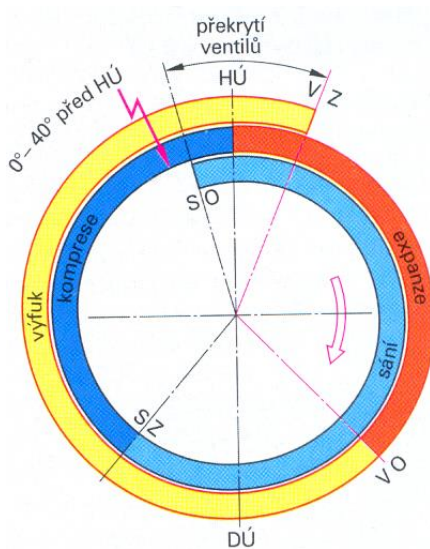
#### 4. doba – výfuk

Píst se pohybuje k DÚ, 35° až 90° před DÚ se otevírá výfukový ventil. Vlivem přetlaku ve válci (0,25 – 0,40 MPa) začnou zplodiny hoření proudit rychlostí zvuku do výfukového kanálu, přičemž jejich teplota může dosahovat až 900 °C. Píst změni svůj směr, nyní se pohybuje k HÚ a tím se ve válci vytváří přetlak cca 0,2 MPa díky kterému jsou zbytkové zplodiny hoření vytlačovány ven z válce. Před HÚ se začne otevírat sací ventil. Tento okamžik se nazývá stříh ventilů. Je to doba, při které jsou pootevřeny sací i výfukový ventil zároveň. Toto je využito k výplachu válce [3][4].

Obr. 6 p-V diagram čtyřdobého zážehového motoru [20]



Obr.7 Kruhový diagram časování rozvodu čtyřdobého motoru [21]



### 3.4.2 Atkinsonův cyklus

Motor s Atkinsonovým cyklem je téměř totožný s motorem využívající Ottův cyklus, liší se pozdějším uzavřením sacího ventilu při kompresi, čímž se prodlužuje expanze, což usnadňuje pohyb pístu od DÚ k HÚ. Je využíván nejvíce u nepřepřlňovaných zážehových motorů. Část směsi je vytlačována zpět do sání, kde způsobuje turbulence, řešením je upravení tvaru sacího kanálu, nebo pootevření výfukového ventilu. Díky prodloužené expanzi je expanzní poměr větší než kompresní poměr. Aby bylo možno oběh dobře řídit, musí být motor vybaven variabilním časováním ventilů (minimálně sacích). Atkinsonův cyklus zajišťuje vyšší účinnost, za cenu nižšího výkonu motoru. Používá se ve většině aplikací v nízkých a středních otáčkách, ve vysokých otáčkách se díky variabilnímu časování ventilů využívá Ottova cyklus. Pokud je tento cyklus využit u přeplňovaného motoru, tak je označován jako Millerův cyklus [8].

### 3.4.3 Budackův cyklus

Jedná se o evoluci Atkinsonova cyklu, liší se dřívějším uzavřením sacího ventilu, a to před DÚ. Proto je expanzní poměr větší než kompresní poměr, zvýší se účinnost a zároveň sníží výkon. Stejně jako u Atkinsonova cyklu je motor vybaven variabilním časováním ventilů, který může při určitých provozních stavech přepnout do Ottova cyklu [8].

## 3.5 Čtyřdobé vznětové motory

Čtyřdobé vznětové motory používají jako palivo těžší ropné frakce, v silničních vozidlech převážně naftu. První funkční prototyp zkonstruoval Rudolf Diesel v roce 1896 [7]. Rozdíly oproti přímovstříkovému zážehovému čtyřdobému motoru nejsou velké, ale oproti zážehovému motoru s vnější tvorbou směsi jsou významné, primárně se jedná o odlišnou přípravu paliva, kdy je palivo vstříkováno do stlačeného vzduchu, vznícení paliva je docíleno vysokou teplotou ve spalovacím prostoru, kvalitativní tvorba směsi, pracuje neustále s přebytkem vzduchu, a má vyšší kompresní poměr [3].

#### 1. doba – sání

Od zážehového čtyřdobého motoru s vnější tvorbou směsi se liší pouze tím, že je nasávaný pouze vzduch.

#### 2. doba – komprese

Od zážehového čtyřdobého motoru se liší vyššími teplotami (550–900 °C) a vyššími tlaky (2,5 – 5 MPa) na konci kompresního zdvihu [3][4]. Ve spalovacím prostoru není žádné palivo, to se tam dostane vstříknutím v poloze natočení klikového hřídele od 40° před HÚ a končí v některých případech až za HÚ, doba vstříku je závislá na provozním stavu motoru. Během této doby dochází k jednomu nebo více vstříknutím lišící se množstvím paliva a dobou vstříku [3].



### 3. doba – expanze

Vstřikované palivo se na konci kompresního zdvihu odpařuje vlivem vysoké teploty, díky tomu se mísí se vzduchem. U takto vzniklé směsi dojde k samovznícení. Tlak plynů při hoření (6,5 – 9 MPa) tlačí píst k DÚ [3].

### 4. doba – výfuk

Od zážehového čtyřdobého motoru se liší nižší teplotou zplodin hoření vycházející z pracovního prostoru motoru (600–750 °C) [3].

## 4. Úkol rozvodového ústrojí

Rozvodové ústrojí má za úkol přivést do pracovního prostoru co největší množství vzduchu či směsi za určitý časový úsek. Dopomáhá dokonalé přípravě směsi paliva se vzduchem tím, že ovlivňuje rozložení směsi a její pohyb ve válci. Musí také odvádět co nejlépe výfukové plyny z válce, tak aby ve válci nezůstávali spaliny, které by ovlivňovaly další naplnění pracovního prostoru čerstvou směsí nebo vzduchem. V neposlední řadě musí být rozvod co nejjednodušší, s nízkou náročností na údržbu a co nejspolehlivější [10].

## 5. Rozvodové mechanismy pro dvoudobé motory

U dvoudobých motorů je čerstvá náplň dodávána do spalovacího prostoru přetlakem vytvořeným dmychadlem (rotační dmychadlo, pístové dmychadlo, spodní část pístu). Rozvodové orgány jsou realizovány šoupátkem (válcové, deskové, kuželové nebo píst) ovládané kanály, membránový ventil, nebo ventily. Vyskytují se i kombinace ventilů, membránových ventilů a šoupátek [10].

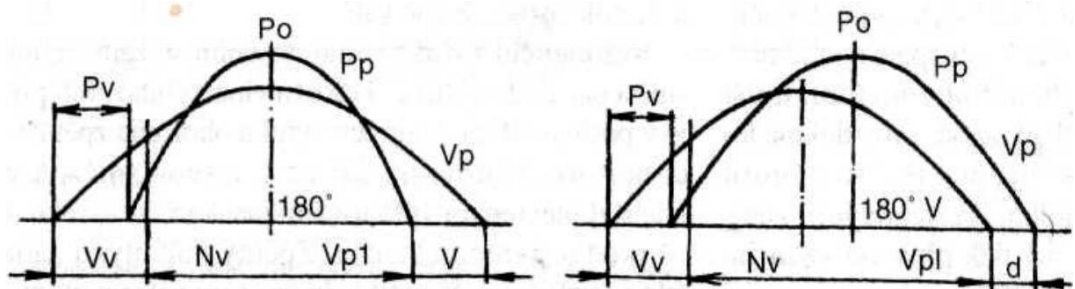
Výměna začíná při pohybu pístu k DÚ, kdy je čas výměny podstatně kratší (odpovídá přibližně jedné pětině až jedné třetině otáčky klikové hřídele) než u čtyřdobých motorů se stejnými otáčkami, proto nedosahuje dvoudobý motor dvojnásobného výkonu oproti motoru čtyřdobému (vliv má i nedokonalé vypláchnutí spalovacího prostoru a další vlivy).

Průřez rozvodových orgánů musí být proto co největší, a co nejrychleji otevíraný i zavíraný. Při použití ventilů se vačkový hřídel otáčí stejnými otáčkami jako kliková hřídel motoru. Po rychlém otevření výfukových rozvodových orgánů na konci expanzního zdvihu (před DÚ) nastává volný výfuk, kdy poklesne tlak, ideálně pod tlak v plnicím systému, poté se otevrou plnicí orgány a do spalovacího prostoru začne proudit čerstvá náplň díky plnicímu dmychadlu, které vytvořilo potřebný tlak (0,015 – 0,020 MPa). Nejprve se díky čerstvé náplni vytlačují výfukové plyny výfukovými orgány, z části se s nimi mísí a dochází k částečným ztrátám [10].

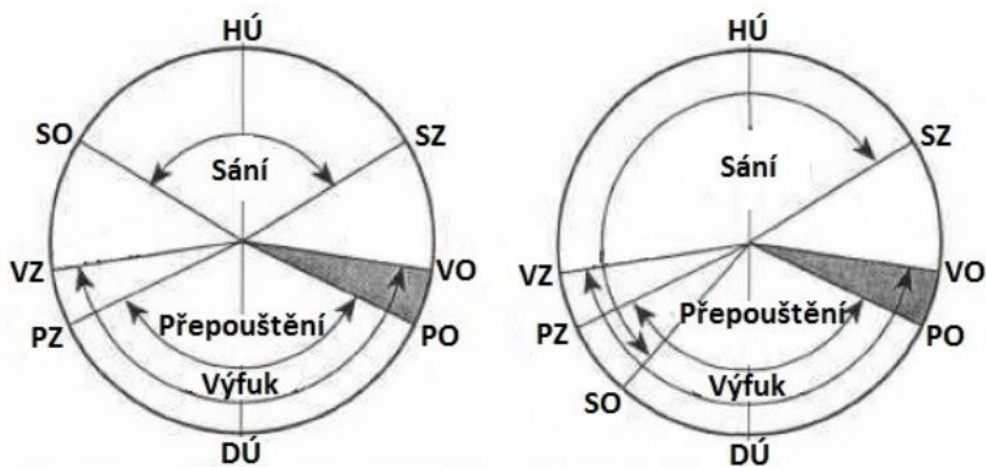
Nejčastěji se používá rozvod pístem, který svými hranami postupně odkrývá a zakrývá kanály ve stěně válce (tříkanálový motor). Výhodou je jeho jednoduchost. Tento rozvod je symetrický (existují výjimky, např. motor s podvojným válcem), neumožňuje dokonalé naplnění válce čerstvou náplní na plnou hodnotu plnicího tlaku, jelikož při překrytí kanálů zůstane ve spalovacím prostoru určité množství spalin. Plnicí kanály ovládané pístem se zakrývají dříve než výfukové, obsah válce je tedy prostřednictvím výfukového systému spojen s okolní atmosférou, proto je na počátku pracovního oběhu tlak náplně válce závislý pouze na výfukovém protitlaku, a to při každém provozním stavu. Do výfukového systému uniká část čerstvé náplně, což u motorů s vnější tvorbou směsi zvyšuje tvorbu nespálených uhlovodíků. Další nevýhodou je vznik výrazných pulsací v sacím potrubí při vyšším zatížení motoru a nízkých otáčkách [7] [10].

Dokonalejšího plnění a výplachu se dá dosáhnout využitím nesymetrického rozvodu, tvořeného pístem a ventilem, popřípadě šoupátkem ovládané rozvodovým ústrojím, nebo podvojným válcem, který je konstrukčně složitější [10].

Obr. 8 Diagram symetrického a nesymetrického rozvodu dvoudobého motoru [11]



Obr. 9 Souměrný a nesouměrný rozvodový diagram dvoudobých motorů [22]



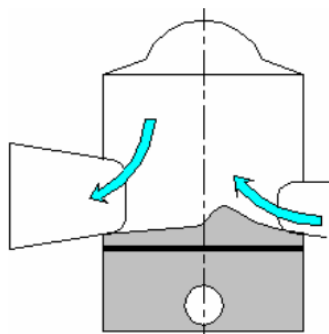
## 5.1 Výměna náplně ve válci dvoudobého motoru

Plnění a vyplachování válce je velmi složité, proto musí být na prototypu daného motoru provedena měření z kterých se vyhodnocuje kvantitativní součinitel vyplachování  $\eta_k$ , kvalitativní součinitel vyplachování  $\eta_l$ , celkový součinitel plnění  $\eta_p$ , stupeň naplnění čerstvou směsí  $\rho$ , stupeň plnění  $\lambda_p$  a stupeň smíšení  $\sigma$  [2]. Dělí se na souprouté vyplachování, protiprouté vyplachování (příčné, vratné, křížové), popřípadě jejich kombinace.

### 5.1.1 Příčné vyplachování

Využívá se pístů s deflektorem, nebo bez něj. Deflektor směřuje proud čerstvé náplně směrem k hlavě motoru. Napříč válcem prochází vyplachovací proud, výfukový a přepouštěcí kanál leží naproti sobě. Toto vyplachování se již nepoužívá [3].

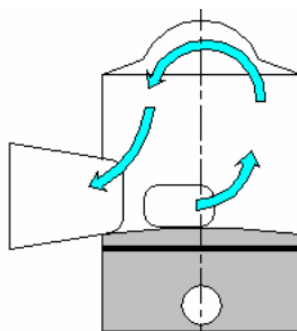
Obr. 10 Příčné vyplachování dvoudobého motoru [23]



### 5.1.2 Vratné vyplachování

V tomto případě je píst mírně vypouklý nebo plochý. Dvěma tangenciálními otvory umístěnými proti sobě vstupuje směs do válce, oba proudy se spojují a společně stoupají podél stěny válce vzhůru, v hlavě obracejí a poté směřují podél stěny válce k výfukovým otvorům [2].

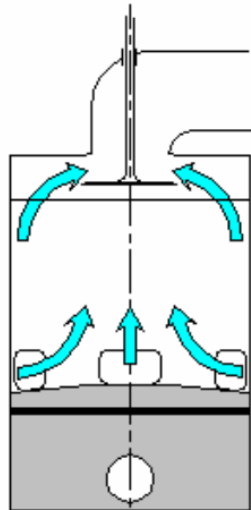
Obr. 11 Vratné vyplachování dvoudobého motoru [23]



### 5.1.3 Souproudé vyplachování

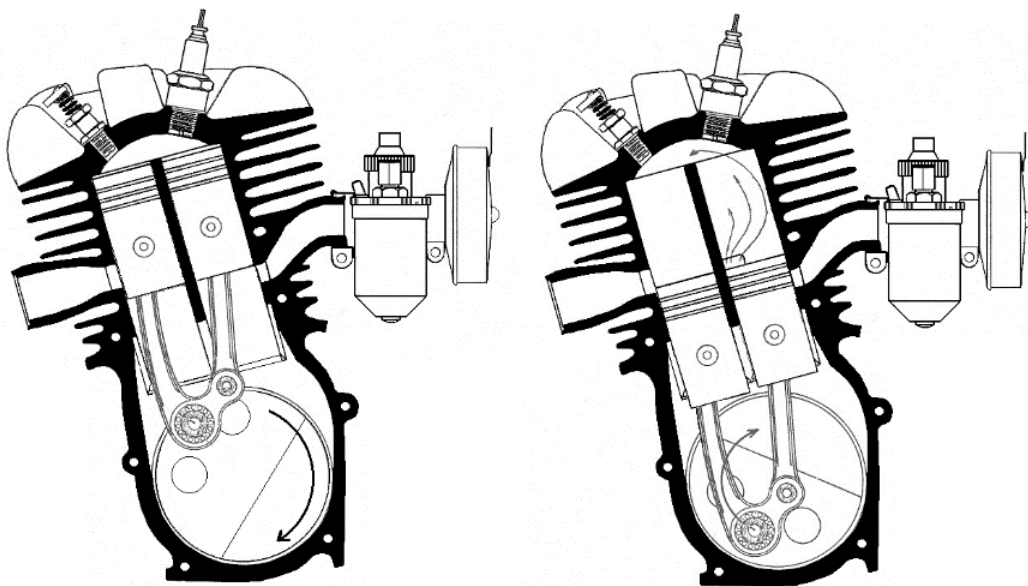
U tohoto vyplachování dochází k nejdokonalejšímu vypláchnutí válce, jelikož se zbytky výfukových plynů v celém průřezu válce vytlačují čerstvou náplní a vypláchne dobře i spalovací prostor v oblasti hlavy motoru [2].

Obr. 12 Souproudé vyplachování dvoudobého motoru [23]



Souproudého vyplachování je využito i u motoru s podvojným válcem. Jeden píst ovládá otevírání a uzavírání výfukových kanálů, druhý ovládá kanály vyplachovací a sací. Ojnice obou pístů jsou uchyceny na společné části klikového hřídele [2].

Obr. 13 Dvoudobý motor s podvojným válcem [24]



## 6. Rozvodové mechanismy pro čtyřdobé motory

Všechna zařízení ovládající vstup a výstup pracovních látek do spalovacího prostoru a z něj se započítávají k rozvodovému mechanismu, podle typu se může skládat z ventilů, vahadel, vačkových hřídelů, ventilových pružin, zdvihátek, rozvodových tyček, pohonu vačkového hřídele, popřípadě rotačního šoupátka a dalších částí uvedených v pozdějších kapitolách.

Výměna náplně probíhá během dvou dob (sání, výfuk). Čerstvá směs je nasávaná pístem, proudí sacím kanálem, který je ovládaný ventilem. Po skončení expanze se využitý plyn vytlačuje přes otevřený výfukový ventil ven z válce. Ventily se otvírají a zavírají relativně pomalu, jelikož jejich počáteční a konečná rychlost je nulová (zrychlení by mělo být ideálně také nulové). Rozvodový mechanismus motoru ovlivňuje poměrně významně dosažené parametry výkonu v celém spektru otáček. Hlavními požadavky na rozvod čtyřdobých motorů jsou otevření a uzavření sacích a výfukových orgánů ve vhodný okamžik, dostatečně velký průřez rozvodových orgánů, který zaručí co nejvyšší a maximální využití spalovacího prostoru. Rozvody musí mít dostatečnou pevnost, měli by být co nejtišší a nejspolehlivější, a musí být zaručené dobré chlazení tepelně namáhaných dílů rozvodu. Cílem je přivést do spalovacího prostoru co největší množství směsi nebo vzduchu, díky čemuž se může vytvořit co nejdokonalější směs. Průtočné průřezy přívodu a odvodu obsahu válce by měly mít co nejnižší tlakové ztráty [4] [6] [10] [12].

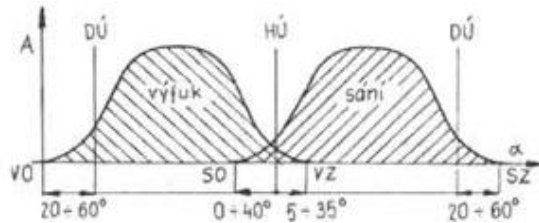
Rozdělení rozvodů:   mechanické – ventilové, šoupátkové  
                          hydraulické  
                          pneumatické  
                          elektrické  
                          kombinace výše uvedených

### 6.1 Časování rozvodu

Pro časování rozvodu je zásadní rychloběžnost motoru, jelikož nastavení plně vyhovuje pouze v úzkém spektru otáček klikové hřídele motoru, proto je časování ventilů většinou výsledkem kompromisů. Pro optimální stanovení časování ventilového rozvodu je také důležitý průběh tlakových kmitů v sacím a výfukovém systému. Delší doba otevření (dřívější otevření a pozdější uzavření ventilů) bývá výhodnější u rychloběžných motorů [3] [11].

Vlivem delšího otevření klesne kroutící moment a zvýší se produkce nespálených uhlovodíků a oxidu uhelnatého ve výfukových plynech při nízkých otáčkách motoru. Tento problém dokáže z části odstranit variabilní časování ventilů [3] [11].

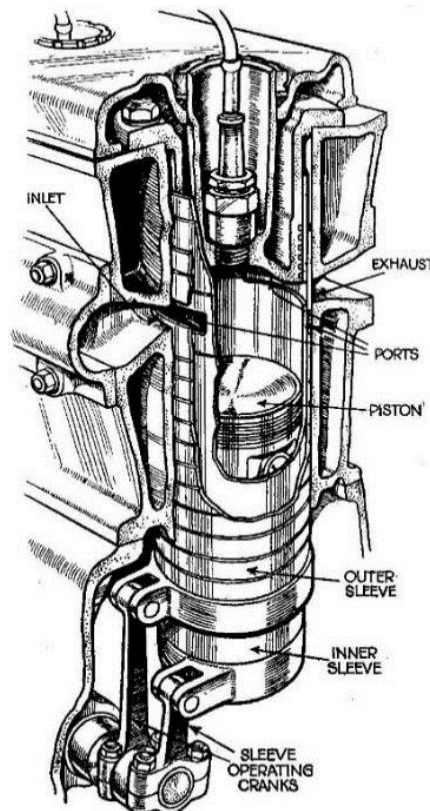
Obr. 14 Diagram časového průřezu rozvodových ventilů čtyřdobého motoru [11]



## 6.2 Šoupátkový rozvod

V dřívějších dobách se využívala k rozvodu motoru i šoupátka s posuvným nebo posuvně rotačním pohybem uvnitř válce nebo rotační šoupátka v hlavě válce. Tento rozvod měl mnoho výhod ale také mnoho nevýhod. Mezi výhody patřila rychlost otvírání a uzavírání, tichý chod, oproti ventilové technice jednodušší konstrukce a menší rozměry motoru. Mezi nevýhody patřilo obtížné mazání a chlazení, netěsnosti spalovacího prostoru a také zpravidla nižší životnost šoupátek. Pro tyto nevýhody se tento rozvod přestal ve čtyřdobých motorech používat [11].

Obr. 15 Motor s posuvně rotačním šoupátkem [25]



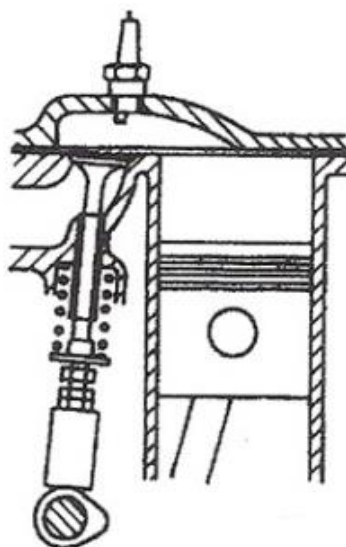
## 6.3 Ventilové rozvody – rozdělení dle uspořádání

Ventilové rozvody jsou nepoužívanějším typem rozvodů u čtyřdobých motorů. Mezi nesporné výhody patří dokonalé utěsnění spalovacího prostoru a spolehlivost. Rozvodový mechanismus může mít různá konstrukční provedení, která se od sebe liší vzájemným uspořádáním vačkového hřídele, ventilů a celkové koncepce motoru. O pohon vačkové hřídele se stará řetěz, ozubený řemen nebo ozubené soukolí, které přenáší moment od klikové hřídele motoru. Vačky umístěné na vačkové hřídeli otevírají přímo nebo pomocí dalších částí rozvodu (např. vahadel, zdvihátek) sací a výfukové ventily, proti této síle působí síla vyvozená od ventilových pružin. Díky této síle se mohou ventily po ukončení působení vačky uzavřít [3].

### 6.3.1 Rozvod s postranními ventily – SV (Side Valves)

Jeden z nejstarších rozvodových mechanismů, který se dnes téměř nevyužívá (ojediněle v zahradní technice). Ventily jsou umístěné po straně válce v bloku, kde je umístěn i vačkový hřídel. Ovládání ventilů je realizováno pomocí zdvihátka od vačky. Tento rozvod vyniká relativní jednoduchostí a malou hmotností. Nevýhoda spočívá primárně v nemožnosti dosáhnout vyššího kompresního poměru, malou plnicí účinností způsobenou změnou směru proudícího vzduchu, či směsi téměř o  $180^\circ$ . Další nevýhodou je umístění spalovacího prostoru mimo válec. Podle uspořádání ventilů rozeznáváme rozvod s „L“ uspořádáním a rozvod s „T“ uspořádáním [3] [6].

Obr. 16 Rozvod SV s „L“ uspořádáním [6]

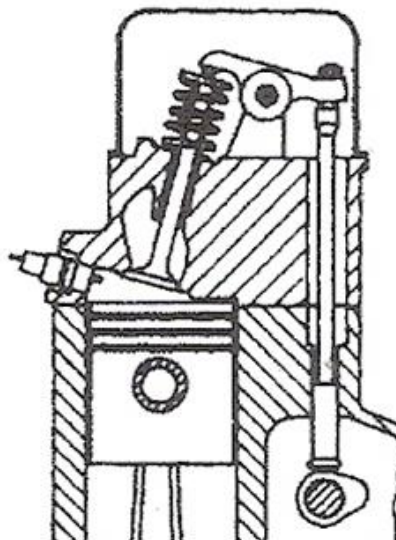


### 6.3.2 Rozvod s visutými ventily v hlavě válců – OHV (Over Head Valves)

OHV rozvod se vyznačuje poměrně jednoduchou konstrukcí. Ventily jsou umístěny v hlavě válců, ve většině případů v jedné řadě. Oproti SV umožňuje vytvořit kvalitní spalovací prostor, díky vhodnějšímu umístění ventilů, a také dosáhnout vyššího kompresního poměru. Zásadou umístění ventilů v hlavě motoru je výměna náplně ve spalovacím prostoru kvalitnější, odpory při proudění plynů jsou oproti SV výrazně nižší. Vačkový hřídel je umístěn v bloku motoru, nejčastěji blízko klikové hřídele. Ventily se ovládají od vačkového hřídele prostřednictvím ventilových zdvihátek (popřípadě pák) a rozvodových tyček, které vedou blokem válců do hlavy motoru. V hlavě motoru se ovládací síla od rozvodových tyček přenáší pomocí vahadel k samotným ventilům. Vahadla jsou rotačně umístěná na čepu vahadel [3] [6].

Seřizování ventilové vůle se provádí šroubem umístěným na vahadle. Zásadou umístění vačkové hřídele v bloku motoru je možné u víceválcových motorů uspořádaných do V použít pouze jednu vačkovou hřídel pro pohon ventilů všech válců. Pohon vačkového hřídele není komplikovaný vzhledem k malé vzdálenosti od klikové hřídele motoru, problém nastává se vzdáleností vačkového hřídele od ventilů, kdy velký počet součástí zvyšuje hmotnost celého rozvodu. Tím se zvyšuje hluchost, zvyšuje se ztrátový výkon potřebný pro pohon rozvodu, a snižuje se celková tuhost rozvodu. Vzhledem k vyšší hmotnosti musí být silnější ventilové pružiny oproti ostatním ventilovým rozvodům motorů stejných parametrů (např. otáčky). U tohoto rozvodu dochází ke značným tepelným dilatacím. Tento typ motorů není vhodný pro vysokootáčkové motory (nad  $8000 \text{ min}^{-1}$ ), kdy vlivem setrvačných sil dochází k odskakování zdvihátek od vačky a změně časování rozvodu. U některých konstrukcí motoru může být využito samostatné vačkové hřídele pro otevírání sacích ventilů a samostatné vačkové hřídele pro otevírání výfukových ventilů [3] [6].

Obr. 17 Rozvod OHV [6]

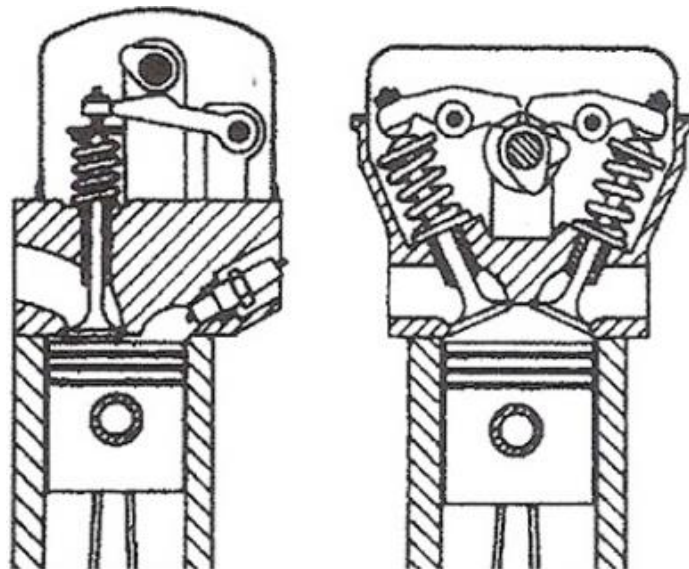




### 6.3.3 Rozvod s ventily v hlavě válců a vačkovým hřídelem na hlavě válců – OHC (SOHC)

Zkratka SOHC vychází z anglického Single Over Head Camshaft. V současné době se jedná o jeden z nejpoužívanějších rozvodů spolu s DOHC. Vačkový hřídel je u tohoto rozvodu umístěn na hlavě motoru, nad ventily, které jsou ovládány rozvodovými pákami. Nebo je umístěná mezi ventily, které ovládá pomocí vahadel, či přímo přes hrníčková zdvihátka, popřípadě může být využita jejich kombinace. Umístění vačkové hřídele na hlavě motoru přináší výhodu snížení počtu pohybujících se součástí, tím zvýšení tuhosti celého rozvodu, snížení hluku, a hlavně zvýšení přesnosti a zrychlení doby ovládní ventilů. Zásluhou toho se oproti OHV zvýšil výkon, snížila spotřeba paliva a produkce emisí. Toto řešení má i své nevýhody, například hlava motoru je vyšší a pohon vačkové hřídele složitější (ozubený řemen, válečkový řetěz, královská hřídel atd.) [3] [6].

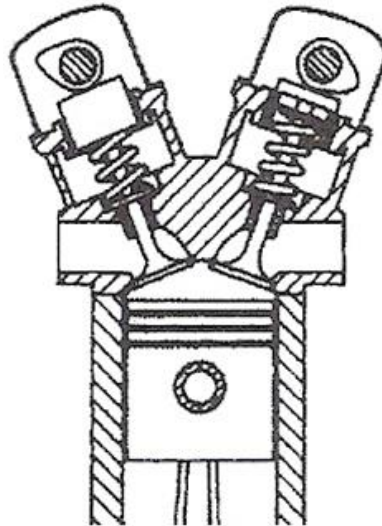
Obr. 18 Rozvod OHC [6]



#### 6.3.4 Rozvod s ventily v hlavě válců a vačkovými hřídelemi na hlavě válců – DOHC

Zkratka DOHC vychází z anglického Double Over Head Camshaft. Od SOHC se liší primárně v počtu vačkových hřídelů umístěných na hlavě motoru, v tomto případě se jedná konkrétně o dva hřídele. Používá se hlavně u více ventilových rozvodů. Obvykle jedna vačková hřídel ovládá sací ventily a druhá vačková hřídel ovládá výfukové ventily [3].

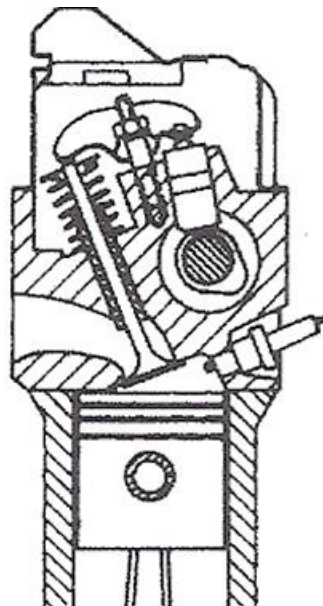
*Obr. 19 Rozvod DOHC [6]*



#### 6.3.5 Rozvod s vačkovým hřídelem v hlavě válců – CIH (Camshaft In Head)

Ventily umístěné v hlavě motoru jsou pomocí ventilových zdvihátek a vahadel ovládány vačkovou hřídelí, která je taktéž umístěná v hlavě motoru. Výhody i nevýhody jsou podobné jako u OHC rozvodu [3].

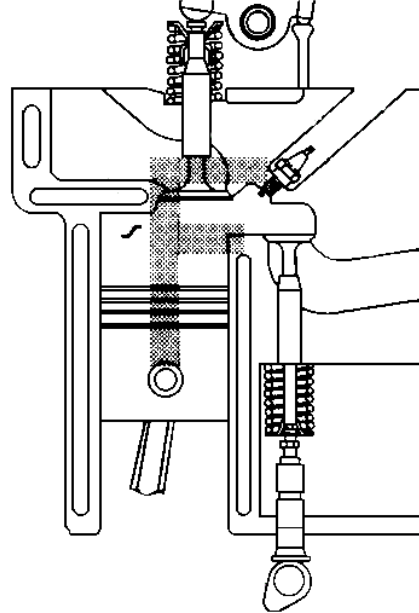
*Obr. 20 Rozvod CIH [6]*



### 6.3.6 Rozvod s protilehlými ventily – IOE (Inlet Over Exhaust)

Jedná se o kombinaci rozvodu OHV a SV. Také se nazývá jako rozvod s F hlavou. Sací ventil je umístěn v hlavě motoru (stejně jako u OHV), výfukový ventil je umístěn podél válce v bloku motoru (stejně jako u SV). Stejně jako rozvod SV se v současnosti nevyužívá [3].

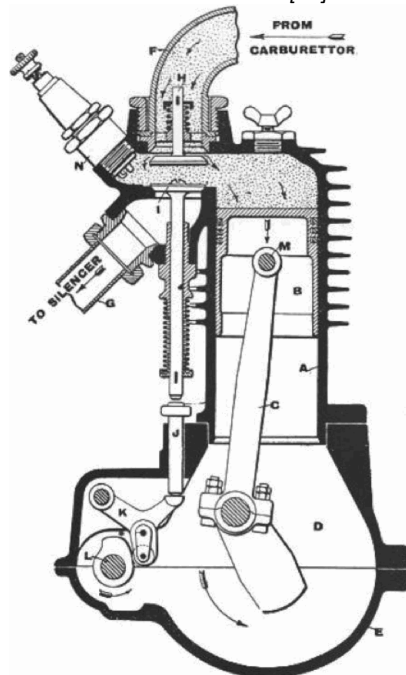
Obr. 21 Rozvod IOE [26]



### 6.3.7 Rozvod AIV

Rozvod AIV byl využíván v počátcích automobilismu u pomaloběžných spalovacích motorů. Rozvod má automatický sací ventil, který je otevírán automaticky pomocí podtlaku a uzavírán pružinou. Zbytek rozvodu je podobný rozvodu SV. Výfukový ventil umístěný podél válce je ovládaný vačkou umístěnou v bloku motoru [13].

Obr. 22 Rozvod AIV [27]



### 6.3.8 Desmodromický rozvod

Rozvody, které mají uzavírání ventilů realizované pomocí ventilových pružin mají omezené maximální možné otáčky (přibližně  $13\,000\text{ ot. min}^{-1}$ ), proto byl zkonstruován rozvod s nuceným uzavíráním ventilů pomocí vačky zvaný Desmodromický. Existují dva základní typy, již nepoužívaný Desmodromický OHV rozvod, a Desmodromický OHC rozvod. Druhý jmenovaný v současnosti využívá firma Ducati u některých modelů motocyklů [6] [7].

Obr. 23 Desmodromický OHC rozvod [7]

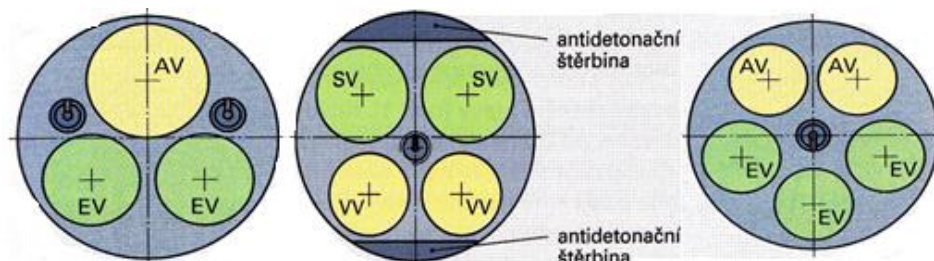


## 6.4 Víceventilová technika

U čtyřdobých ventilových motorů připadá nejméně jeden sací a jeden výfukový ventil na každý válec. Zdvih ventilů a průměry talířů ventilů musí být dostatečně velké, proto aby výměna obsahu válců probíhala s malými průtokovými odpory, ideálně bez překážek. U atmosférického motoru má výfukový ventil mnohdy menší průměr (85 % průměru sacího ventilu) než sací ventil, jelikož vysoký tlak při otevření výfukového ventilu zaručuje rychlé vyprázdnění spalovacího prostoru. To mnohdy neplatí u přeplňovaných motorů, které to mají opačně (výfukový ventil je větší než sací). Plnicí účinnost motoru s růstem otáček zprvu roste, ale pak začíná klesat. Zvětšení plnicí účinnosti při vysokých otáčkách lze dosáhnout změnou délky sacího potrubí (variabilní sací potrubí), změnou časování ventilů a snížením průtočných odporů aplikací většího počtu ventilů na všechny válce motoru.

Pro zlepšení výměny obsahu válců a zmenšení průtočných odporů se pohonné jednotky vybavují dvěma či třemi sacími ventily a dvěma nebo třemi výfukovými ventily. Díky většímu počtu ventilů se může jejich průměr zmenšit, díky tomu se může zmenšit i jejich zdvih. Zásadou toho se zmenší rozměry a hmotnosti ventilů, z čehož vyplývá i zmenšení setrvačných sil, také se zmenší tepelné namáhání a deformace samotného ventilu [3] [6] [14].

Obr. 24 Víceventilová technika [21]



## 6.5 Ventilové rozvody – díly mechanismu

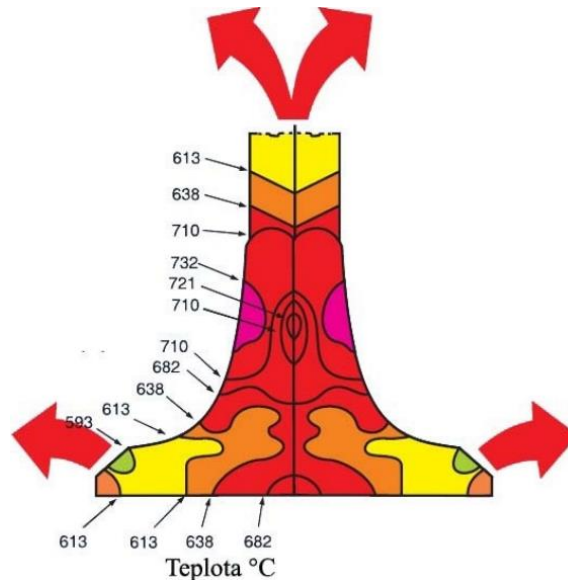
### 6.5.1 Ventil

Ventily otevírají a uzavírají sací a výfukové kanály. Ventil patří k velice namáhaným dílům spalovacího motoru. Je namáhán tlakem plynů, silami od pružin, setrvačnými silami, tepelně, otěrem pevnými zplodinami spalování a korozními účinky produktů spalování.

Nejpoužívanější jsou ventily talířové s kuželovou dosedací plochou. Vlivem tlaku ve spalovacím prostoru je ventil tlačěn do sedla, a to má kladný vliv na jeho těsnost. Po otevření by měli klást co nejmenší odpor proudícím plynům. Vysoká teplota talíře ventilu způsobuje hlavní namáhání ventilu. Nejvyšší teplota vzniká při plném zatížení motoru, je ve středu talíře ventilu, u sacího ventilu dosahuje až 500 °C, u výfukového ventilu dosahuje až 800 °C. Sací ventil má nižší teplotu zásluhou nasávané čerstvé směsi (popř. vzduchu), která ho ochlazuje. Teplo je z ventilu odváděno přes sedlo ventilu a dřík ventilu. Teplota talíře ventilu se dá snížit o 15–20 % chlazením ventilu sodíkem. Dřík je dutý a přibližně do dvou třetin naplněný sodíkem, který se při chodu motoru roztaví, začne vřít a vzniklé páry odvádějí teplo z talíře na chladnější dřík. Teplo z dříku přestupuje do vodítka ventilu, to ho předává hlavě motoru a chladicímu mediu [3] [4] [6] [12] [15].

Talíř ventilu může mít kalené nebo indukčně tvrzené sedlo ventilu, nebo může být na sedlo navařen tvrdokov pro snížení opotřebení o tloušťce 0,7 mm až 1,5 mm. Pokud není zaručen dobrý kontakt celou plochou sedla ventilu, může dojít během provozu k poškození (upálení) ventilu [3] [15].

Obr. 25 Rozložení teplot ve výfukovém ventilu [28]

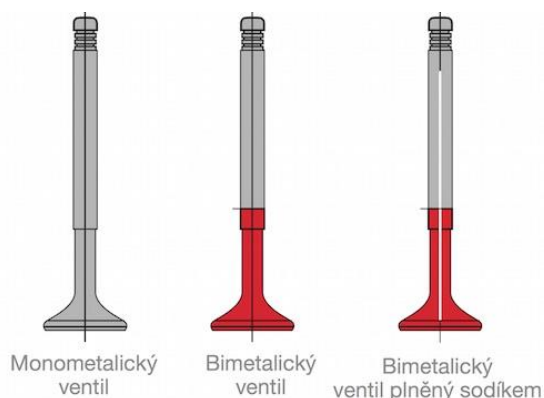


Materiál pro výrobu ventilů, hlavně výfukových, nesmí ztrácet pevnost a tvrdost ani při vysokých teplotách, musí mít dobrou vrubovou houževnatost a být korozivzdorný. Zároveň musí mít vysokou odolnost proti opotřebení, dobrou tepelnou vodivost a malou náchylnost k opalování. Zatížení výfukového ventilu vyhovují pouze vysokolegované oceli s velkou tepelnou odolností a odolností proti opálení, používá se martenzitická a austenitická ocel.

Ventily jsou většinou konstruovány jako bimetalové (hlavně výfukové), mohou být celokovové. Talíř bimetalového ventilu a mnohdy také spodní konec dřívku jsou vyrobeny z chromomanganové oceli, která má velkou odolnost vůči teplotě a korozi. Zbývající část z chromokřemičité oceli, která má dobrou kluznost. Spojení obou částí je realizováno svařením třením natupo. Osazení ventilu bývá zpevněno slitinami chromu, kobaltu či niklu [3] [4] [6] [12].

Pro závodní vysokootáčkové motory může být na výrobu ventilů využít titan. Zkouší se ventily vyrobené z vysoce odolného silikonového nitridu s dalšími přísadami [6].

Obr. 26 Příklady materiálového provedení ventilů [29]



Je potřeba aby ventily kladly při výměně náplně co nejmenší odpor. Průtočná plocha ventilu v sedle závisí na dvou faktorech, a to na průměru talíře ventilu a zdvihu ventilu. Zdvih je ve většině aplikací 7,5 mm až 10 mm a odpovídá přibližně jedné třetině průměru talíře. Při maximálních otáčkách motoru by rychlost nasávané směsi v sedle sacího ventilu neměla přesáhnout  $100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Průtokové průřezy se většinou předběžně určují podle rovnice kontinuity (1) [3] [11].

$$\rho \cdot A \cdot w = S_p \cdot c_s \cdot \rho_s \quad (1)$$

Při  $\rho \doteq \rho_s$  kde  $A$  – plocha ventilů [ $\text{m}^2$ ]

$S_p$  – plocha pístu [ $\text{m}^2$ ]

$w$  – střední rychlost ve ventilech [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

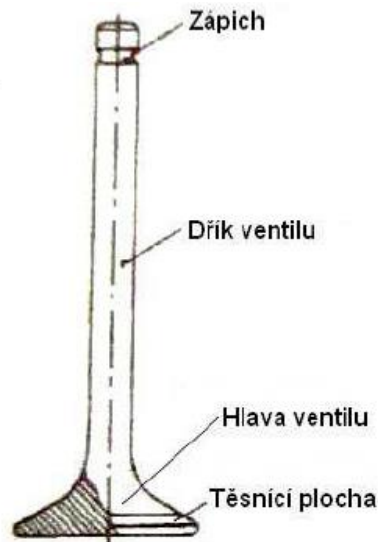
$c_s$  – střední pístová rychlost [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

Rychlost  $w$  se volí v sacím ventilu 40 až  $90 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , ve výfukovém ventilu 50 až  $100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  [11].

Ventil se skládá z válcového dřívku, talíře (hlavy) s kuželovou těsnící plochou (sedlo talíře ventilu) a stopky ventilu. Aby hlava ventilu odolávala mechanickému namáhání při vysokých teplotách a nedeformovala se, musí být dostatečně tuhá. Na druhou stranu musí být i poddajná, proto aby se mohla přizpůsobit mírně deformovanému sedlu. Na stopce se nachází zápich (drážka) pro upevnění misky prostřednictvím klínků. Přejechod dřívku do hlavy ventilu musí být pozvolný, jinak by vznikaly koncentrace napětí a také by vznikaly turbulence při výměně náplně, které by snižovali plnicí účinnost. Úhel sedla je nejčastěji  $45^\circ$ , u sacích ventilů je někdy použito  $30^\circ$ . Dřík funguje jako vodící část ventilu, musí být dostatečně odolný proti zadírání ve vodítku a proti opotřebení [3] [4] [6] [15].

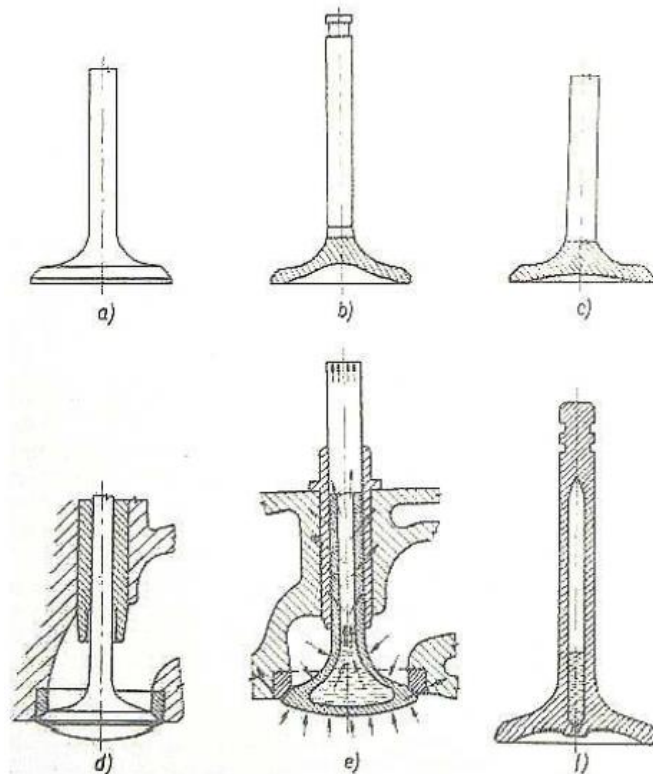
Ve vedení ventilu (ve vodítku) nesmí být velká vůle, jinak by docházelo k nasání oleje do spalovacího prostoru. Neměl by být drsnější než  $R_a = 0,4$ . Radiální vůle ve vodítku by se měla pohybovat v rozmezí 0,03 až 0,06 mm. Vůle se zvyšuje opotřebením dříku, ke snížení opotřebením se dřík jemně brousí a popřípadě chromuje [3] [6] [15].

Obr. 27 Hlavní části ventilu [6]



Pro více zatížené motory se hodí konstrukce tulipánové hlavy (Obr. 28b), jelikož je tuhá a méně se deformuje. Jelikož má větší povrch tak přejímá více tepla ze spalovacího prostoru. Vypouklá hlava (Obr. 28d) se používá u více zatížených motorů, jelikož vede dobře proud výfukových plynů. Nevýhodou je zvýšení hmotnosti ventilu. Na Obr. 28 e, f jsou výfukové ventily chlazené sodíkem [15].

Obr. 28 Běžné tvary hlavy ventilů [15]



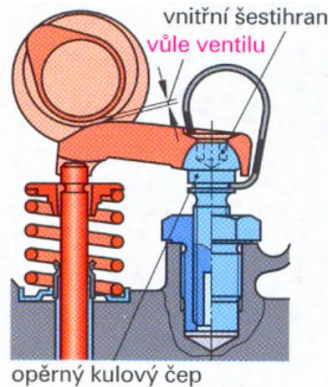


### 6.5.2 Zařízení k vymezení vůle

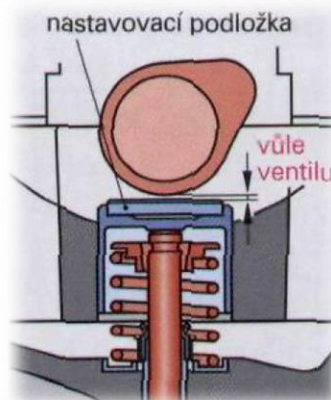
Stanovení ventilové vůle je nutné pro bezpečné uzavření ventilu z důvodu tepelných deformací bloku motoru, hlavy motoru, ventilu, a dílů rozvodového mechanismu. Tepelné deformace jsou způsobeny teplotní roztažností, kterou má každý materiál jinou. Ventilová vůle se musí stanovit taková, aby během provozu motoru zůstala mezi ventilem a vahadlem ještě malá vůle, která zamezí malému pootevření ventilu v době kdy to není vhodné. Jelikož je tato vůle příčinou rázů v rozvodu, musí být co nejmenší. Optimální hodnoty je dosahováno díly, které umožňují samočinné vymezení vůle (hydraulická zdvihátka). Ke snížení možného rázu na začátku zdvihu ventilu se na vačce tvaruje náběhová část. Ventilová vůle je také důležitá ke kompenzaci opotřebení, které způsobuje změnu délek na styčných místech přenosu sil. U studeného motoru bývá zpravidla ventilová vůle větší než u motoru ohřátého na provozní teplotu. Vzhledem k nižší teplotě sacích ventilů je i jejich ventilová vůle menší než u výfukových ventilů.

Nastavení ventilové vůle se liší podle uspořádání ventilového rozvodu. U OHC rozvodu se může seřizovat pomocí výstředníku na vahadle, pomocí opěrného kulového čepu se samosvorným závitem, popřípadě pomocí vymežovacích podložek. U OHV ale i OHC rozvodu se ventilová vůle může seřídít pomocí seřizovacího šroubu a pojistné matice. Kontrola se provádí pomocí listových měrek [6] [11].

Obr. 29 Nastavení vůle ventilu seřizovacím šroubem s vnitřním šestihranem (opěrný kulový čep) [21]

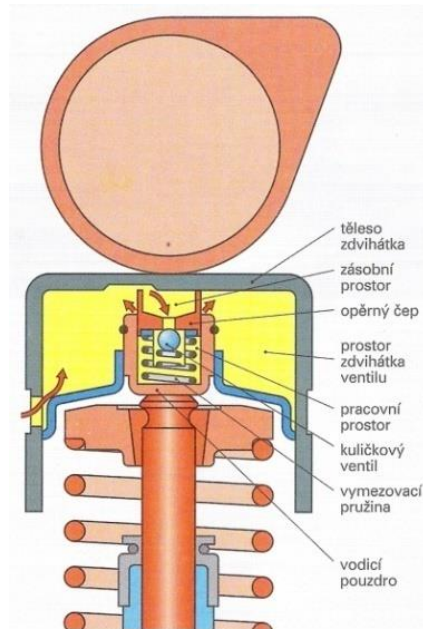


Obr. 30 Nastavení vůle ventilu nastavovací podložkou na hrníčkovém zdvihátku [21]



V současné době se v relativně velké míře využívá automatického nastavení ventilové vůle pomocí hydraulických prvků (pístek a válec) napájených tlakovým mazacím olejem, které může být součástí zdvihátka nebo nosiče čepu ventilové páky. Ventilová vůle se u motoru v chodu vybaveného hydraulickým vyrovnáváním vůle udržuje téměř na nulové hodnotě [6] [11].

Obr. 31 Hydraulické hrníčkové zdvihátko [21]

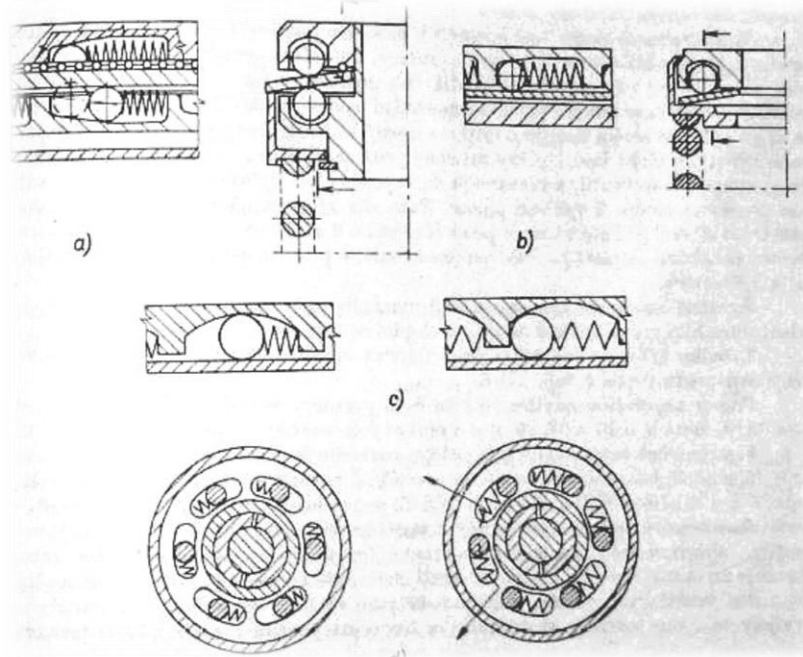


### 6.5.3 Zařízení k pootáčení ventilů

Zařízení k pootáčení ventilů slouží primárně ke snížení opotřebení dosedací plochy ventilu, které vzniká nerovnoměrným usazením, kdy nejdříve dopadne na jedno místo, a poté se proklouznutím usadí do sedla po svém obvodu. Proto není opotřebení rovnoměrné a může dojít k netěsnosti ventilu, což má za následek profukování spalín a následné poškození ventilu. Nesouosé dosedávání je ve většině případů způsobené zvětšenou vůlí ve vedení ventilu vlivem opotřebení, deformací talíře ventilu a sedla, působením ovládací síly mimo osu ventilu nebo vznikem většího množství úsad na sedle ventilu popřípadě na jeho dřívku [4] [6].

Ventil se může, díky působení tečné síly vyvolané stlačováním pružiny, samočinně pootáčet. Toho se dosáhne vyosením síly ovládající ventil. U rychloběžných motorů může být využito zařízení pro pootáčení ventilu za chodu motoru. Po otevření ventilu ventilová pružina narovná talířovou pružinu otáčejícího zařízení, kuličky se odvalují po své dráze a tím pootočí ventil okolo jeho osy [4] [6] [15].

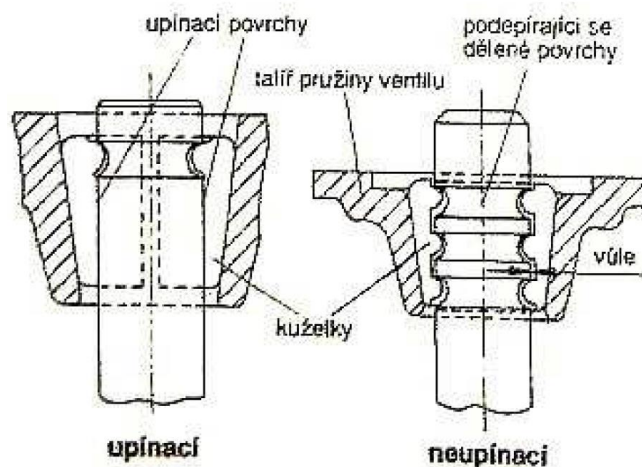
Obr. 32 Zařízení k pootáčení ventilu při chodu motoru [15]



#### 6.5.4 Opěrná miska pružiny

Opěrná miska pružiny zajišťuje přenos síly od pružiny ventilu přes klínky (kuželky) na ventil. Rozdělují se na dva základní druhy, konkrétně na upínací a neupínací. Stejně jako u ostatních částí rozvodového ústrojí by měla být zajištěna co nejnižší hmotnost těchto dílů [6].

Obr. 33 Opěrná miska pružiny a zajištění ventilu upínacími nebo neupínacími klínky [6]

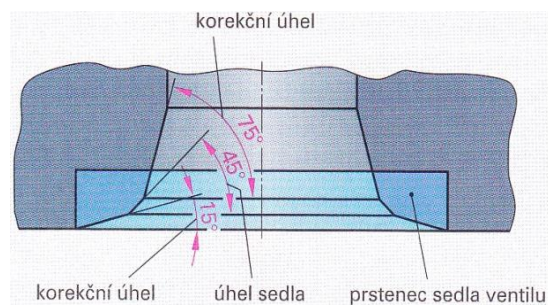


### 6.5.5 Sedla ventilů

Sedla ventilů jsou vytvořena dvěma základními způsoby. První způsob je použit u litinových hlav válců, kde bývají sedla ventilů vyfrézovaná přímo v hlavě. Druhý způsob se využívá u hlav válců z hliníkových slitin, kde jsou použita prstencová sedla ventilů z legované litiny nebo sedla z tvrdé chrommanganové oceli, která jsou do hlavy válců vkládána lisováním. Materiál sedel ventilů musí být tepelně velmi odolný, odolný proti tvorbě okují a také proti opotřebení [3] [4] [6].

Sedla ventilů mají ve většině aplikací stejný úhel kužele těsnící plochy jako talíře ventilů, obvykle  $45^\circ$ . Úhel se někdy může lišit, například talíř ventilu může mít  $44^\circ$ , díky tomu se vůči spalovacímu prostoru vytvoří úzká těsnící hrana, která se během provozu zvětšuje až na normální šířku sedla, a proto není potřeba zabrušování ventilů. Těsnící plocha je ohraničena dvěma korekčními úhly (např.  $15^\circ$  a  $75^\circ$  nebo  $30^\circ$  a  $60^\circ$ ), které snižují odpor proudění v sedle ventilu. Korekční úhly zároveň určují šířku sedla, která je u sacích ventilů automobilových motorů kolem 1,5 mm, u výfukových ventilů kolem 2 mm. To je způsobeno potřebou lepšího chlazení výfukového ventilu, jelikož větší plocha lépe odvádí teplo do chlazené hlavy válců. Zároveň širší sedlo hůře těsní [3] [4] [6].

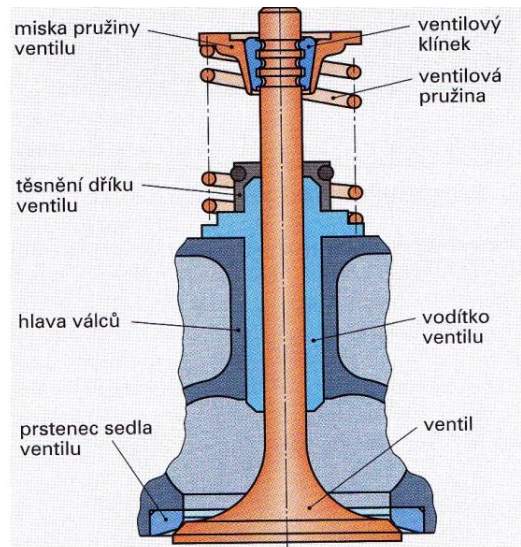
Obr. 34 Sedlo ventilu [21]



### 6.5.6 Vedení ventilu

Úkolem vedení ventilu je správné středění ventilu vzhledem k sedlu (zajištění správného dosednutí do sedel ventilů), odvod tepla z dříku ventilu do hlavy motoru. Vedení ventilu by mělo být, pokud možno co nejdelší a vůle mezi vedením a dříkem ventilu co nejmenší. U litinových hlav válců může být vedení ventilů vytvořeno přímo v hlavě. Do hlav z hliníkových slitin se lisují vodítka z litin legované mědí, fosforem, chromem, manganem nebo niklem. Mohou být použita i vodítka z hliníkového bronzu [3] [6].

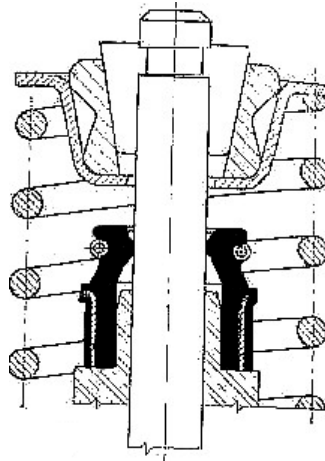
Obr. 35 Vedení ventilu [21]



### 6.5.7 Utěsnění dříku ventilu

Utěsnění dříku ventilu se používá, jelikož je nevhodné, aby se do spalovacího prostoru dostával motorový olej. Zároveň je potřeba zajistit dostatečný olejový film ve vedení ventilu. Utěsnění dříku ventilu se nachází na horním konci vedení ventilu. Špatné utěsnění má za následek zvýšenou spotřebu oleje, vznik pevných úsad (karbon), sníženou činnost katalyzátoru a s tím spojenou vyšší produkci emisí [6].

Obr. 36 Utěsnění dříku ventilu [15]



### 6.5.8 Ventilová pružina

Ventilová pružina zajišťuje vratný pohyb ventilu, trvalý styk ventilu a sedla. Udržuje v kontaktu části rozvodového mechanismu, tak aby nedocházelo k odskoku ventilu a také aby zdvih ventilu měl požadovaný průběh. Zabezpečuje těsnící funkci ventilu a zabraňuje vtáhnutí výfukového ventilu do válce v průběhu sání [3] [4] [6].

Nejvíce používaná je v současné době válcová ventilová pružina, která je při chodu motoru namáhaná krutem. Mohou být použity i dvě pružiny uspořádané v ose. Díky tomuto řešení lze použít pružiny menších rozměrů, a také snižuje riziko vpadnutí ventilu do spalovacího prostoru při prasknutí pružiny. Pro snížení rezonančních účinků na rozvodový mechanismus se využívají pružiny s rozdílnou vlastní frekvencí. Pružiny se vyrábějí ze speciální pružinové oceli, navíjejí se za studena, tepelně se zpracovávají a poté se může jejich povrch brousit, popřípadě kuličkovat [3] [4] [6].

Obr. 37 Ventilové pružiny [30]



### 6.5.9 Ventilová vahadla a rozvodové páky

Ventilové vahadlo je dvouramenná páka, která slouží u rozvodu OHC či CIH k přenosu pohybu vačky na dřík ventilu. U rozvodu OHV slouží taktéž k přenosu pohybu z vačky na dřík, ale mezi těmito díly se nachází ještě zdvihátka nebo rozvodové tyčky. Vahadlo je otočně uloženo na čepu vahadel, tření je sníženo nalisováním bronzového pouzdra, nebo pomocí jehlového ložiska. Čep bývá pevný, dutý a neotočný. Dutým čepem je rozváděn motorový olej na vahadla a ventily. Cílem při konstrukci dosažení co nejvyšší tuhosti a zároveň co nejnižší hmotnosti. Ventilová vahadla se vyrábějí jako zápustkové výkovky, popřípadě jako výlisky z ocelového plechu. Stykové plochy jsou povrchově kaleny [3] [6].

Obr. 38 Ventilové vahadlo [31]



Rozvodová páka je jednoramenná páka, která je na jednom konci opřena o kulový čep. Druhý konec přenáší pohyb vačky na dřík ventilu. U OHC rozvodu přímo přenášení zdvih vačky. Jsou vyráběny zápusťkovým kováním ušlechtilé oceli. Rozvodová páka i vahadlo může být opatřena valivým členem, které snižují opotřebení vačky [3] [6].

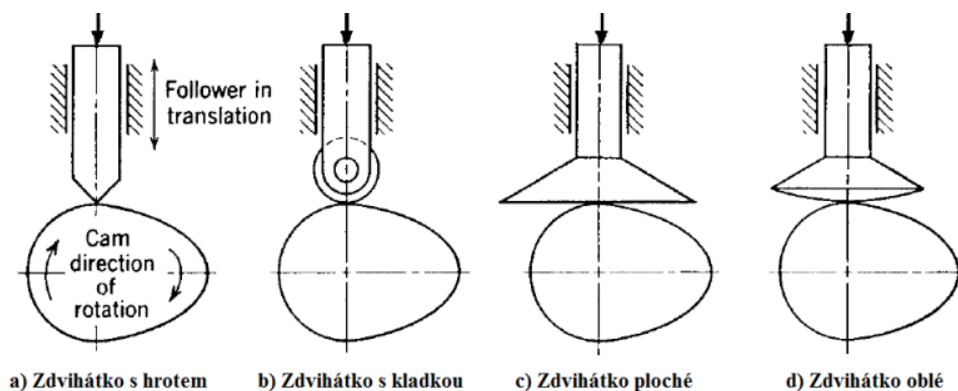
#### 6.5.10 Rozvodové tyčky

Rozvodové tyčky se využívají u OHV rozvodu k přenosu pohybu ze zdvihátek na vahadla ventilů. Jsou zatížena na vzpěr. Vyrábějí se z ocelových nebo hliníkových trubek, nebo tyček. Oba konce bývají kaleny a cementovány. Dolní koncovka se opírá o zdvihátko a má tvar půlkruhu. Horní koncovka má tvar misky a zapadá do ní kulová hlava seřizovacího šroubu vahadel [3] [6].

#### 6.5.11 Zdvihátka

Zdvihátka slouží k přenosu zdvihu od vačky na dřík ventilu (některé motory s SV a OHC rozvodem), vahadla (CIH) nebo od vačky na rozvodovou tyčku (rozvod OHV). Nejčastěji se používá zdvihátko hrníčkové, stopkové a zdvihátko s kladkou. Podle konstrukce se dělí na zdvihátka oblá, rovná s kladkou a dále se dělí podle tvaru na talířová a hrníčková [3] [6].

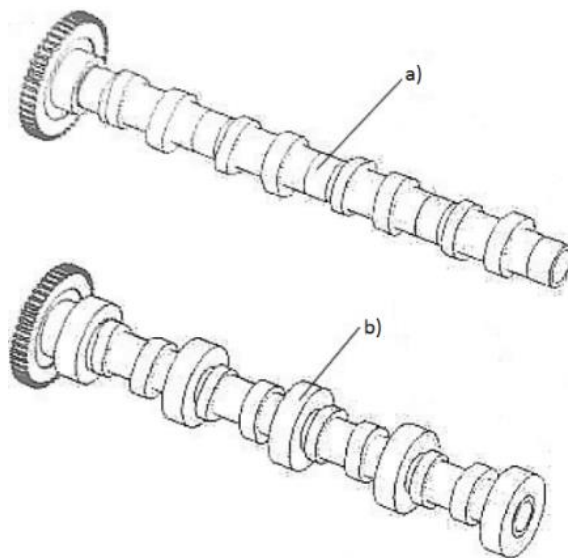
Obr. 39 Druhy zdvihátek [32]



### 6.5.12 Vačkový hřídel

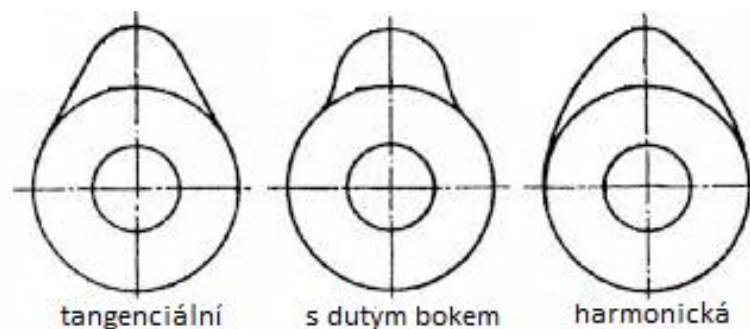
Vačkový hřídel slouží k transformaci otáčivého pohybu získaného od klikového hřídele na posuvný pohyb ventilů. Zajišťuje otevírání ventilů ve správném pořadí. Na vačkovém hřídeli se nacházejí vačky a čepy pro uložení v pevných částech motoru. Každá vačka ovládá jeden, u víceventilové techniky dva a více ventilů. Jeden konec této hřídele je upraven pro upevnění hnaného kola rozvodového ústrojí. Z důvodu odlehčení bývá vačkový hřídel dutý, dutina může být využita k rozvodu mazacího oleje k vačkám a ložiskům. Hřídel může být uložena v nedělených, či dělených kluzných ložiscích, v některých ojedinělých případech ve valivých ložiscích. Tomu musí být uzpůsobeny čepy ložisek, u nedělených ložisek musí být průměr ložiskových čepů větší než maximální zdvih vačky. Vačkový hřídel bývá třikrát uložený, a může sloužit i k pohonu mazacího čerpadla, rozdělovače, a i palivového čerpadla [3] [6].

Obr. 40 Varianty uložení vačkového hřídele a) pro dělená ložiska b) pro nedělená ložiska [6]



Tvar vačky určuje zdvih ventilu, dobu otevření ventilu, rychlost otevření a zavření ventilu. Pro dobrou výměnu náplně válce je zapotřebí rychlého otevření a uzavření ventilů, a dostatečného času na naplnění a výfuk. Podle tvaru rozeznáváme vačky tangenciální, harmonické, s dutým bokem a speciální [3] [6].

Obr. 41 Druhy vaček [6]

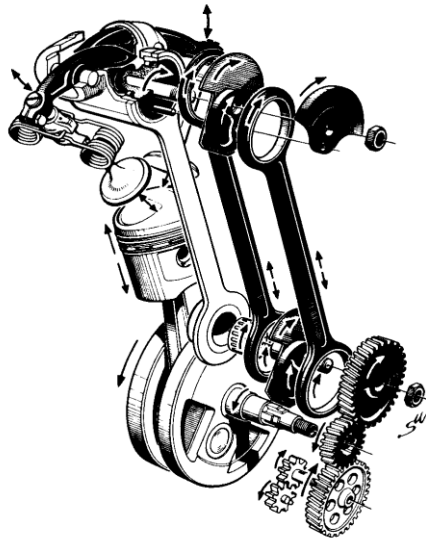




### 6.5.13 Pohon vačkového hřídele

Vačkový hřídel je poháněn klikovým hřídelem. Pro správný pohon rozvodového ústrojí je důležitá přesná synchronizace pohybu klikového a vačkového hřídele, proto nemůže být využito třecích převodů. Pohon může být uskutečněn pomocí čtyř základních konstrukcí. Konkrétně ozubenými koly a ozubeným řemenem, řetězovými koly a válečkovým řetězem, čelními koly se šikmým ozubením, rozvodovým hřídelem s kuželovými ozubenými koly, popřípadě pomocí ojníc (např. NSU Ultramax)

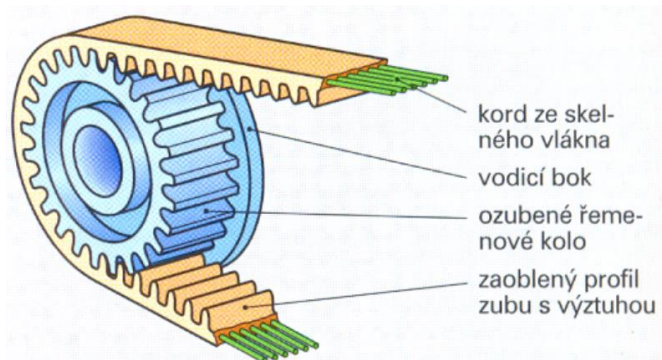
Obr. 42 Pohon vačkového hřídele pomocí ojníc [33]



#### 6.5.13.1 Pohon pomocí ozubeného řemenu

Pohon vačkového hřídele pomocí řemenu se skládá z ozubených kol, řemenu a napínací kladky. Uspořádání a počet komponentů je závislý na typu rozvodu a také na konstruktérovi. Mezi výhody patří nízká hmotnost, tichý chod, nenáročná údržba a nepotřebnost mazání. Mezi nevýhody patří kratší interval výměny řemenu a nebezpečí jeho přetrhnutí. Ozubený řemen musí mít vysokou pevnost v tahu, odolnost vůči otěru, dobrou odolnost vůči chemickým vlivům (olej, slaná voda apod.), dobrou odolnost vůči vysokým teplotám a délkovou stabilitu [6].

Obr. 43 Pohon vačkového hřídele ozubeným řemenem [21]

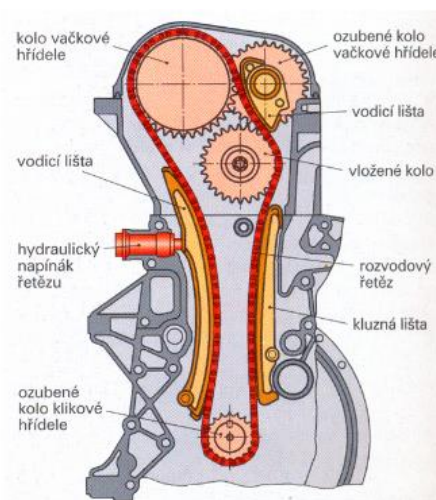


### 6.5.13.2 Pohon pomocí řetězu

Pohon ocelovým válečkovým řetězem je velmi spolehlivý (najdou se i výjimky), a výrobně dražší. Skládá se z řetězových kol, kloubových (válečkový nebo pouzdrový) nebo zubových řetězů z oceli, napínáku a vodících lišt. Uspořádání a počet komponentů je závislý na typu rozvodu a také na konstruktérovi [3] [6].

Obvykle je použit dvouřadý řetěz, ale může být použit i jednořadý, či třířadý. Pokud je vzdálenost klikové hřídele a vačkové hřídele velká (např. OHC) je použit dlouhý řetěz, nebo může být pohon řešen dvoustupňově (časté u motorů s uspořádáním válců do V). Snížení kmitání dlouhého řetězu a jeho vedení zajišťuje vodící (kluzná) lišta [3] [6].

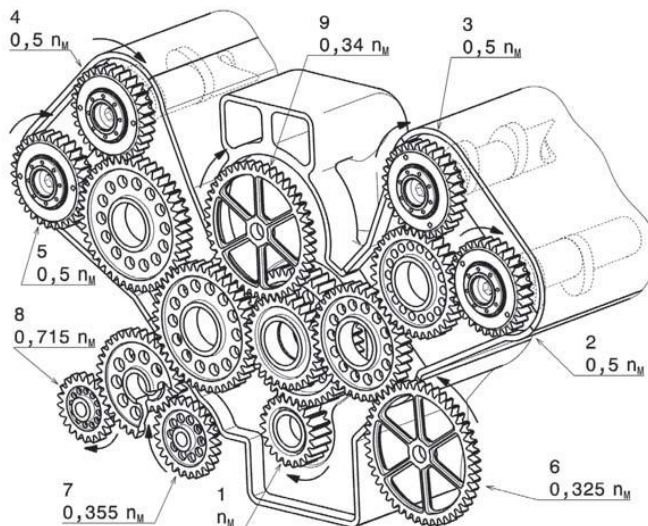
Obr. 44 Pohon vačkového hřídele řetězem [21]



### 6.5.13.3 Pohon pomocí ozubených kol

Tento pohon se používá nejvíce u OHV motoru. Používají se čelní ozubená kola se šikmým ozubením, které snižují hlučnost rozvodu. Tento rozvod je konstrukčně složitý, skládá se pouze z ozubených kol. Provozně je velmi spolehlivý [6].

Obr. 45 Pohon vačkového hřídele ozubenými koly – Ferrari Tipo 049 [34]



#### 6.5.13.4 Pohon „Královským hřídelem“

Pohon vačkového hřídele pomocí „královského hřídele“ byl využíván především u rozvodu OHC, vzhledem ke složitosti mechanismu se v současné době využívá pouze výjimečně. Skládá se z hřídele a dvou párů kuželových kol [12].

Obr. 46 Pohon vačkového hřídele kuželovými ozubenými koly [35]

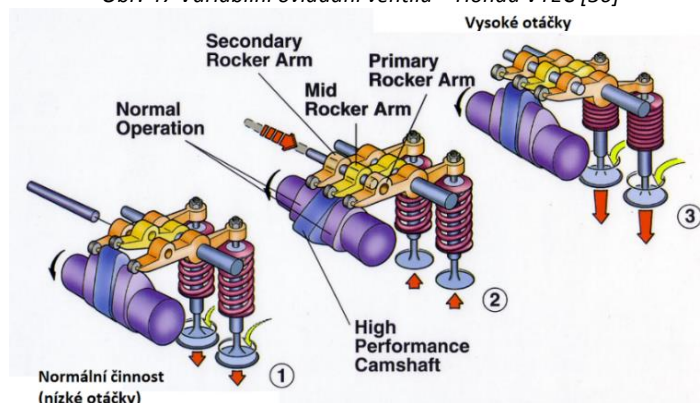


## 7. Variabilní rozvodové mechanismy

Variabilní rozvodové mechanismy slouží ke zlepšení plnění válců ve velké oblasti provozních otáček. U motorů bez variabilních rozvodů je plnění válců optimální pouze při určitých otáčkách. Lepším plněním se zvýší výkon,lepší se průběh točivého momentu, dojde ke snížení obsahu škodlivých látek ve výfukových plynech a snížení spotřeby paliva. Motory pracující v Atkinsonově, Millerově či Budackově cyklu musí být vybaveny variabilními rozvodovými mechanismy [3] [6] [14].

Může být použito různých systémů, konkrétně proměnného časování ventilů (natáčení vačkového hřídele vůči klikovému hřídeli, popř. sací vačkové hřídele oproti výfukové pomocí fázového měniče, stavitelným napínákem řetězu nebo řemenu, variabilním řízením vačkového hřídele), variabilního ovládání vačkového hřídele (natočení vačkové hřídele vůči svému rozvodovému kolu), variabilního ovládání ventilů (kuželové vačky, více profilů vačky na ventil), a plně variabilních rozvodů ventilů (např. Valvetronic) [3] [6] [14].

Obr. 47 Variabilní ovládání ventilů – Honda VTEC [36]



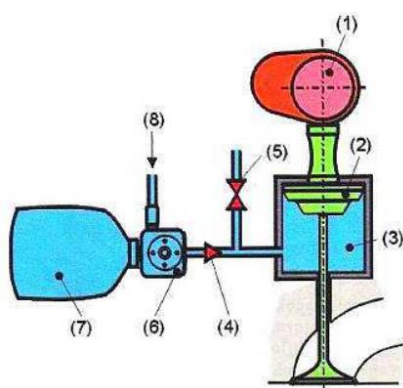
## 8. Nekonvenční rozvodové mechanizmy

V této kapitole jsou uvedeny nekonvenční ventilové rozvody, které (zatím) nenašli širší uplatnění. Ve většině případů se jedná o variabilní rozvodové mechanizmy.

### 8.1 Pneumatické zavírání ventilů

U tohoto rozvodu jsou ventily uzavírány pomocí stlačeného vzduchu namísto ventilových pružin. To má za následek navýšení maximálních otáček až o 4000 ot/min, otevírání a zavírání ventilů je rychlejší, a díky tomu může být zvýšen maximální výkon motoru a zlepšen průběh křivky točivého momentu [3].

Obr. 48 Pneumatické uzavírání ventilů [3]

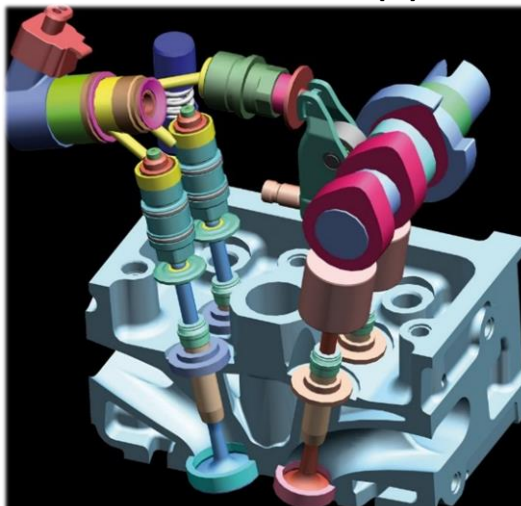


- 1 - vačkový hřídel
- 2 - pístek
- 3 - pracovní prostor válečku
- 4 - zpětný ventil
- 5 - přetlakový ventil
- 6 - redukční ventil
- 7 - zásobník tlaku (tlaková láhev)
- 8 - přívod stlačeného vzduchu z kompresoru

### 8.2 Mechanicko-hydraulické ovládání ventilů VVA

Tento druh ventilového rozvodu se od „klasického“ mechanického rozvodu liší přidáním elektricky řízeného hydraulického systému mezi vačku a sací ventil. Díky tomu může měnit zdvih a dobu otevření každého ventilu zvlášť (nezávisle na ostatních) v závislosti na provozním režimu motoru. U motoru vybaveného VVA není potřeba škrtící klapka. Umožňuje snížit spotřebu paliva až o 15 % a zároveň zvýšení výkonu a točivého momentu (10–15 %) [3].

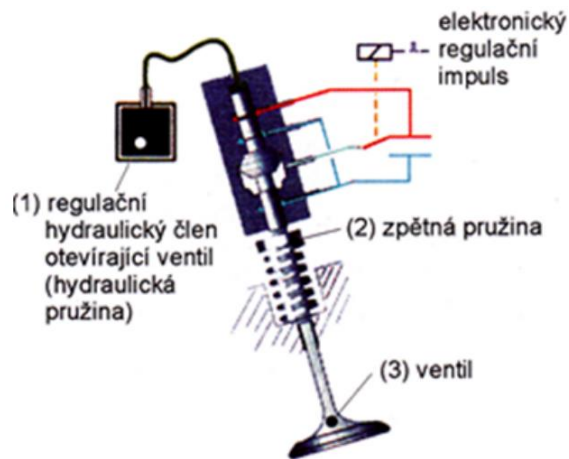
Obr. 49 VVA – Fiat Multiair [37]



### 8.3 Elektro-hydraulické ovládání ventilů

Rozvod s elektro-hydraulickým ovládáním ventilů se obejde bez vačkového hřídele, jelikož ventily jsou ovládány pomocí elektrohydraulického systému řízeného elektronicky. Dosahuje se s ním nižší spotřeby paliva, nižší produkce škodlivin ve výfukových plynech a vyššího výkonu motoru [3].

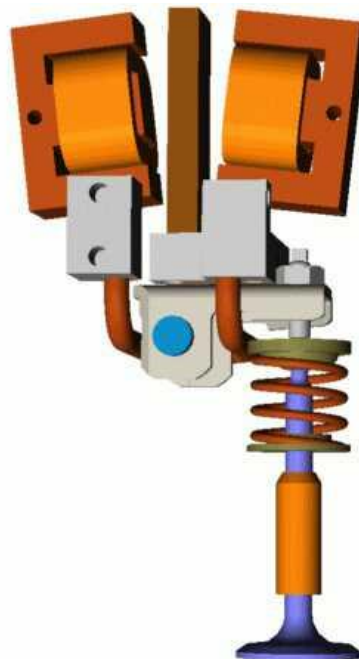
Obr. 50 Elektro-hydraulické ovládání ventilů [3]



### 8.4 Elektromagnetické ovládání ventilů EVA

Vačkovou hřídel u tohoto typu rozvodu nahradily elektromagnety, uzavírání zajišťuje ventilová pružina. Velikost zdvihu a dobu otevření ventilu řídí elektronická řídicí jednotka. Dosud se nevyužívá hlavně kvůli potřebnému velkému elektrickému příkonu [3].

Obr. 51 Elektromagnetické ovládání ventilů [38]



## 9. Závěr

Tato bakalářská práce poskytuje přehled problematiky rozvodových mechanismů spalovacích motorů, popisuje části různých rozvodových mechanismů a vývojové tendence. Neobsahuje všechna technická řešení, zabývá se především nejvíce používanými rozvodovými mechanismy a historickými řešeními, které v současnosti pro některé své nevýhody nemohou být již používány, ale dávají dobrou představu o vývoji, který pístový spalovací motor za více než 150 let své existence prodělal.

První část práce se věnuje popisu pracovních cyklů dvoudobých a čtyřdobých motorů, a to zážehových i vznětových. Jsou zde uvedeny i poměrně moderní pracovní cykly zážehových motorů například Atkinsonův, Millerův.

Druhá část se věnuje samotným rozvodovým mechanismům a jejich účelu. Jsou zde poměrně detailně popsány šoupátkové, pístové, membránové a ventilové rozvody pro dvoudobé motory a vyplachování válce.

Značná část této práce je věnována rozvodovým mechanismům čtyřdobých motorů, a to ze dvou hlavních důvodů. Prvním důvodem je vysoký podíl vozidel se spalovacím motorem, které využívají právě tento rozvod a druhým důvodem je značná rozmanitost konstrukčních řešení, a to i díky velké oblibě tohoto rozvodového mechanismu. Jsou zde popsány šoupátkové rozvody, které se už několik desítek let nepoužívají vzhledem k jejich značným nevýhodám. V této části jsou taktéž popsány všechny důležité části ventilového rozvodu od ventilů, přes vahadla až po pohon vačkového hřídele.

Poslední část je věnována konstrukčním řešením, které dopomohou splnění stále přísnějších emisních limitů. Jedná se o variabilní časování rozvodových mechanismů využívajících vačkové hřídele a o nekonvenční rozvodové mechanismy využívající k řízení výměny obsahu válce elektronicky řízené členy.

V současné době se může zdát, že budoucnost pohonu automobilů se obejde bez spalovacích motorů a budou využity k pohonu vozidel elektromotory, čehož se snaží dosáhnout i emisní limity platné od roku 2021 a o mnoho přísnější emisní limity platné od roku 2030. Myslím, že spalovací motor má stále svoji budoucnost, a to i po vyčerpání ropy využitím alternativních paliv, jelikož není vyřešeno několik podstatných problémů týkající se provozu a následné likvidace elektromobilů.

## 10. Použitá literatura a zdroje

- [1] Dvoudobý spalovací motor – základní princip. AutoZnalosti.cz [online]. Dostupné z: <http://www.autoznalosti.cz/index.php/motor/5-dvoudoby-spalovaci-motor.html>
- [2] KAMEŠ, Josef. Spalovací motorová vozidla: část: Spalovací motory. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2002. ISBN 80-213-0895-8.
- [3] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. Automobily. 4. přeprac. vyd. Brno: AVID, 2007. ISBN 978-80-903671-7-3
- [4] GROHE, Heinz. Benzínové a naftové motory. Bratislava: Alfa, 1985. Edícia dopravnej literatúry.
- [5] REMEK, Branko. Automobil a spalovací motor: historický vývoj. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3538-2.
- [6] VLK, František. Vozidlové spalovací motory. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8756-4.
- [7] HROMÁDKO, Jan. Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [8] ČERMÁK, Ladislav. Atkinsonův cyklus: Vítané zpoždění. In: Auto.cz [online]. 15.3. 2015 [cit. 29.1.2019] Dostupné z: <http://www.auto.cz/atkinsonuv-cyklus-vitane-zpozdzeni-86271>
- [9] VW vyvinul nový cyklus řízení motoru. Říká mu Budackův a šetří palivo, jak? | Autoforum.cz. Autoforum.cz [online]. Copyright ©1996 [cit. 29.01.2019]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/technika/vw-vyvinul-novy-cyklus-rizeni-motoru-rika-mu-budackuv-a-setri-palivo-jak/>
- [10] KYSELA, Ladislav a Jiří TOMČALA. Spalovací motory I. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2003. ISBN 80-248-0435-2.
- [11] MACEK, Jan. Spalovací motory I. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03618-1.
- [12] JAROŠ, Karel. Spalovací motory II: konstrukce spalovacích motorů. Brno: Ediční středisko Vysokého učení technického, 1990. ISBN 80-214-0131-1.
- [13] Zkratky a pojmy v popisech automobilů – Autoservis 24 | Praha 4 - Michle. Autoservis 24 - kompletní služby pro váš vůz | Praha 4 - Michle [online]. Copyright © 2019 [cit. 31.01.2019]. Dostupné z: <http://www.autoservis24.eu/dalsi-sluzby/zkratky-a-pojmy/>
- [14] Ventilové rozvody čtyřdobých spalovacích motorů; Ing. Jaroslav Přeslička (2011 - 49979) – VUT v Brně. Vysoké učení technické v Brně [online]. Copyright © 2019 VUT v Brně [cit. 31.01.2019]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/49979>
- [15] KOŽOUŠEK, Josef. Výpočet a konstrukce spalovacích motorů. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1983. Řada strojírenské literatury.

- [16] Dvoutaktní nebo čtyřtaktní motor? Jaký je jejich rozdíl? Jaké mají výhody? - Sekacky-pily.cz. Zahradní technika – Dvořák Benešov - Sekacky-pily.cz [online] [cit. 29.01.2019]. Dostupné z: <https://www.sekacky-pily.cz/dvoutaktni-nebo-ctyrtaktni-motor-jaky-je-jejich-rozdil-jake-maji-vyhody/n66/>
- [17] Marine Engines - Comparing Diesel Types: Two Cycle, Four Cycle. Yacht Survey Online: Buying, Owning, Maintaining a Boat or Yacht by David Pascoe, Marine Surveyor(Retired) [online]. Copyright © 1997 [cit. 29.01.2019]. Dostupné z: [https://www.yachtsurvey.com/comparing\\_diesel\\_types.htm](https://www.yachtsurvey.com/comparing_diesel_types.htm)
- [18] Home - Engineering Tutorials [online]. Copyright © 2016 cPanel, Inc. [cit. 29.01.2019]. Dostupné z: <http://engineering.myindialist.com/2013/to-study-two-stroke-and-four-stroke-diesel-engines-bme-lab-manual/#.XJvFitJKiM8>
- [19] Čtyřdobý zážehový motor – Vysvětlení pojmů, technické informace, slovník pojmů, Audi Klub. Audi Klub – Vše o Audi, bazar Audi, recenze Audi, pojištění vozů, slevy na díly [online] [cit. 29.01.2019]. Dostupné z: <https://audiklub.cz/techwiki/ctyrdoby-zazehovy-motor>
- [20] Čtyřdobý zážehový motor. Adam DRAGON [online] [cit. 29.01.2019]. Dostupné z: [http://dragon.web2001.cz/fyzika/tepelnestroje/ctyrdoby\\_zazehovy\\_01.htm](http://dragon.web2001.cz/fyzika/tepelnestroje/ctyrdoby_zazehovy_01.htm)
- [21] Gscheidle, R. a kol. (2001): Příručka pro automechanika. SOBOTÁLES, Praha, 629 str., ISBN: 80-85920-76-X
- [22] DSpace VŠB-TUO [online]. Copyright © [cit. 29.01.2019]. Dostupné z: [http://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/109005/PEJ023\\_FMMI\\_N2109\\_2\\_109T033\\_2015.pdf?sequence=1&isAllow](http://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/109005/PEJ023_FMMI_N2109_2_109T033_2015.pdf?sequence=1&isAllow)
- [23] Zdroj: DSpace Home [online]. Copyright ©x [cit. 29.01.2019]. Dostupné z: [https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/2509/mgr\\_15687.pdf?sequence=1](https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/2509/mgr_15687.pdf?sequence=1)
- [24] Renovace Manet M 90 a ČZ 175/450.03 250/455 a úpravy - Fotoalbum - FOTOALBUM MANET - Motor - Motor manet M90 v řezu 2 takty. Renovace Manet M 90 a ČZ 175/450.03 250/455 a úpravy [online]. Copyright © 2019 eStránky.cz [cit. 29.01.2019]. Dostupné z: <http://www.manet90.estranky.cz/fotoalbum/fotoalbum-manet/motor/motor-manet-m90-v-rezu-2-takty.html>
- [25] Blog Silnika. Blog Silnika [online] [cit. 29.01.2019]. Dostupné z: <http://blog-silnika.blogspot.com/>
- [26] F Head Engine - General Discussion - Antique Automobile Club of America - Discussion Forums. Forums - Antique Automobile Club of America - Discussion Forums [online]. Copyright © 2017, Antique Automobile Club of America. [cit. 31.01.2019]. Dostupné z: <https://forums.aaca.org/topic/281119-f-head-engine/>
- [27] FN Four – Wikipedia. [online]. Copyright © [cit. 31.01.2019]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/60/FN\\_Four\\_engine\\_end\\_section.gif](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/60/FN_Four_engine_end_section.gif)



- [28] ZLATUŠKA, Bohumír. Mikromagnetická strukturoskopie výfukových ventilů: Mikromagnetic structuroscopy of exhaust valves. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010.
- [29] T 11 Opravy hlav válců a ventilového systému. Publi.cz – platforma pro multimediální eBooky neboli mKnihy [online]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/11.html>
- [30] Zesílené dvojitě ventilové pružiny 1.9TDi 8V (ne PD/CR) | POWERgarage best tuning e-shop. POWERgarage best tuning e-shop[online]. Dostupné z: <https://www.powergarage.cz/powergarage/Zesilene-dvojite-ventilove-pruziny-1-9TDi-8V-ne-PD-CR-d2970.htm>
- [31] Rocker Arm No 2 4 6 8 With Bush - 108014 | Rimmer Bros. Rimmer Brothers - Triumph Car Parts, MG Rover Car Parts, and Land Rover Car Parts and Spares [online]. Copyright ©Copyright 2019, Rimmer Bros., All Rights Reserved [cit. 25.02.2019]. Dostupné z: <https://rimmerbros.com/Item--i-108014>
- [32] Adaptace zařízení na zkoušení tlumičů pro zkoušky kontaktní únavy dynamicky zatěžovaných ploch; Bc. Lukáš Nepovím ( 2016 - 100783) – VUT v Brně. Vysoké učení technické v Brně [online]. Copyright © 2019 VUT v Brně [cit. 27.02.2019]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp\\_id=100783](https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=100783)
- [33] Albert Roder -The man who designed the MAX. NSU-Max Startseite [online]. [cit. 26.02.2019]. Dostupné z: [http://www.der-maxfahrer.de/max\\_hp\\_roder\\_e.html](http://www.der-maxfahrer.de/max_hp_roder_e.html)
- [34] Engine gear train configuration - VETR.VETR - Vehicle Engineering Technical Review [online]. [cit. 01.03.2019]. Dostupné z: <https://www.invetr.com/powertrain/gear-train>
- [35] Kawasaki W 650 Königswelle - Nippon-Classic.de. Nippon-Classic.de - Classic und Custom Bikes "Made in Japan" [online]. Copyright © 2018 Nippon [cit. 05.03.2019]. Dostupné z: <https://nippon-classic.de/classic-bikes/kawasaki/die-kawasaki-w-650-wird-in-2019-zum-youngtimer/attachment/kawasaki-w800-special-edition-5/>
- [36] engine - What exactly is Honda's i-VTEC technology - Motor Vehicle Maintenance & Repair Stack Exchange. Motor Vehicle Maintenance & Repair Stack Exchange [online] [cit. 06.03.2019]. Dostupné z: <https://mechanics.stackexchange.com/questions/17365/what-exactly-is-hondas-i-vtec-technology>
- [37] For Better Engine Efficiency, a Different Kind of Throttle - The New York Times. Breaking News, World News & Multimedia - The New York Times [online]. Copyright © [cit. 07.03.2019]. Dostupné z: <https://www.nytimes.com/2011/03/27/automobiles/27valve.html>
- [38] Welcome to Magnesense, LLC. Welcome to Magnesense, LLC [online]. Copyright ©2009 [cit. 07.03.2019]. Dostupné z: <https://www.magnesense.com/>

# 11. Seznam obrázků

Obr. 1 Pracovní fáze dvoudobého motoru .....	3
Obr. 2 Kruhovýdiagram časování rozvodu dvoudobého motoru .....	4
Obr. 3 Dvoudobý vznětový motor .....	5
Obr. 4 p-V diagram vznětového dvoudobého motoru .....	6
Obr. 5 Pracovní oběh čtyřdobého zážehového motoru .....	6
Obr. 6 p-V diagram čtyřdobého zážehového motoru .....	8
Obr.7 Kruhový diagram časování rozvodu čtyřdobého motoru .....	8
Obr. 8 Diagram symetrického a nesymetrického rozvodu dvoudobého motoru .....	11
Obr. 9 Souměrný a nesouměrný rozvodový diagram dvoudobých motorů .....	11
Obr. 10 Příčné vyplachování dvoudobého motoru .....	12
Obr. 11 Vratné vyplachování dvoudobého motoru .....	12
Obr. 12 Souproudé vyplachování dvoudobého motoru .....	13
Obr. 13 Dvoudobý motor s podvojným válcem .....	13
Obr. 14 Diagram časového průřezu rozvodových ventilů čtyřdobého motoru .....	15
Obr. 15 Motor s posuvně rotačním šoupátkem .....	15
Obr. 16 Rozvod SV s „L“ uspořádáním .....	16
Obr. 17 Rozvod OHV .....	17
Obr. 18 Rozvod OHC .....	18
Obr. 19 Rozvod DOHC.....	19
Obr. 20 Rozvod CIH .....	19
Obr. 21 Rozvod IOE .....	20
Obr. 22 Rozvod AIV .....	20
Obr. 23 Desmodromický OHC rozvod .....	21
Obr. 24 Víceventilová technika .....	22
Obr. 25 Rozložení teplot ve výfukovém ventilu .....	23
Obr. 26 Příklady materiálového provedení ventilů.....	24
Obr. 27 Hlavní části ventilu .....	25
Obr. 28 Běžné tvary hlavy ventilů .....	25
Obr. 29 Nastavení vůle ventilu seřizovacím šroubem s vnitřním šestihranem (opěrný kulový čep) .....	26
Obr. 30 Nastavení vůle ventilu nastavovací podložkou na hrníčkovém zdvihátku .....	26
Obr. 31 Hydraulické hrníčkové zdvihátko .....	27
Obr. 32 Zařízení k pootáčení ventilu při chodu motoru.....	28
Obr. 33 Opěrná miska pružiny a zajištění ventilu upínacími nebo neupínacími klínky .....	28
Obr. 34 Sedlo ventilu .....	29
Obr. 35 Vedení ventilu .....	30
Obr. 36 Utěsnění dříku ventilu .....	30
Obr. 37 Ventilové pružiny .....	31
Obr. 38 Ventilové vahadlo .....	31
Obr. 39 Druhy zdvihátek .....	32
Obr. 40 Varianty uložení vačkového hřídele a) pro dělená ložiska b) pro nedělená ložiska .....	33
Obr. 41 Druhy vaček .....	33
Obr. 42 Pohon vačkového hřídele pomocí ojnic .....	34
Obr. 43 Pohon vačkového hřídele ozubeným řemenem .....	34
Obr. 44 Pohon vačkového hřídele řetězem .....	35
Obr. 45 Pohon vačkového hřídele ozubenými koly – Ferrari Tipo 049 .....	35
Obr. 46 Pohon vačkového hřídele kuželovými ozubenými koly .....	36
Obr. 47 Variabilní ovládání ventilů – Honda VTEC.....	36
Obr. 48 Pneumatické uzavírání ventilů .....	37
Obr. 49 VVA – Fiat Multiair .....	37
Obr. 50 Elektro-hydraulické ovládání ventilů .....	38
Obr. 51 Elektromagnetické ovládání ventilů .....	38