

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Ventilový rozvod a jeho parametry

Michal Rous

Bakalářská práce  
2012

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal Rous**  
Osobní číslo: **D06246**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**  
Název tématu: **Ventilový rozvod a jeho parametry**  
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

### **Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :**

- Osnova 1) Úvod  
2) Princip činnosti ventilových rozvodů  
3) Jednotlivé druhy rozvodů  
4) Realizace výpočtového programu  
5) Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- 1) VLK, František: Vozidlové spalovací motory. 1. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2003. 580 s. ISBN 80-238-8756-4.
- 2) GSCHEIDLE, Rolf a kol: Příručka pro automechanika. 2. upravené vydání. Praha: Sobotáles, 2002. 640 s. ISBN 80-85920-83-2.
- 3) JAN, Zdeněk; ŽDÁNSKÝ, Bronislav: Automobily: Motory (3). 5. vydání. Brno: Nakladatelství Avid, spol. s r. o., 2008. 179 s.
- 4) TESAŘ, Miroslav; ŠEFČÍK, Ivo: Konstrukce vozidlových spalovacích motorů. 1. vydání. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. 172 s. ISBN 80-7194-550-1.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Petr Jilek, DiS.**

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **24. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2012**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. února 2012

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Mělníku dne 2. 11. 2012

Michal Rous

## **ANOTACE**

Tato práce je zaměřena na rozvodové ústrojí vozidlových spalovacích motorů. V první části práce jsou popsány principy fungování rozvodových mechanismů, jejich hlavní součásti a některá další přídatná zařízení. Dále práce obsahuje rozdělení rozvodů na několik základních typů podle jednotlivých konstrukčních řešení a jejich podrobnější popis. V další části je představen výpočtový program, vytvořený v aplikaci MS Excel, který slouží pro výpočet některých vybraných parametrů rozvodového ústrojí po zadání vstupních hodnot.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

ventilový rozvod, druhy rozvodových mechanismů, parametry, výpočtový program

## **TITLE**

Valve train and its parameters

## **ANNOTATION**

This work is focused on the distribution system for vehicle combustion engines. The first part describes the working principles of distribution mechanisms, their main components and some other additional devices. The work also contains division of distribution systems on several basic types according to different construction solutions and their more detailed description. In the next part is presented computing program, created in MS Excel, which is used for the calculation of some selected parameters of the distribution system after entering the input values.

## **KEYWORDS**

valve train, types of distribution mechanisms, parameters, computing program

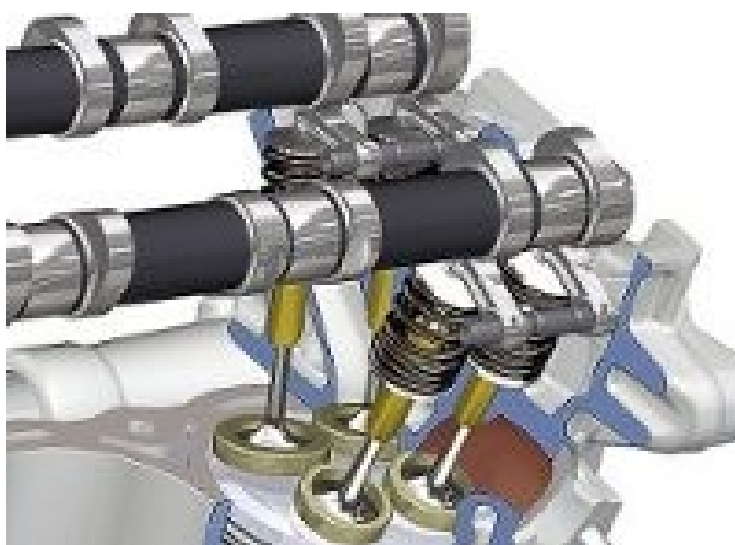
# OBSAH

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>7</b>
<b>2. PRINCIP ČINNOSTI VENTILOVÝCH ROZVODŮ .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1. POHON ROZVODOVÉHO ÚSTROJÍ.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2. HLAVNÍ ČÁSTI ROZVODOVÉHO ÚSTROJÍ .....</b>	<b>9</b>
2.2.1. Ventily .....	9
2.2.2. Ventilové pružiny.....	12
2.2.3. Ventilová vahadla.....	14
2.2.4. Zdvihátka ventilů.....	15
2.2.5. Rozvodové tyčky .....	16
2.2.6. Vačkový hřídel.....	17
<b>2.3. PŘÍDAVNÁ ZAŘÍZENÍ ROZVODU .....</b>	<b>18</b>
<b>3. JEDNOTLIVÉ DRUHY ROZVODŮ .....</b>	<b>19</b>
3.1. SV – SIDE VALVES .....	19
3.2. OHV – OVER HEAD VALVES.....	20
3.3. OHC – OVER HEAD CAMSHAFT.....	21
3.4. DOHC – DOUBLE OVER HEAD CAMSHAFT .....	23
3.5. DESMODROMICKÝ ROZVOD .....	23
3.6. ŠOUPÁTKOVÝ ROZVOD.....	24
3.7. KANÁLOVÝ ROZVOD .....	25
<b>4. REALIZACE VÝPOČTOVÉHO PROGRAMU .....</b>	<b>27</b>
4.1. VÝPOČET RYCHLOSTI PROUDĚNÍ PLYNŮ V OBLASTI VENTILU .....	27
4.2. VÝPOČET KINEMATICKÝCH VELIČIN VENTILOVÉHO ZDVIHÁTKA .....	29
4.3. VÝPOČET SETRVAČNÝCH SIL HMOTNOSTI ROZVODU .....	32
4.4. VÝPOČET PARAMETRŮ VENTILOVÉ PRUŽINY.....	34
<b>5. ZÁVĚR .....</b>	<b>37</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>38</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>39</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>40</b>

## 1. Úvod

Základní úlohou rozvodového ústrojí je řízení výměny náplně válců. Z tohoto důvodu má rozvodový mechanismus motoru zásadní vliv na dosažení parametrů výkonu a točivého momentu motoru. Součástí rozvodového mechanismu jsou všechna zařízení, která ovládají vstup pohonných směsí do válce motoru a následný výstup produktů spalování z něj. Každý rozvodový mechanismus by měl zabezpečit maximální a co možná nejefektivnější využití energie z paliva přivedeného do spalovacího prostoru motoru a zároveň dosáhnout relativně tichého chodu. Hlavním požadavkem je přivedení co největšího množství vzduchu, případně směsi vzduchu s palivem do spalovacího prostoru válce motoru, umožnění co nejdokonalejší přípravy směsi a následné odvedení spálených zbytků paliva a dalších zplodin co nejrychleji a nejdokonaleji mimo prostor válce. Z toho důvodu musí rozvodový mechanismus otevírat a zavírat ventily nebo překrývat kanály, se správným načasováním, a takovým způsobem, aby byl průřez, daný otevřením ventilu nebo odkrytím kanálu, co největší.

V případě dvoudobých motorů tvoří rozvodové ústrojí píst motoru, který svým pohybem odkrývá a zakrývá jednotlivé kanály ve stěně válce. U některých dvoudobých motorů ale mohou být použity i ventily, případně šoupátkový rozvod. Rozvodové ústrojí čtyřdobých motorů se skládá z ventilů, které zahajují a ukončují výměnu plynů, a vačkového hřídele, který pracuje jako vlastní řídicí prvek této výměny.



Obr. 1.1 Ventilový rozvod [6]

## 2. Princip činnosti ventilových rozvodů

Ventilový rozvod je jedním ze základních typů rozvodových mechanismů. Používá se nejčastěji ve čtyřdobých spalovacích motorech, ale i v některých dvoudobých. Za ventilový rozvod považujeme mechanické zařízení, které řídí výměnu obsahu válců, tj. ovládá otevírání a zavírání ventilů se správným časováním, tedy jejich otevření a zavření ve správný moment.

Otevírání a zavírání jednotlivých ventilů je řízeno prostřednictvím příslušné vačky na vačkovém hřídeli. Pohon tohoto hřídele je realizován pomocí řemene, řetězu nebo ozubených kol z klikového hřídele motoru. Pohyb vaček je následně přenesen prostřednictvím zdvihátek, rozvodových tyček a vahadel (v závislosti na konkrétním typu rozvodu) až na samotné ventily. V případě čtyřdobých motorů se vačkový hřídel otáčí poloviční úhlovou rychlostí než hřídel klikový. Důvodem je, že jeden pracovní cyklus motoru trvá 2 otáčky klikového hřídele. Pro zavírání ventilů se nejčastěji používají ventilové pružiny. Další možností je použití druhé vačky, toto řešení se používá u desmodromických rozvodů zejména ve vysokootáčkových motorech.

### 2.1. Pohon rozvodového ústrojí

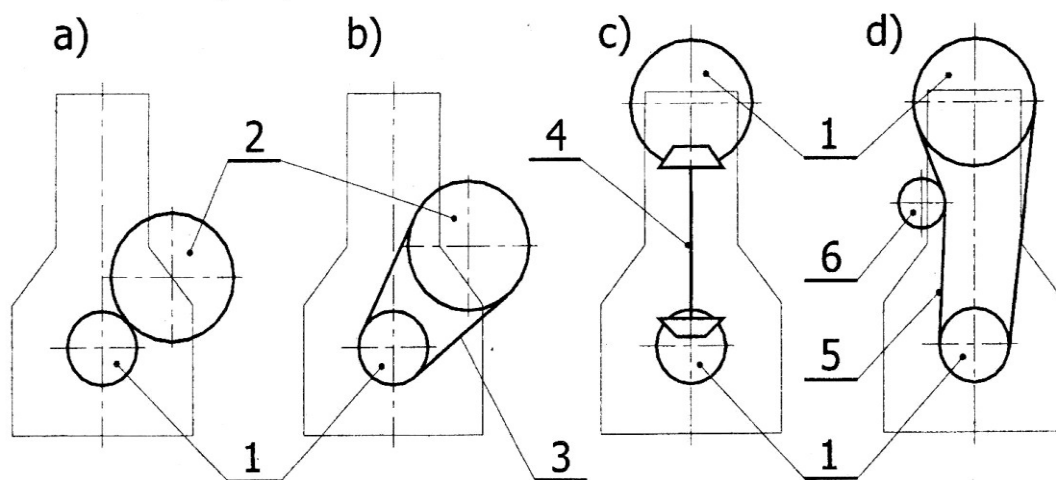
Rotační pohyb pro pohon rozvodového mechanismu je přenášen z klikového hřídele. Pohon vačkového hřídele může být řešen následujícími způsoby:

- ozubeným řemenem s vnitřním ozubením,
- řetězem (většinou víceřadým),
- ozubeným převodem,
  - s čelním ozubením (většinou přímým nebo jen s malým sklonem zubů),
  - kuželovými nebo šroubovými koly.

V ideálním případě by měl být pohon vačkového hřídele vyveden z místa, kde se klikový hřídel otáčí nejrovnoměrněji, tj. z uzlu torzního kmitání. Tato část hřídele se nachází co nejbližší setrvačníku. Takové řešení by však bylo komplikované, navíc v případě malých automobilových motorů je torzní kmitání relativně nízké, z toho důvodu je pohon vačkového



hřídele nejčastěji vyveden z volného konce klikového hřídele, tedy z opačného konce, než na kterém je umístěn setrvačnick.



Obr. 1.2 Druhy pohonů rozvodového ústrojí [4]: a – pohon čelními ozubenými koly, b – pohon řetězem, c – pohon hřídelem s kuželovými koly, d – pohon ozubeným řemenem, 1 – hnací kolo, 2 – hnané kolo, 3 – řetěz, 4 – hřídel s kuželovými koly, 5 – ozubený řemen, 6 – napínací kladka

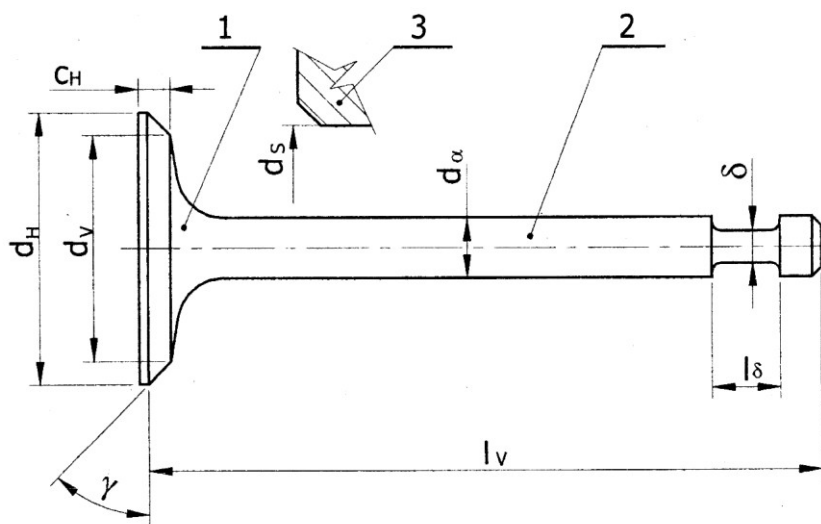
## 2.2. Hlavní části rozvodového ústrojí

### 2.2.1. Ventily

Ventily představují část spalovacího prostoru, patří proto mezi mechanicky a tepelně výrazně namáhané součásti rozvodového mechanismu. Na jejich výrobu se používá kvalitní legovaná ocel, na zpevnění nejvíce namáhaných částí ventilu mohou být použity například slitiny chromu, niklu nebo kobaltu. Další možností jsou ventily keramické, vyrobené ze speciálního silikonového nitridu s dalšími přísadami. Jejich hlavní výhodou je výrazně nižší hmotnost a tedy příznivý vliv na spotřebu paliva, nebo také delší životnost. Podle typu motoru a jeho zatížení se používají různé tvary a technologická provedení ventilů.

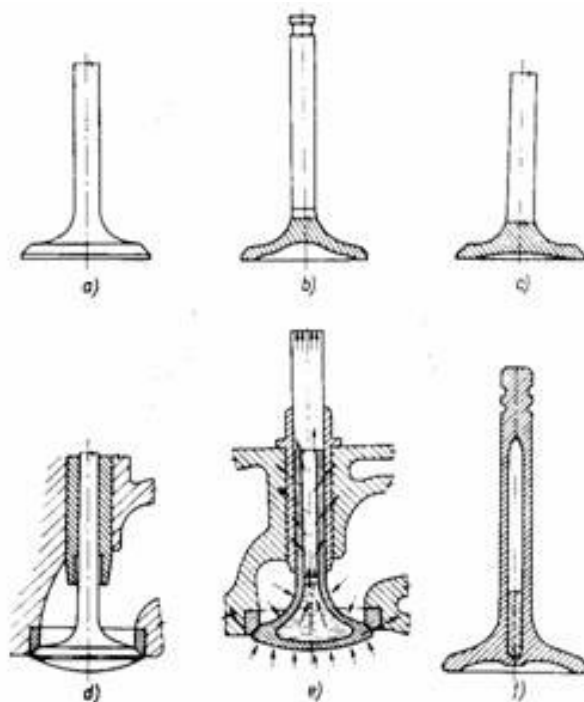
Ventil se skládá ze dvou hlavních částí, hlavy neboli talíře a dříku. Talíř ventilu se opírá do ventilového sedla, čímž utěsňuje sací a výfukové kanály vůči spalovacímu prostoru, zároveň jeho provedení musí co nejméně bránit proudění vzduchu nebo jeho směsi s palivem

do válce a následnému odvodu spalin ven z válce. Na talíř ventilu jsou kladeny různé požadavky v závislosti na tom, jestli se jedná o sací nebo výfukový ventil, nebo také podle toho, jaké je výkonové namáhání motoru. Talíř musí být dostatečně tuhý, aby se nedeformoval a odolával vysokému mechanickému a tepelnému namáhání, zároveň však musí být i poddajný, aby se přizpůsobil ventilovému sedlu.



Obr. 2.1 Hlavní části a rozměry ventilu [4]: 1 – hlava ventilu, 2 – dřík ventilu, 3 – ventilové sedlo,  $l_v$  – délka ventilu,  $d_v$  – průměr ventilu,  $d_h$  – průměr hlavy ventilu,  $c_h$  – výška hlavy ventilu,  $d_s$  – průměr ventilového sedla,  $d_d$  – průměr dříku ventilu

Úhel sedla ventilu je nejčastěji  $45^\circ$ , tento úhel umožňuje lepší středění ventilu v sedle a také zabezpečuje lepší utěsnění. Dalším používaným úhlem je  $30^\circ$ , tento úhel má výhodu ve větší průtočné ploše při stejném zdvihu ventilu, také zajišťuje snížení měrného tlaku od ventilu na sedlo. Úhly dosedacích ploch ventilového sedla a talíře ventilu se při výrobě dělají o  $0,5 - 1^\circ$  rozdílné, je to z toho důvodu, aby se ventil v sedle lépe usadil a následně dobře těsnil. Tvar ventilové hlavy je různý v závislosti na požadavcích na jednotlivé ventily a také na jejich typu. Pro sací ventily se nejčastěji používá hlava plochá, případně tulipánová. Tyto typy hlav mají nízkou hmotnost a vhodné aerodynamické vlastnosti. Hlava výfukových ventilů je vystavena většímu tepelnému namáhání a musí proto umožňovat lepší odvod tepla. Z tohoto důvodu se pro výfukové ventily používá hlava vypuklá, která klade menší odpor odváděným spalinám. Přechod mezi ventilovou hlavou a dříkem musí být plynulý, což jednak zabraňuje koncentraci napětí, ale také to má příznivý vliv na proudění plynů.

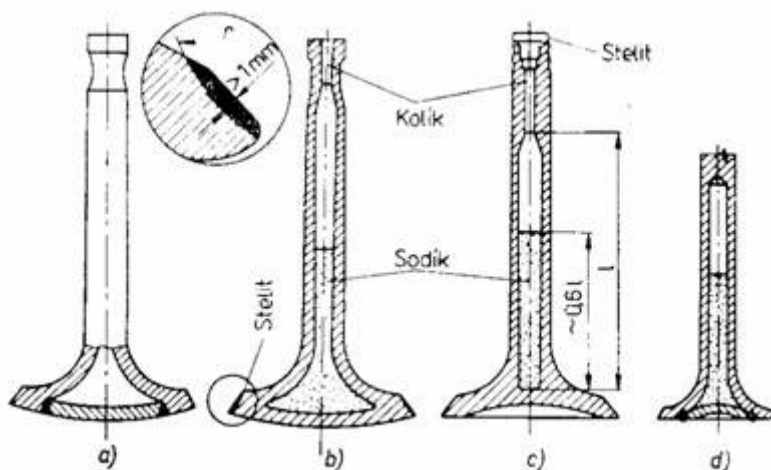


Obr. 2.2 Různá provedení ventilů a jejich hlav [5]: a – plochá hlava,  
b – tulipánová hlava, c – vyztužená hlava ventilu, d – vypuklá hlava,  
e – ventil plně chlazený sodíkem, f – částečně chlazený ventil

Dřík ventilu zajišťuje otevírání a zavírání ventilu, jeho dalším důležitým úkolem je odvádění tepla z talíře ventilu prostřednictvím svého vedení. Dřík musí být odolný proti opotřebení a také proti zadírání ve vedení, z tohoto důvodu bývá často potažen vrstvou chromu. Vůle mezi dříkem ventilu a jeho vedením bývá nejčastěji 0,06 až 0,12 mm, je důležitá pro zabránění zadírání dříku ventilu vlivem roztažení při jeho zahřátí. Dříky opatřené pochromováním mohou mít vůli i menší. Větší vůle ve vedení ventilu má za následek zhoršený přenos a odvod tepla a tím negativně ovlivňuje životnost ventilu. Dřík ventilu také slouží pro uchycení opěrných talířků ventilových pružin, u rozvodu OHV se pro tento účel používá většinou dvojdielný kuželový klínek, který zapadne do vybrání v dříku. U rozvodu typu OHC se používá také toto řešení, případně talířek opatřený závitem, který může zároveň sloužit pro nastavení ventilové vůle.

Na materiál pro výrobu ventilů jsou kladeny velké nároky, musí mít dostatečnou pevnost i tvrdost při vysokých teplotách, zároveň musí dobře odolávat korozivním účinkům zplodin vznikajících při spalování. Pro více tepelně namáhané výfukové ventily se používá nejčastěji austenitická ocel, která dobře snáší vysoké teploty. Další možností používanou při

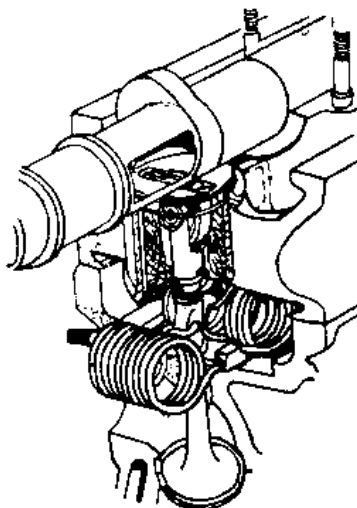
výrobě ventilů více tepelně zatížených motorů je vnitřní chlazení ventilů pomocí sodíku. Dutina v dříku a hlavě ventilu je asi z 60 % vyplněna sodíkem, který se po zahřátí ventilu roztaví a při otevírání a zavírání ventilu se vlivem setrvačnosti pohybuje vůči dutině. Tím odvádí teplo z hlavy ventilu do dříku a dále přes vodítko ventilu do hlavy válce motoru.



Obr. 2.3 Ventily s vnitřním chlazením pomocí sodíku [5]

### 2.2.2. Ventilové pružiny

Ventilová pružina slouží k vracení otevřeného ventilu zpět do ventilového sedla a jeho přitlačování v sedle v uzavřeném stavu. Tím zabezpečuje utěsnění spalovacího prostoru a také v průběhu sání zabraňuje vtažení výfukového ventilu do válce. Další funkcí ventilové pružiny je udržování všech pohyblivých součástí rozvodového mechanismu ve stálém kontaktu v době, kdy toto nezabezpečuje působení vačky. Pohyb ventilu musí ve všech svých fázích kopírovat křivku vytvářenou povrchem vačky. Pokud tento požadavek není splněn a ventil od vačky odskakuje, vytváří tak v rozvodu další přidavné síly, které mají za následek zvýšené opotřebení styčných ploch součástí rozvodu a také negativně ovlivňují výměnu obsahu válce.

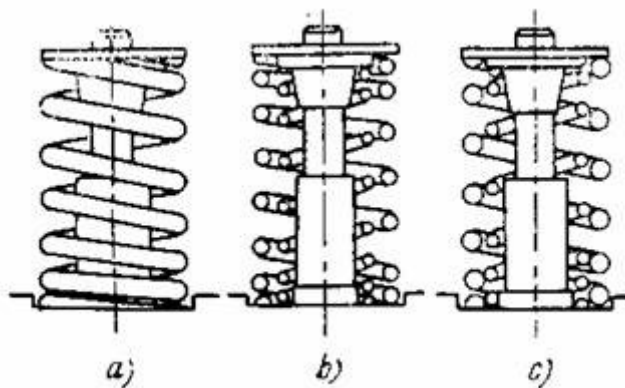


Obr. 2.4 Použití vlásenkové pružiny a zdvihátka s kladkou u rozvodu OHC [5]

Ventilová pružina má několik základních typů, jedním z nich je pružina vlásenková, která je méně náročná na prostor a také umožňuje použití ventilů s kratším dřikem. Pro použití v moderních motorech však vzhledem k velkým setrvačným silám a vysokým otáčkám tyto pružiny nevyhovují. Dalším typem ventilové pružiny může být torzní tyčka, která také umožňuje zkrátit dřík ventilu, její použití ve víceválcových motorech je však také nevýhodné. Nejvíce používaným typem je vinutá ventilová pružina s válcovým tvarem. Tato pružina má několik činných závitů a na koncích závity dosedací, které jsou zabroušeny do roviny, aby pružina byla opřena o podložku po celém obvodu. Často se používají dvě pružiny rozdílných průměrů se sousedním uspořádáním pro každý ventil, takové řešení jednak dovoluje použití pružin menších rozměrů, a také zvyšuje bezpečnost provozu, protože v případě prasknutí jedné pružiny druhá zabrání spadnutí ventilu do válce, nedojde tedy k tomu, aby se ventil dostal do kontaktu s pístem.

Tlačná síla pružiny je určena podle hmotnosti součástí rozvodového ústrojí, které bude ovládat, a maximálního zrychlení a zpomalení. Pružina musí být po celou dobu stlačena o určitou minimální hodnotu, zároveň však nesmějí jednotlivé závity dosednout na sebe při maximálním stlačení.

Na výrobu ventilových pružin se používá speciální pružinová ocel, která obsahuje mangan, křemík a chrom. Vyrábějí se navíjením za studena, následně se opracují jejich dosedací plochy a poté se pružiny tepelně zpracovávají.



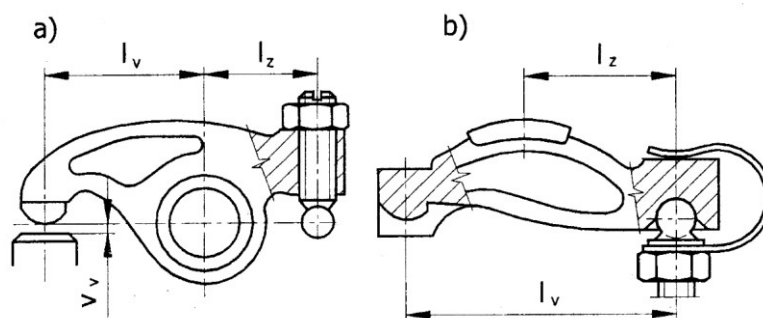
Obr. 2.5 Nejčastější provedení ventilových pružin [5]: a – pružina s proměnným stoupáním závitů, b – klasické dvoupružinové provedení, c – dvoupružinové provedení s minimální vůlí mezi vnější a vnitřní pružinou

### 2.2.3. Ventilová vahadla

Ventilová vahadla slouží k přenosu a násobení zdvihu z rozvodové tyčky na ventil v případě rozvodu typu OHV, u některých uspořádání rozvodu typu OHC přenášejí pohyb přímo z vačky na ventil. Vahadla se také dají použít u víceventilových rozvodů za účelem snížení potřebného počtu vačkových hřídelů.

Používají se dva základní typy ventilových vahadel. Nejrozšířenějším je dvouramenné vahadlo, které bývá uloženo pomocí kluzného ložiska na neotočném čepu, který může být dutý, což umožňuje jednoduchý přívod mazacího oleje. Tento čep musí být dostatečně tuhý, aby neovlivňoval křivku pohybu ventilu. Jedno rameno vahadla je v tomto provedení opřené o dřík ventilu, druhé rameno bývá opatřeno šroubem k nastavení ventilové vůle s kulovou dosedací plochou, na kterou působí rozvodová tyčka. Jednoramenné vahadlo bývá jedním koncem opřené o kulovou opěrnou plochu, která také může být upravena pro nastavení ventilové vůle. Druhý konec vahadla přenáší pohyb vačky působící na jeho vrchní část přímo na dřík ventilu.

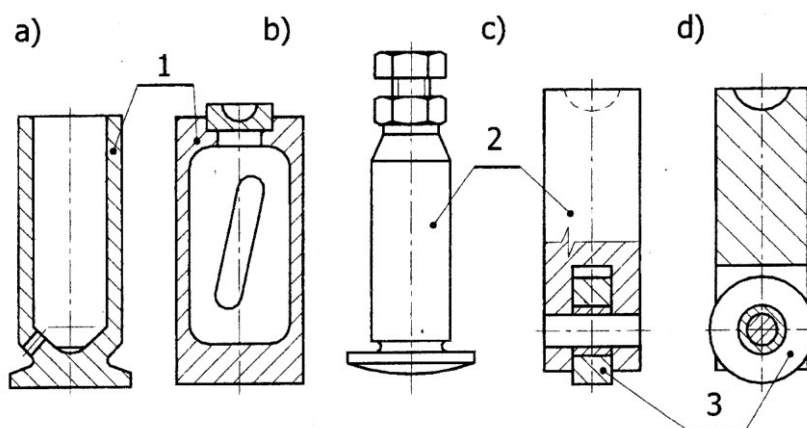
Na výrobu ventilových vahadel se používá uhlíková nebo legovaná ocel. Vahadla se vyrábějí zápusťkovým kováním nebo často také jako výlisek z plechu. Všechny styčné plochy vahadel se povrchově kalí a brousí. Vahadla se také mohou vyrábět z lehkých slitin, musejí však být opatřena nalisovanými ocelovými koncovkami v oblasti styčných ploch.



Obr. 2.6 Základní provedení vahadel [4]: a – dvouramenné vahadlo, b – jednoramenné vahadlo,  $l_v$  – délka ramena vahadla na straně ventilu,  $l_z$  – délka ramena vahadla na straně zdvihátka,  $V_v$  – ventilová vůle

#### 2.2.4. Zdvihátka ventilů

Ventilová zdvihátka přenášejí pohyb vačky na ventilovou tyčku v případě rozvodu OHV, nebo přímo na ventil, například u rozvodů typu DOHC. Zdvihátka můžeme rozdělit podle konstrukce základního tělesa na zdvihátka hrníčková, která mohou být otevřená nebo uzavřená, a na zdvihátka stopková. Podle tvaru styčné plochy zdvihátka s vačkou se dále rozdělují na plochá, která jsou nejrozšířenější, jednak z důvodu jednoduššího obrábění rovinné styčné plochy, umožňují také díky vzájemnému vyosení vačky a zdvihátka jeho pootáčení, a tím dosažení rovnoměrného opotřebení. Dalšími typy jsou zdvihátka sférická a zdvihátka s kladkou, která výrazně snižuje tření mezi vačkou a zdvihátkem.



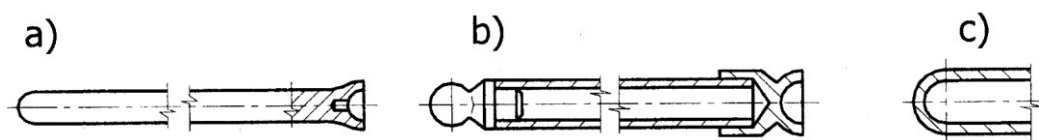
Obr. 2.7 Základní typy ventilových zdvihátek [4]: 1 – hrníčkové těleso zdvihátka, 2 – stopka, 3 – kladka

Všechny předchozí typy zdvihátek jsou pevné, dalším používaným typem zdvihátka je hydraulické zdvihátko, které kromě přenosu sil na ventily také slouží k vymezování ventilové vůle. Jejich nevýhodou je vyšší hmotnost a také neustálý styk s povrchem vačky, což způsobuje zvýšení třecích ztrát i v době zavřeného ventilu. Výhody spočívající v trvale správném nastavení ventilové vůle ovšem převažují.

Zdvihátka se nejčastěji vyrábějí odléváním z tvrze nebo šedé litiny s následným vytvrzením opěrné plochy, nebo také z oceli, v tomto případě je opěrná plocha cementována.

### 2.2.5. Rozvodové tyčky

Rozvodové tyčky se používají v případě větší osové vzdálenosti mezi vačkovým hřídelem a ventilovými vahadly, téměř výhradně u rozvodu OHV. Jejich úkolem je přenos pohybů od zdvihátka na vahadlo ventilu. Tyčka zvyšuje hmotnost, snižuje tuhost rozvodu, a zároveň ovlivňuje velikost setrvačných sil součástí rozvodu, proto by měla mít minimální hmotnost. Materiálem pro výrobu tělesa tyčky může být ocel nebo hliníková slitina, u tyček z lehkých slitin se používá válcování za studena pro zvýšení jejich pevnosti a tuhosti. Zakončení tyčky je realizováno kulovými dosedacími plochami vnějšími a vnitřními, záleží na konstrukci ostatních dílů rozvodového mechanismu. Hliníkové tyčky jsou na koncích opatřeny nalisovanými ocelovými koncovkami. Ventilové tyčky používané ve velkých motorech se z důvodu snížení jejich hmotnosti vyrábějí z dutého materiálu, tato dutina může být také využita pro přívod mazacího oleje ke styčným plochám na koncích tyčky.



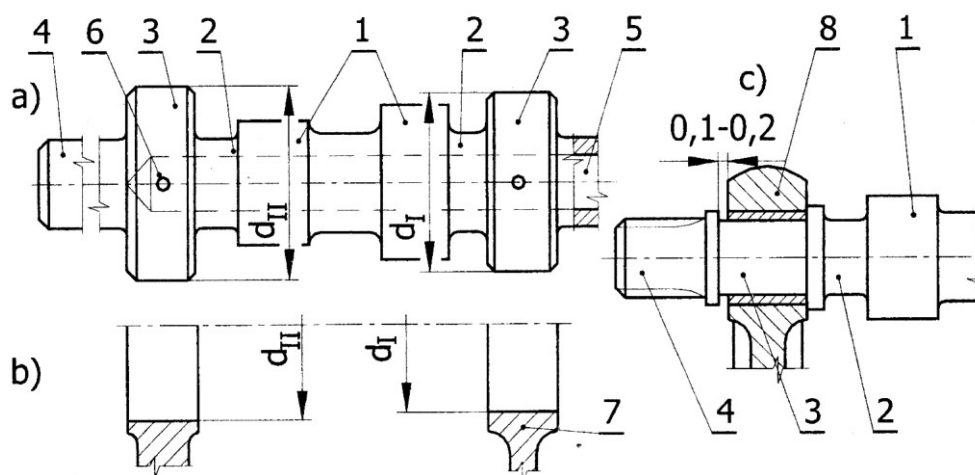
Obr. 2.8 Různá provedení rozvodových tyček [4]: a – plná tyčka, b – trubková tyčka se zalisovanými koncovkami, c – ocelová trubková tyčka s lisovaným koncem



### 2.2.6. Vačkový hřídel

Vačkový hřídel slouží k přeměně otáčivého pohybu přeneseného od klikového hřídele na pohyb posuvný, který se dále přenáší na ventily. Součásti, které zajišťují tuto funkci, jsou vačky. Většinou přísluší jedna vačka jednomu ventilu, případně dvěma ventilům se stejnou funkcí. Pro uložení hřídele v pevných částech motoru slouží čepy ložisek vačkového hřídele, průměry těchto čepů jsou odstupňovány, což umožňuje montáž hřídele do nedělených kluzných ložisek. Jeden konec vačkového hřídele je upraven takovým způsobem, aby na něj bylo možné upevnit ozubené kolo, pomocí kterého je poháněn. Z důvodu snížení hmotnosti bývá vačkový hřídel dutý, tato dutina také může sloužit k rozvodu oleje pro mazání ložisek a vaček. Vačkové hřídele se nejčastěji vyrábějí kování z tyčového polotovaru nebo odléváním a následným obráběním na přesný tvar. Pro použití ve velkých motorech mohou být hřídele skládané z několika dílů, spojených například pomocí příruby a šroubů.

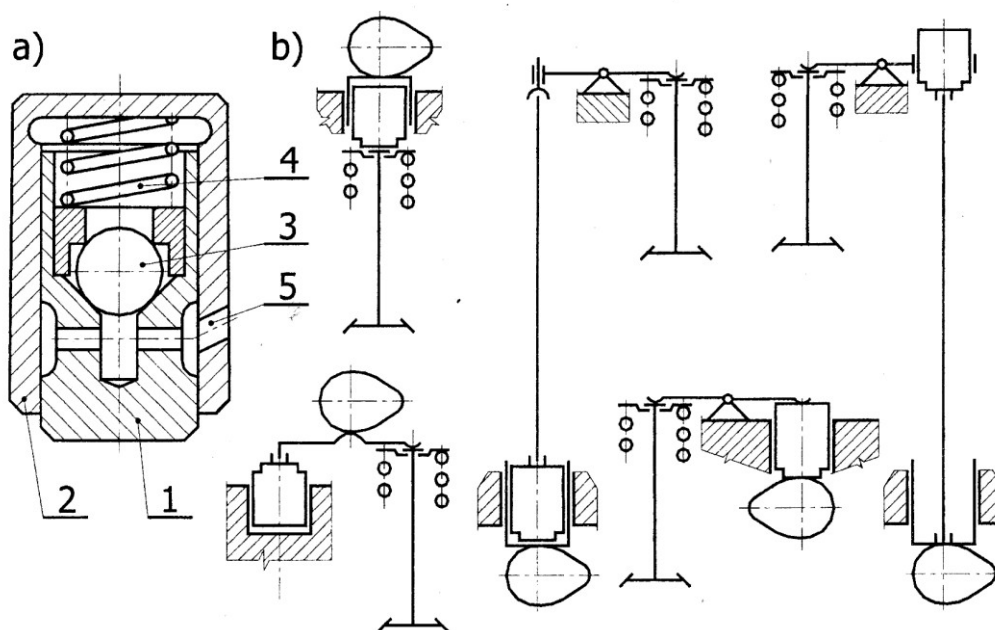
Počet a umístění jednotlivých vaček na hřídeli je závislé na počtu válců motoru, ventilů a také na pořadí zapalování. Vačky jsou různě tvarované, jejich tvar se odvíjí podle požadavků na průběh zdvihu ventilů, hodnotu jejich maximálního otevření, rychlost otevírání a zavírání a dobu otevření. Podle jejich geometrie rozeznáváme vačky tangenciální, harmonické, s dutým bokem a speciální, které jsou přizpůsobeny přesným požadavkům na zrychlení a zdvih ventilů.



Obr. 2.9 Vačkový hřídel a jeho uložení [4]: 1 – vačky, 2 – spojovací úseky, 3 – čepy ložisek, 4 – konec vačkového hřídele, 5 – dutina, 6 – mazací otvor, 7 – kliková skříň, 8 – víko děleného ložiska vačkového hřídele

### 2.3. Přídavná zařízení rozvodu

Jedním z důležitých přídavných zařízení používaných v rozvodových mechanismech je zařízení pro nastavení ventilové vůle. Tato vůle je důležitá hlavně u rozvodů typu OHV, kde je kvůli většímu počtu navazujících mechanických součástí rozvodu vyšší vliv tepelné roztažnosti. Vlivem toho by při nedostatečné ventilové vůli mohlo dojít k nedosednutí ventilů do sedla. U rozvodu typu OHC nemusí být ventilová vůle nastavitelná, může být pevně dána při montáži. Namísto mechanických prvků pro nastavení ventilové vůle se v současnosti používají zařízení na hydraulickém principu, která zajišťují trvalý kontakt mezi součástmi rozvodu nezávisle na tepelné dilataci. Jeden typ takového zařízení je znázorněn na obr. 2.10. Hydraulické zdvihátko se v odlehčeném stavu tlakem pružiny rozpíná a tím vymezuje vůli, zároveň je naplňováno olejem z mazací soustavy motoru. Při zatížení se olejový prostor uzavře a prvek přenáší sílu pro otevření ventilu. Při tepelném roztahování částí rozvodu olej pomalu uniká, prvek se tím zkracuje a udržuje tak správně vymezenou ventilovou vůli.



Obr. 2.10 Prvek hydraulického vymezení vůle a jeho použití [4]: a – prvek vymezení vůle, b – možnosti jeho použití, 1 – těleso, 2 – plášť, 3 – kulička ventilu, 4 – expanzní pružina, 5 – přívod oleje

### 3. Jednotlivé druhy rozvodů

Podle umístění vačkového hřídele a ventilů je možné rozdělit rozvody na následující typy:

1. s vačkovým hřídelem v bloku motoru
  - a. SV (Side Valves) – ventily po straně válce,
  - b. OHV (Over Head Valves) – ventily v hlavě válce.
2. s vačkovým hřídelem nad hlavou válců:
  - a. OHC (Over Head Camshaft) – ventily v hlavě válce,
  - b. DOHC (Double Over Head Camshaft) – ventily v hlavě válce, 2 vačkové hřídele,
  - c. Desmodromický rozvod – nucené otevírání i zavírání ventilů (využívá se u vysokootáčkových motorů).

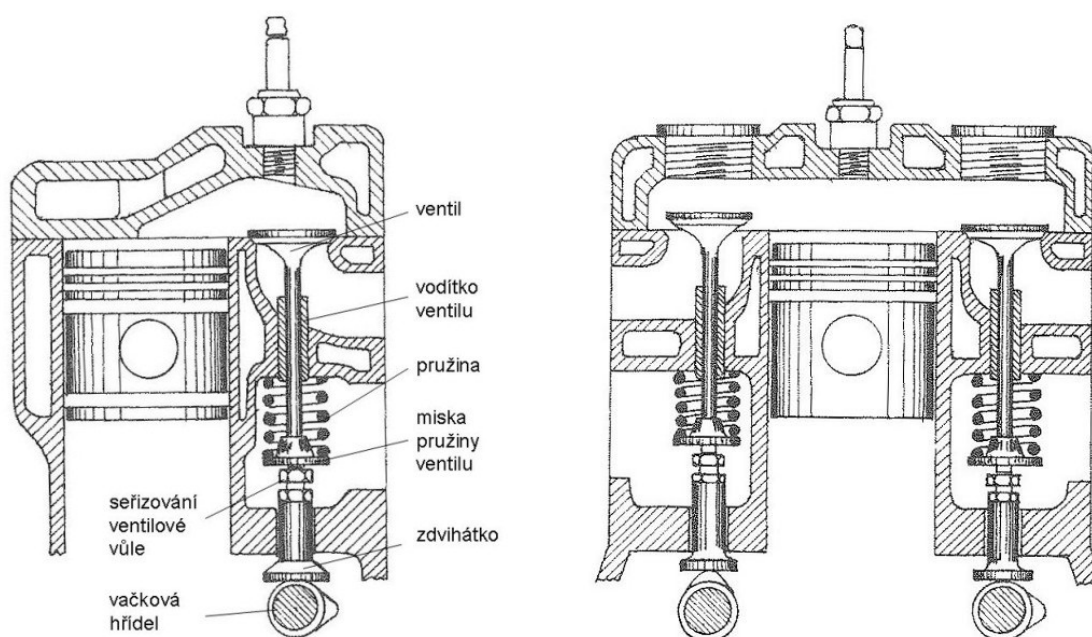
Konstrukce s vačkovým hřídelem uloženým v bloku motoru u klikového hřídele se používala především u starších typů rozvodových mechanismů. V případě rozvodu typu SV je problematické vytvořit spalovací prostor s vhodnými vlastnostmi. To je důvod, proč se dnes téměř nepoužívají. Pro motory modernějšího typu je vhodná konstrukce s vačkovým hřídelem uloženým nad hlavou válců.

#### 3.1. SV – Side Valves

Tento typ rozvodu má uspořádány ventily po stranách válce v bloku motoru. Ovládány jsou zespodu vačkovým hřídelem, který je umístěn také v bloku motoru. Ventily jsou otevírány a zavírány prostřednictvím zdvihátka, případně i rozvodové tyčky, od vačky. Šroub pro seřizování ventilové vůle je v tomto případě součástí zdvihátka. Tento typ rozvodového mechanismu se používal u starších typů motorů. Největší nevýhodou tohoto uspořádání je nutnost vytvořit spalovací prostor mimo válec, po jeho straně, tvar tohoto spalovacího prostoru je tak nevýhodný.

Další nevýhodou je, že tento rozvod neumožňuje dosažení dostatečného výkonu motoru v poměru ke zdvihovému objemu válce, nebo také například potřebného kompresního poměru pro vznětové motory. Z těchto důvodů se u současných motorů nepoužívá.

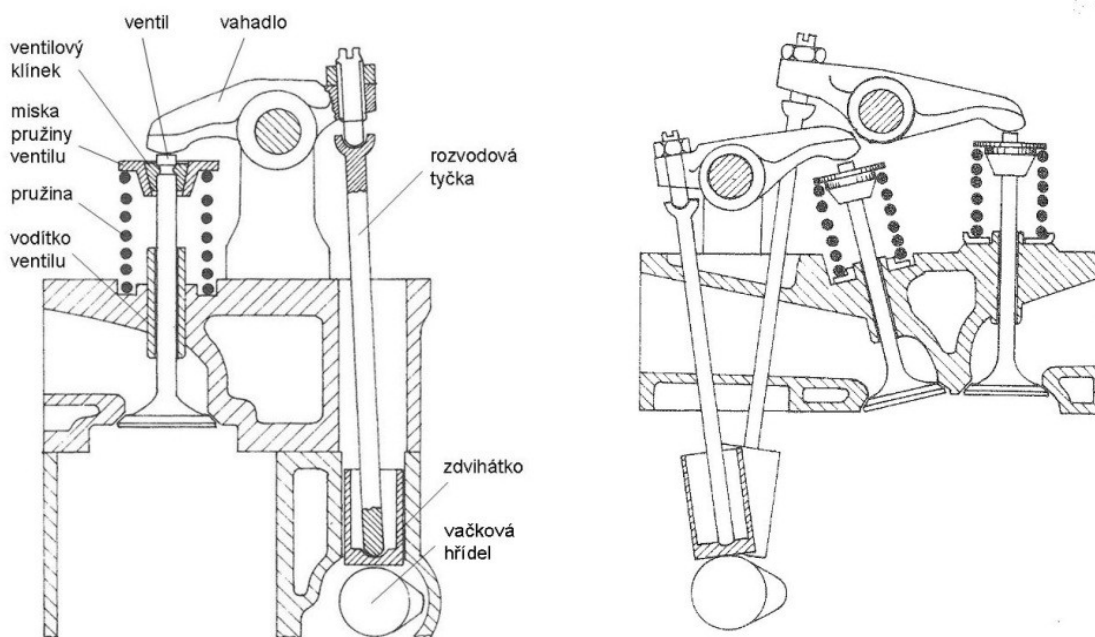
Výhodou tohoto rozvodu je však především jeho jednoduchost, s tím související nižší výrobní náklady a také nízká hmotnost. Další výhodou je i skutečnost, že se při poruše rozvodu ventily nemohou dostat do kontaktu s pístem. Tento rozvod také bývá označován jako rozvod spodový a jím vybavený motor jako motor s L-hlavou.



Obr. 3.1 Různá provedení rozvodu SV [6]

### 3.2. OHV – Over Head Valves

Tento typ konstrukce má ventily umístěné v hlavě válce a vačkový hřídel se nachází v bloku motoru. Spalovací prostor je na rozdíl od předchozího typu rozvodu vytvořen pouze nad pístem, což spolu s umístěním ventilů přispívá k jeho vhodnému tvaru a tím i k lepšímu spalování. Ovládání ventilu probíhá od vačkového hřídele v bloku motoru, přes zdvihátko a rozvodovou tyčku na ventilové vahadlo, které pohyb přenáší na dřík ventilu.



Obr. 3.2 Rozvod OHV [6]

Vačkový hřídel se u tohoto typu rozvodu nachází blíže klikovému hřídele, z toho důvodu je jeho pohon jednodušší, většinou je realizován ozubeným převodem, případně řetězem. Naopak je zde zvětšena vzdálenost mezi klikovým hřídelem a ventily, což zvyšuje počet potřebných součástí rozvodu. Tím vzrůstá hmotnost pohybujících se částí, jejich setrvačné síly a také pravděpodobnost poruchy. Rozvod OHV se z těchto důvodů také nehodí pro použití ve vysokootáčkových motorech, používá se hlavně u běžných motorů, které mají mít vysoký měrný výkon, menší hmotnost a rozměry.

Výhody tohoto uspořádání spočívají zejména v možnosti vytvoření optimálního spalovacího prostoru s vhodným tvarem. Další výhodou může být například také možnost použití většího počtu ventilů pro zlepšení spalování.

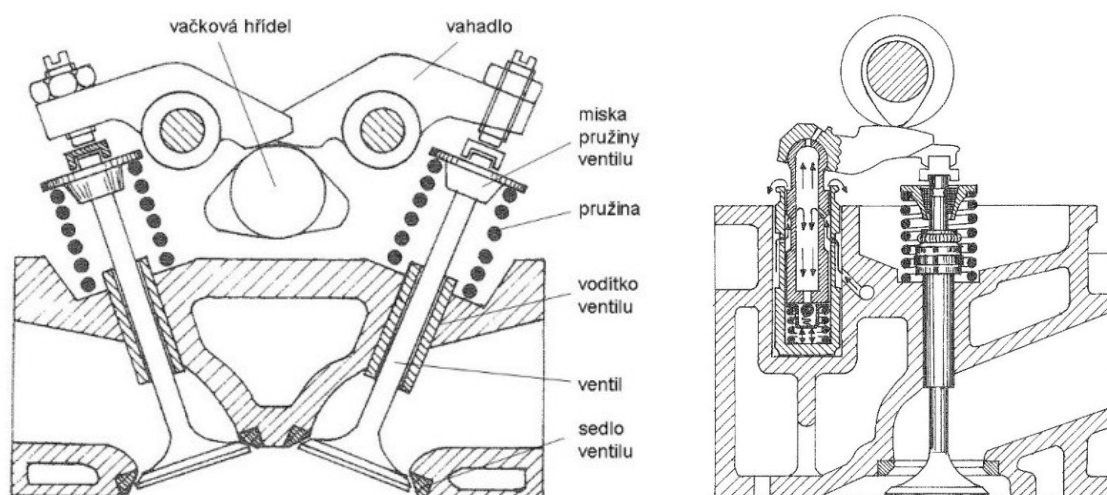
### 3.3. OHC – Over Head Camshaft

Někdy bývá označován také jako SOHC (Single OHC). Tento typ rozvodu má vačkový hřídel umístěn nad hlavou válců a ventily umístěné v hlavě válce motoru. Pohon

vačkového hřídele je stejně jako u předchozích typů rozvodů zajištěn od klikového hřídele, s tím rozdílem, že mezi hřídeli je větší vzdálenost, proto se k pohonu používá většinou ozubený řemen, případně řetěz. Použití převodu ozubenými koly je zde méně časté řešení.

Při nejjednodušším uspořádání tohoto typu rozvodu je použito jen vhodné zdvihátko, které přenáší pohyb z vačky přímo na dřík ventilu. Zavírání ventilů je stejně jako u předchozích typů rozvodových mechanismů zajištěno pomocí tlačné ventilové pružiny. Odstraněním rozvodových tyček a v tomto případě i vahadel se dosáhne menšího počtu pohybujících se částí, což zaručí tuhost, nižší hmotnost mechanismu a tedy i menší setrvačné síly. Také to umožňuje snížení hlučnosti, rychlejší a přesnější ovládání ventilů, což má příznivý vliv na výkon motoru, snížení spotřeby paliva a celkový chod motoru. Tento typ rozvodu také umožňuje vytvoření optimálního tvaru spalovacího prostoru, použití většího počtu ventilů a výhodné umístění zapalovací svíčky a vstřikovací trysky. Díky všem těmto výhodám je rozvod OHC v současnosti nejvíce využívaným typem rozvodu v konstrukci zážehových i vznětových motorů, atmosférických i přeplňovaných.

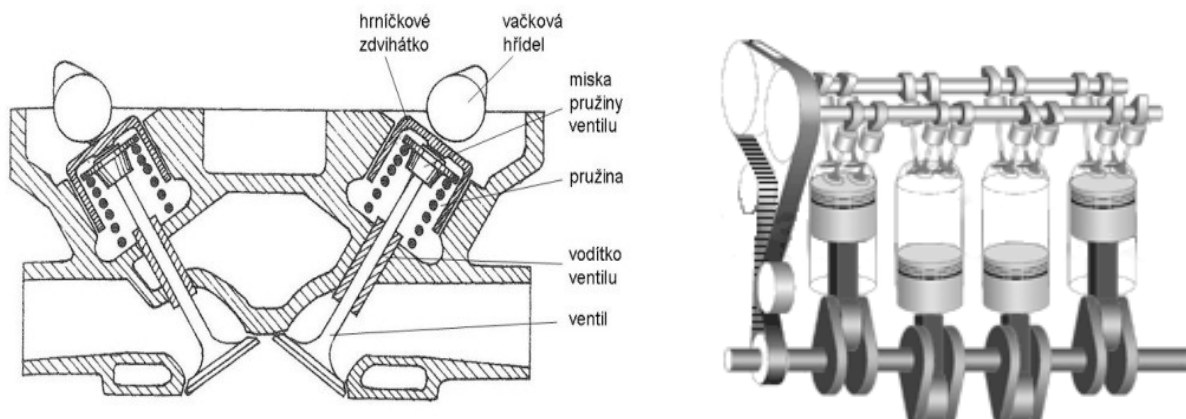
Nevýhodou tohoto typu rozvodu je však komplikovanější konstrukce hlavy válců. Za nevýhodu lze také považovat obtížnější přístup do prostoru hlavy válců např. při opravách z důvodu umístění vačkového hřídele nad hlavou válců.



Obr. 3.3 Rozvod OHC [6]

### 3.4. DOHC – Double Over Head Camshaft

Je používán převážně u čtyř a pěti-ventilového uspořádání rozvodového mechanismu, kde jeden vačkový hřídel ovládá 2 nebo 3 sací ventily a druhý vačkový hřídel je použit pro ovládání dvou výfukových ventilů. Jedná se tedy o konstrukční úpravu rozvodu OHC.

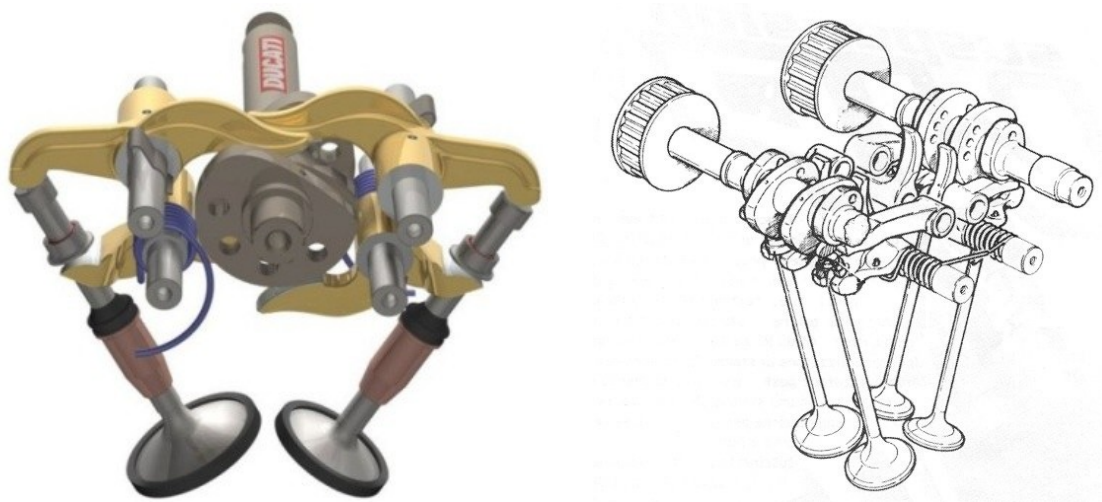


Obr. 3.4 Rozvod DOHC se dvěma vačkovými hřídeli [6]

### 3.5. Desmodromický rozvod

U výše popsaných rozvodů je vracení ventilu zpět do sedla zabezpečeno pouze ventilovou pružinou. Při jejich použití pro vysokootáčkové motory závodních automobilů nebo motocyklů mohou nastat problémy s tím, že pružina nestíhá ventil správně vracet. Dalším problémem pak je snížená životnost rozvodového mechanismu. Jedním z možných řešení je buď pneumatické ovládání ventilů nebo právě desmodromický rozvod, u kterého jsou použity dvě vačky pro každý ventil, jedna vačka slouží pro otevírání ventilu a druhá pro jeho nucené zavírání, což umožňuje další zvýšení otáček motoru.

Konstrukce tohoto typu rozvodu je však značně složitá, což spolu s technologickými problémy při výrobě nevedlo k jeho výraznějšímu rozšíření i mimo oblast závodních motorů.



Obr. 3.5 Desmodromický rozvod [6]

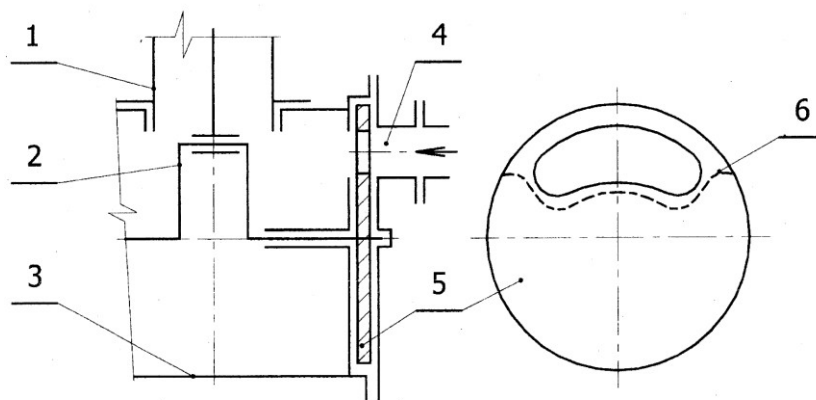
### 3.6. Šoupátkový rozvod

Výhodou šoupátkového rozvodu je možnost dosáhnout větších průtočných průřezů než v případě ventilového rozvodu. Dále je tímto rozvodem odstraněno velké tepelné namáhání výfukového ventilu. Další výhodou je nižší hlučnost. Jeho nevýhody však spočívají především v obtížném utěsnění vzájemně se pohybujících ploch a také v jejich mazání.

V závislosti na různých druzích pohybu šoupátka můžeme šoupátkové rozvody rozdělit na rozvody se šoupátky přímočaře posuvnými, rotujícími a přímočaře posuvnými a současně rotujícími. Princip šoupátkového rozvodu s rotujícím šoupátkem je následující: Základním prvkem je zde rotační šoupátko, které je umístěno nad hlavou válce. Šoupátko svým pohybem střídavě otevře spojení mezi sacím a výfukovým kanálem a pracovním prostorem válce v závislosti na konkrétní části oběhu motoru.

Z důvodu převažujících nevýhod šoupátkového rozvodu se v současné době pro plnění válců spalovacích motorů nepoužívá, ale např. ploché rotační šoupátko může být použito u dvoudobých motorů pro řízení přívodu směsi do klikové skříně.



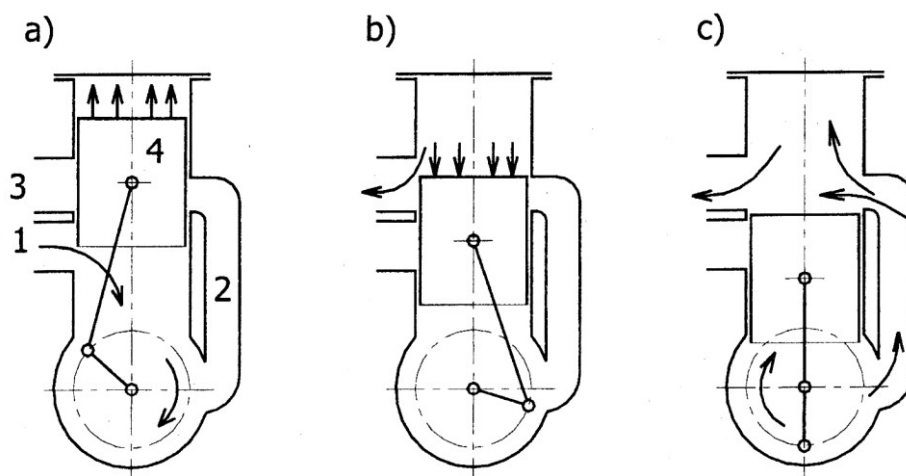


Obr. 3.6 Příklad použití rotačního plochého šoupátka [4]: 1 – válec, 2 – klikový hřídel, 3 – kliková skříň, 4 – sací kanál, 5 – rotační šoupátko

### 3.7. Kanálový rozvod

Tento typ rozvodu je konstrukčně velmi jednoduchý. Jedná se o řešení, kdy píst při svém pohybu mezi dolní a horní úvratí střídavě odkrývá a zakrývá sací, plnicí a výfukový kanál. Tím jsou vytvářeny průtočné průřezy pro přívod čerstvé směsi paliva se vzduchem do válce a pro odvod spalín. Ve fázi komprese je zároveň nasávána směs do prostoru pod pístem, po expanzi jsou spaliny vytlačovány z pracovního prostoru válce čerstvou směsí, která se plnicím kanálem dostává nad píst. Takovéto řešení je nejrozšířenější, proto se také tento typ rozvodu používá výhradně u dvoudobých motorů.

Mezi nevýhody kanálového rozvodu patří jeho symetričnost a také nemožnost jakéhokoliv seřizování časování, to je pevně dáno vlastní konstrukcí a umístěním jednotlivých kanálů. Protože při vyplachování spalín novou náplní jde tato náplň proti pohybu pístu, bývá tento způsob označován také jako pístový rozvod s protiproudým vyplachováním.



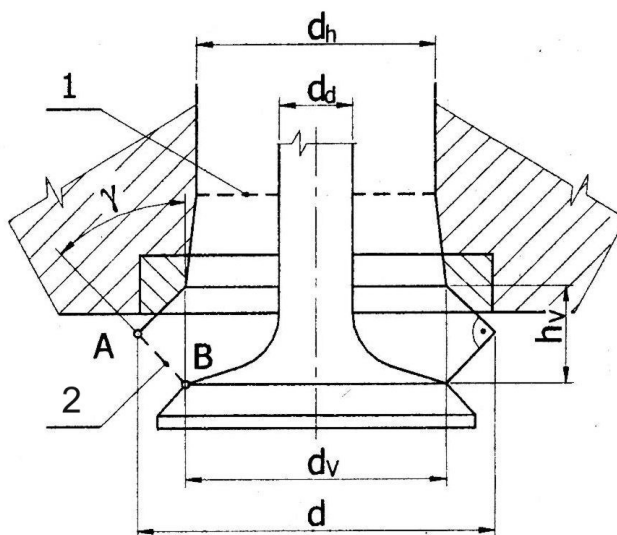
Obr. 3.7 Princip činnosti kanálového rozvodu [4]: a – komprese a sání,  
b – expanze a výfuk, c – výfuk, výplach a plnění, 1 – sací kanál,  
2 – plnicí kanál, 3 – výfukový kanál, 4 – píst

## 4. Realizace výpočtového programu

Tato kapitola je věnována vlastní realizaci a představení výpočtového programu, který byl vytvořen s využitím SW produktu MS Excel. Tento program obsahuje několik dále specifikovaných částí, z nichž každá slouží k výpočtu několika konkrétních parametrů jednotlivých částí rozvodového mechanismu, respektive k ověření těchto parametrů, potřebnému při navrhování např. rozměrů součástí rozvodového ústrojí.

### 4.1. Výpočet rychlosti proudění plynů v oblasti ventilu

První část programu je zaměřena na stanovení rychlostí proudění plynů, tedy jednak nasávaného vzduchu nebo jeho směsi s palivem do pracovního prostoru válce, následně také odváděných zplodin hoření z tohoto prostoru. Rychlost proudění plynů je zjišťována ve dvou důležitých místech v oblasti ventilů, tedy nejprve v hrdle sacího a výfukového kanálu, potom také ve ventilovém sedle.



Obr. 4.1 Průřezy a hlavní rozměry v oblasti ventilu [4]: 1 – mezikruží průtočného průřezu v hrdle kanálu, 2 – průtočná plocha v sedle ventilu,  $d_h$  – průměr hrdla kanálu,  $d_d$  – průměr dříku ventilu,  $d_v$  – průměr ventilu,  $h_v$  – zdvih ventilu,  $\gamma$  – úhel ventilového sedla

Jako první krok výpočtu je třeba určit objem plynů, které budou procházet uvedenými průřezy za jednotku času na základě plochy pístu  $S_p$  [ $m^2$ ], jeho střední rychlosti  $c_s$  [ $m \cdot s^{-1}$ ], a počtu stejnojmenných ventilů pro jeden válec  $i_v$ :

$$V = \frac{S_p \cdot c_s}{i_v} \quad [m^3 \cdot s^{-1}]$$

Dále stanovíme velikosti kontrolovaných průtočných ploch dle rozměrů na obr. 4.1, průtočná plocha v hrdle kanálu je:

$$S_h = \frac{\pi}{4} \cdot (d_h^2 - d_d^2) \quad [m^2]$$

Průtočnou plochu v sedle ventilu představuje plášť komolého kužele, který je tvořen rotací úsečky AB kolem osy ventilu, její velikost tedy určíme podle následujícího vztahu:

$$S_v = \pi \cdot \frac{d_v + d}{2} \cdot \overline{AB} \quad [m^2]$$

Pokud dosadíme zdvih ventilu a úhel ventilového sedla dle obr. 4.1, dostaneme:

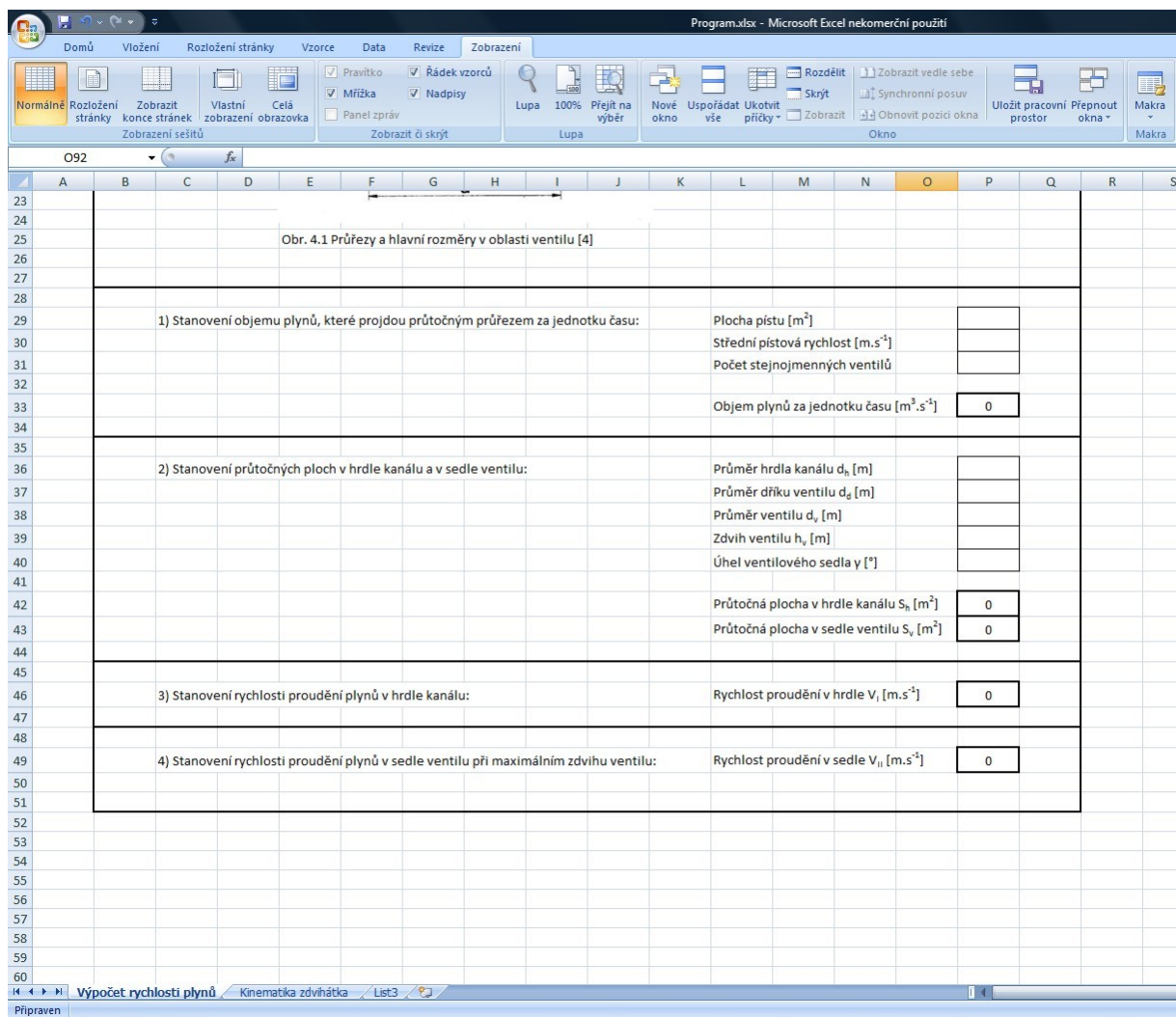
$$S_v = \pi \cdot h_v \cdot (d_v \cdot \cos \gamma + h_v \cdot \sin \gamma \cdot \cos^2 \gamma) \quad [m^2]$$

Rychlost proudění plynů v jednotlivých průřezech určíme jako podíl objemu plynu proudícího daným místem za jednotku času a plochy příslušného průtočného průřezu. Rychlost proudění v hrdle kanálu tedy bude:

$$v_I = \frac{V}{S_h} \quad [m \cdot s^{-1}]$$

Rychlost proudění v sedle ventilu při maximálním zdvihu ventilu potom bude:

$$v_{II} = \frac{V}{S_{v_{max}}} \quad [m \cdot s^{-1}]$$

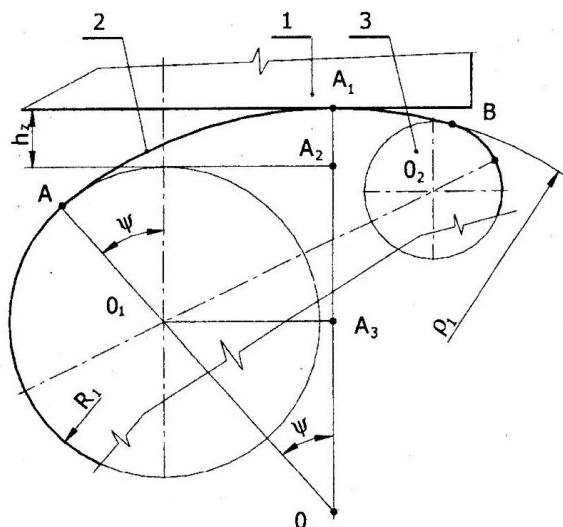


Obr. 4.2 Ukázka z programu pro výpočet rychlosti proudění plynů v oblasti ventilu

## 4.2. Výpočet kinematických veličin ventilového zdvihátka

Další část výpočtového programu je zaměřena na stanovení kinematických veličin, které popisují pohyb ventilového zdvihátka. V tomto případě se jedná o nejrozšířenější kombinaci těchto součástí rozvodového ústrojí, tedy o ploché zdvihátko ve spolupráci s harmonickou vačkou, jejíž bok je tvořen kruhovým obloukem. První část výpočtu vychází z obr. 4.3, kdy je zdvihátko v kontaktu s bokem vačky v bodě  $A_1$ . Zdvih zdvihátka v závislosti na úhlu otočení vačkového hřídele bude:

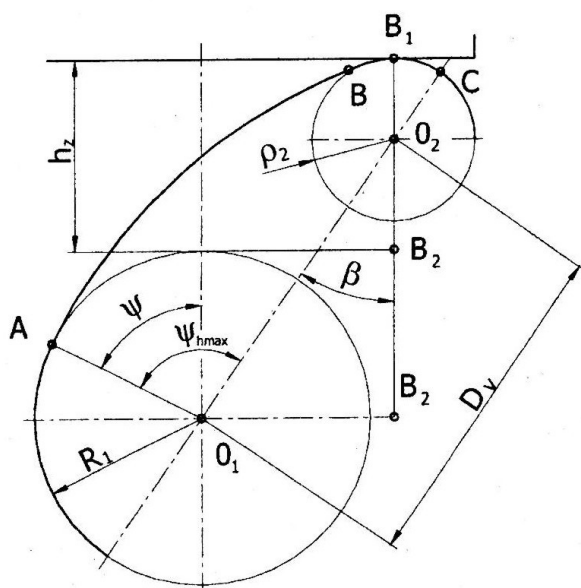
$$h_z = (\rho_1 - R_1) \cdot (1 - \cos \psi) \quad [m]$$



Obr. 4.3 Schéma boku harmonické vačky a plochého zdvihátka [4]: 1 – ploché zdvihátko, 2 – bok vačky, 3 – vrchol vačky,  $h_z$  – zdvih ventilového zdvihátka,  $\psi$  – úhel otočení vačkového hřídele,  $R_1$  – poloměr základní kružnice,  $\rho_1$  – poloměr boku vačky

Rychlost pohybu zdvihátka závisí na úhlové rychlosti otáčení vačkového hřídele  $\omega_{vh}$ , zrychlení je potom závislé na druhé mocnině této rychlosti podle následujících vztahů:

$$w_z = \omega_{vh} \cdot (\rho_1 - R_1) \cdot \sin \psi \quad [m \cdot s^{-1}]; \quad a_z = \omega_{vh}^2 \cdot (\rho_1 - R_1) \cdot \cos \psi \quad [m \cdot s^{-2}]$$



Obr. 4.4 Schéma vrcholu harmonické vačky a plochého zdvihátka [4]:  $h_z$  – zdvih ventilového zdvihátka,  $\psi$  – úhel otočení vačkového hřídele,  $\psi_{h \max}$  – úhel otočení VH při maximálním zdvihu zdvihátka,  $R_1$  – poloměr základní kružnice,  $\rho_2$  – poloměr vrcholové kružnice,  $D_v$  – parametr vačky

Druhá část výpočtu vychází z obr. 4.4 a představuje situaci, kdy je zdvihátko v kontaktu s vrcholem vačky v bodě B<sub>1</sub>, kinematické veličiny zdvihátka potom budou:

$$h_z = \rho_2 + D_v \cdot \cos \beta - R_1 \quad [m]$$

$$w_z = -\omega_{vh} \cdot D_v \cdot \sin \beta \quad [m \cdot s^{-1}]$$

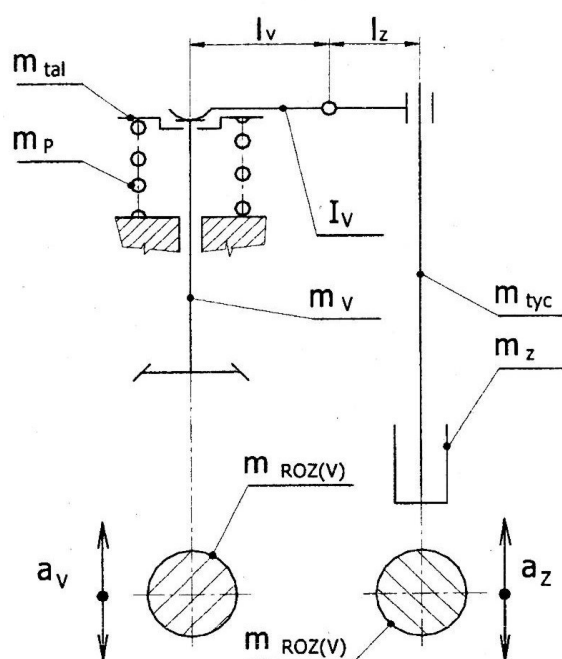
$$a_z = -\omega_{vh}^2 \cdot D_v \cdot \cos \beta \quad [m \cdot s^{-2}]$$

Obr. 4.3 Schéma boku harmonické vačky a plochého zdvihátka [4]		Obr. 4.4 Schéma vrcholu harmonické vačky a plochého zdvihátka [4]	
1 - ploché zdvihátko, 2 - bok vačky, 3 - vrchol vačky		$h_z$ - zdvih ventilového zdvihátka	
$h_z$ - zdvih ventilového zdvihátka		$\psi$ - úhel otočení vačkového hřídele	
$\psi$ - úhel otočení vačkového hřídele		$\psi_{h \max}$ - úhel otočení vačkového hřídele při max. zdvihu zdvihátka	
$R_1$ - poloměr základní kružnice		$R_1$ - poloměr základní kružnice	
$\rho_1$ - poloměr boku vačky		$\rho_2$ - poloměr vrcholové kružnice	
		$D_v$ - parametr vačky (vzdálenost středů kružnic $O_1O_2$ )	
1) Kinematické veličiny plochého zdvihátka na boku harmonické vačky:		Poloměr boku vačky $\rho_1$ [m]	
		Poloměr základní kružnice $R_1$ [m]	
		Úhel otočení vačkového hřídele $\psi$ [°]	
		Úhlová rychlost otáčení vačkového hřídele $\omega_{vh}$	
		Zdvih ventilového zdvihátka $h_z$ [m]	0
		Rychlost zdvihátka $w_z$ [m.s <sup>-1</sup> ]	0
		Zrychlení zdvihátka $a_z$ [m.s <sup>-2</sup> ]	0
2) Kinematické veličiny plochého zdvihátka na vrcholu harmonické vačky:		Poloměr vrcholové kružnice $\rho_2$ [m]	
		Parametr vačky $D_v$ [m]	
		Úhel otočení VH při max. zdvihu zdvihátka $\psi_{h \max}$ [°]	
		Úhel $\beta = \psi - \psi_{h \max}$ [°]	0
		Zdvih ventilového zdvihátka $h_z$ [m]	0
		Rychlost zdvihátka $w_z$ [m.s <sup>-1</sup> ]	0
		Zrychlení zdvihátka $a_z$ [m.s <sup>-2</sup> ]	0

Obr. 4.5 Ukázka z programu pro výpočet kinematických veličin ventilového zdvihátka

### 4.3. Výpočet setrvačných sil hmotnosti rozvodu

Tato část výpočtového programu je věnována stanovení setrvačných sil hmotnosti součástí rozvodového mechanismu. Pro jejich přesné určení je třeba stanovit tzv. redukované hmotnosti, neboli nahradit skutečné hmotnosti jednotlivých součástí hmotným bodem, na obr. 4.6 je příklad redukce hmotnosti do osy ventilu a do osy zdvihátka.



Obr. 4.6 Schéma pro redukci hmotností rozvodu [4]:  $l_v$  – délka ramena vahadla na straně ventilu,  $l_z$  – délka ramena vahadla na straně zdvihátka,  $m_{tal}$  – hmotnost talířku se zámkem,  $m_p$  – hmotnost ventilové pružiny,  $I_v$  – hmotný moment setrvačnosti vahadla k ose kývání,  $m_v$  – hmotnost ventilu,  $m_{tyc}$  – hmotnost rozvodové tyčky,  $m_z$  – hmotnost zdvihátka,  $a_v$  – zrychlení ventilu,  $a_z$  – zrychlení zdvihátka

Na základě obr. 4.6 stanovíme hmotnost redukovanou do osy ventilu  $m_{ROZ(v)}$  podle následujícího vztahu:

$$m_{ROZ(v)} = m_v + m_{tal} + \frac{1}{2} m_p + (m_{tyc} + m_z) \cdot \frac{l_z^2}{l_v^2} + \frac{I_v}{l_v^2} \quad [kg]$$



Hmotnost redukovaná do osy zdvihátka  $m_{ROZ(z)}$  potom bude:

$$m_{ROZ(z)} = m_{tyc} + m_z + \left( m_v + m_{tal} + \frac{1}{2} m_p \right) \cdot \frac{l_v^2}{l_z^2} + \frac{I_v}{l_z^2} \quad [kg]$$

Výpočet setrvačné síly hmotnosti rozvodu v ose ventilu  $F_{a(v)}$  a setrvačné síly hmotnosti rozvodu v ose zdvihátka  $F_{a(z)}$  pak bude realizován jako součin redukovaných hmotností v jednotlivých osách a příslušných zrychlení ventilu  $a_v$  [m.s<sup>-2</sup>], resp. zdvihátka  $a_z$  [m.s<sup>-2</sup>].

$$F_{a(v)} = m_{ROZ(v)} \cdot a_v \quad [N]$$

$$F_{a(z)} = m_{ROZ(z)} \cdot a_z \quad [N]$$

Obr. 4.6 Schéma pro redukcí hmotností rozvodu [4]

1) Stanovení redukovaných hmotností součástí rozvodu:	
Hmotnost ventilu $m_v$ [kg]	
Hmotnost talířku se zámkem $m_{tal}$ [kg]	
Hmotnost ventilové pružiny $m_p$ [kg]	
Hmotnost rozvodové tyčky $m_{tyc}$ [kg]	
Hmotnost zdvihátka $m_z$ [kg]	
Hmotný moment setrvačnosti vahadla $I_v$	
Délka ramena vahadla na straně ventilu $l_v$ [m]	
Délka ramena vahadla na straně zdvihátka $l_z$ [m]	
Hmotnost redukovaná do osy ventilu $m_{ROZ(v)}$ [kg]	0
Hmotnost redukovaná do osy zdvihátka $m_{ROZ(z)}$ [kg]	0

2) Stanovení setrvačných sil hmotnosti součástí rozvodu:	
Zrychlení ventilu $a_v$ [m.s <sup>-2</sup> ]	
Zrychlení zdvihátka $a_z$ [m.s <sup>-2</sup> ]	
Setrvačná síla v ose ventilu [N]	0
Setrvačná síla v ose zdvihátka [N]	0

Obr. 4.7 Ukázka z programu pro výpočet setrvačných sil hmotnosti rozvodu

#### 4.4. Výpočet parametrů ventilové pružiny

Tato část výpočtového programu je zaměřena na výpočet parametrů nejčastěji používaného typu ventilové pružiny, tedy válcové vinuté pružiny. První částí výpočtu je stanovení průměru drátu pružiny  $d$ . Tento průměr určíme na základě maximální síly pružiny  $F_{max}$ , která má být z hlediska bezpečnosti o 20 až 30 % větší než maximální setrvačná síla při zavírání ventilu. Dále zvolíme střední průměr pružiny  $D_s$  podle prostoru, který máme k dispozici. Také budeme potřebovat maximální napětí v krutu  $\tau$ . Vztah pro výpočet průměru drátu pružiny bude následující:

$$d = \sqrt[3]{\frac{8}{\pi} \cdot \frac{F_{max} \cdot D_s}{\tau}} \quad [m]$$

Následně takto vypočítaný průměr drátu zaokrouhlíme na nejbližší vyšší hodnotu dle normy a podle následujícího vztahu určíme skutečné maximální napětí v krutu  $\tau_{max}$ :

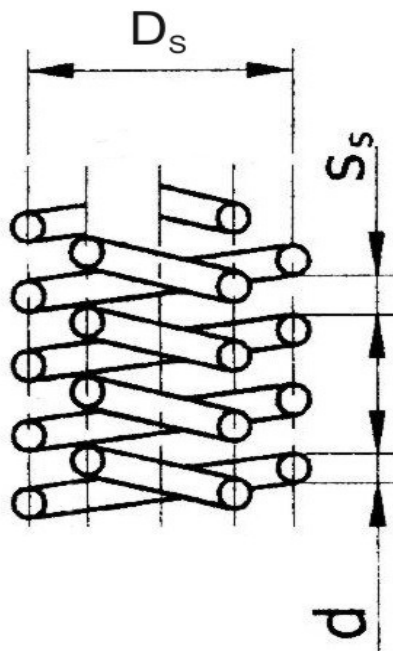
$$\tau_{max} = k \cdot \frac{8}{\pi} \cdot \frac{F_{max} \cdot D_s}{d^3} \quad [Pa]$$

Koeficient  $k$  vypočítáme podle vztahu:

$$k = 1 + \frac{5}{4} \cdot \frac{d}{D_s} + \frac{7}{8} \cdot \left(\frac{d}{D_s}\right)^2 + \left(\frac{d}{D_s}\right)^3$$

Dále na základě minimální síly pružiny  $F_{min}$ , která odpovídá síle předpětí pružiny, stanovíme minimální napětí v krutu  $\tau_{min}$ , jehož velikost je také důležitá z hlediska únavové pevnosti ventilové pružiny.

$$\tau_{min} = \tau_{max} \cdot \frac{F_{min}}{F_{max}} \quad [Pa]$$



Obr. 4.8 Válcová vinutá pružina a její hlavní rozměry [4]:  $D_s$  – střední průměr pružiny,  $d$  – průměr drátu pružiny,  $S_s$  – vůle mezi jednotlivými závitů pružiny

Následujícím krokem výpočtu je stanovení počtu závitů ventilové pružiny. K tomu nejprve potřebujeme určit celkové maximální stlačení pružiny  $f_{max}$  na základě následujícího vztahu, kde  $h_{vmax}$  [m] je maximální zdvih ventilu:

$$f_{max} = h_{vmax} \cdot \frac{F_{max}}{F_{max} - F_{min}} \quad [m]$$

Počet závitů pružiny  $i$  pak vypočítáme podle následujícího vztahu, kde  $G$  [Pa] je modul pružnosti ve smyku pro pružinovou ocel:

$$i = \frac{F_{max} \cdot G \cdot d^4}{8 \cdot D_s^3 \cdot F_{max}}$$

Takto získaný počet závitů následně zaokrouhlíme na polovinu závitu. Na oba konce pružiny se ještě přidají tři čtvrtiny závitu, případně celý závit, který slouží jako závěrný neboli dosedací závit. Délka závěrných závitů se volí tak, aby při pohledu na pružinu shora byly

konce závitů proti sobě, což má vliv na snížení jednostranné deformace ventilové pružiny způsobené závěrnými závity.

Posledním krokem výpočtu je ověření frekvence vlastních kmitů ventilové pružiny  $v_v$  podle následujícího vztahu:

$$v_v = 361,7 \cdot \frac{d}{i \cdot D_s^2} \text{ [Hz]}$$

Obr. 4.8 Válcová vinutá pružina a její hlavní rozměry [4]

1) Stanovení průměru drátu ventilové pružiny:	Maximální síla ventilové pružiny $F_{max}$ [N]	
	Střední průměr pružiny $D_s$ [m]	
	Maximální napětí v krutu $\tau$ [Pa]	
	Průměr drátu ventilové pružiny $d$ [m]	0
2) Stanovení skutečného maximálního napětí v krutu:	Průměr drátu $d$ po zaokrouhlení dle normy [m]	
	Opravný koeficient $k$	0
	Skutečné maximální napětí v krutu $\tau_{max}$ [Pa]	0
3) Stanovení minimálního napětí v krutu:	Minimální síla ventilové pružiny $F_{min}$ [N]	
	Minimální napětí v krutu $\tau_{min}$ [Pa]	0
4) Stanovení počtu závitů ventilové pružiny:	Maximální zdvih ventilu $h_{vmax}$ [m]	
	Modul pružnosti ve smyku $G$ [Pa]	
	Celkové maximální stlačení pružiny $f_{max}$ [m]	0
	Počet činných závitů pružiny $i$	0

Obr. 4.9 Ukázka z programu pro výpočet parametrů ventilové pružiny

## 5. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo jednak v její teoretické části shrnutí nejdůležitějších poznatků z oblasti rozvodových mechanismů spalovacích motorů. První tři kapitoly tedy obsahují především teoretický úvod do problematiky rozvodů včetně přehledu jejich základních konstrukčních součástí, z čehož následně vychází praktická část práce.

Hlavním cílem této práce však byla vlastní realizace výpočtového programu, jehož výstupy mohou být užitečné například při prvotním navrhování jednotlivých částí rozvodového mechanismu pro ověření jejich základních parametrů a zjištění, jestli odpovídají požadavkům. První část programu je např. věnována rozměrům průtočných ploch v oblasti ventilu a proudění plynů těmito místy, což je jeden ze základních parametrů kvality rozvodového ústrojí. V druhé části programu jsou počítány kinematické veličiny, které popisují pohyb ventilového zdvihátka, z čehož následně vychází také kinematika ventilu, která je v případě přímého ovládání ventilu vačkovým hřídelem u rozvodu OHC s hydraulickým vymezením ventilové vůle stejná, u ostatních typů rozvodů se liší z důvodu převodu na vahadle a ventilové vůle.

Další část programu se zabývá setrvačnými silami v rozvodovém mechanismu, jejichž znalost je důležitá zejména pro přesné časování otevírání a zavírání ventilů. Poslední část výpočtového programu je věnována návrhu a ověření parametrů ventilové pružiny, což je také velice důležité pro správnou funkci všech typů ventilových rozvodů.

Výpočtový program je umístěn na přiloženém CD, ukázky z jeho jednotlivých částí jsou však již prezentovány ve formě snímků obrazovky v předchozí kapitole.

## Použitá literatura

- [1] VLK, František: *Vozidlové spalovací motory*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2003. 580 s. ISBN 80-238-8756-4.
- [2] GSCHEIDLE, Rolf a kol: *Příručka pro automechanika*. 2. upravené vyd. Praha: Sobotáles, 2002. 640 s. ISBN 80-85920-83-2.
- [3] JAN, Zdeněk; ŽDÁNSKÝ, Bronislav: *Automobily: Motory (3)*. 5. vyd. Brno: Nakladatelství Avid, spol. s r. o., 2008. 179s.
- [4] TESAŘ, Miroslav; ŠEFČÍK, Ivo: *Konstrukce vozidlových spalovacích motorů*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. 172 s. ISBN 80-7194-550-1.
- [5] ČECH, Jiří. Teorie motoru. *Teorie motoru* [online]. 2004, č. 1 [cit. 2012-11-21]. Dostupné z: <http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=433>
- [6] Ventilové rozvody. *Ventilové rozvody* [online]. 2011 [cit. 2012-11-21]. Dostupné z: <http://www.autoznanosti.cz/index.php/motor/36-ventilove-rozvody-zakladni-rozdeleni.html>

## Seznam obrázků

Obr. 1.1 Ventilový rozvod.....	7
Obr. 1.2 Druhy pohonů rozvodového ústrojí .....	8
Obr. 2.1 Hlavní části a rozměry ventilu .....	10
Obr. 2.2 Různá provedení ventilů a jejich hlav .....	11
Obr. 2.3 Ventily s vnitřním chlazením pomocí sodíku .....	12
Obr. 2.4 Použití vlásenkové pružiny a zdvihátka s kladkou u rozvodu .....	13
Obr. 2.5 Nejčastější provedení ventilových pružin .....	14
Obr. 2.6 Základní provedení vahadel .....	15
Obr. 2.7 Základní typy ventilových zdvihátek .....	15
Obr. 2.8 Různá provedení rozvodových tyček .....	16
Obr. 2.9 Váčkový hřídel a jeho uložení .....	17
Obr. 2.10 Prvek hydraulického vymezení vůle a jeho použití .....	18
Obr. 3.1 Různá provedení rozvodu SV .....	20
Obr. 3.2 Rozvod OHV.....	21
Obr. 3.3 Rozvod OHC.....	22
Obr. 3.4 Rozvod DOHC se dvěma váčkovými hřídeli.....	23
Obr. 3.5 Desmodromický rozvod.....	24
Obr. 3.6 Příklad použití rotačního plochého šoupátka .....	25
Obr. 3.7 Princip činnosti kanálového rozvodu .....	26
Obr. 4.1 Průřezy a hlavní rozměry v oblasti ventilu .....	27
Obr. 4.2 Ukázka z programu pro výpočet rychlosti proudění plynů v oblasti ventilu .....	29
Obr. 4.3 Schéma boku harmonické vačky a plochého zdvihátka.....	30
Obr. 4.4 Schéma vrcholu harmonické vačky a plochého zdvihátka .....	30
Obr. 4.5 Ukázka z programu pro výpočet kinematických veličin ventilového zdvihátka .....	31
Obr. 4.6 Schéma pro redukci hmotností rozvodu.....	32
Obr. 4.7 Ukázka z programu pro výpočet setrvačných sil hmotnosti rozvodu .....	33
Obr. 4.8 Válcová vinutá pružina a její hlavní rozměry .....	35
Obr. 4.9 Ukázka z programu pro výpočet parametrů ventilové pružiny .....	36

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1 – Výpočtový program (CD ROM)