

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Proměnný ventilový rozvod spalovacího motoru

Autor: **Michal MAJER**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.**

Akademický rok 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal MAJER**
Osobní číslo: **S11B0176P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Proměnný ventilový rozvod spalovacího motoru**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Proveďte stručný přehled problematiky spalovacího motoru se zaměřením na jeho konstrukci a spalovací proces. Poznatky prezentujte přehledně prostřednictvím schémat, matematických vztahů, grafů a tabulek. Zdůvodněte význam proměnného ventilového rozvodu a proveďte rozdělení používaných systémů. Jeden systém popište podrobněji. Proveďte návrh konstrukčního řešení vybrané části.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Konstrukce spalovacího motoru s ventilovým rozvodem
2. Tvorba směsi, zapalování a spalovací proces
3. Zvyšování účinnosti a výkonu motoru
4. Proměnný ventilový rozvod spalovacího motoru
5. Návrh konstrukčního řešení vybrané části

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojího inženýra 1*. Brno: Computer Press, 1999

VLK, F. *Vozidlové spalovací motory*. Brno: nakl. Vlk, 2003

GSCHEIDLE A KOL. *Příručka pro automechaniky*. Praha: Europa Sobotáles, 2009

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.**

Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Jan Roubal


SPŠ dopravní a SOU dopravní

Datum zadání bakalářské práce: **23. září 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **27. června 2014**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 23. září 2013

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr bakalářského studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Doc. Ing. Ladislavu Němcovi, CSc. za cenné rady, podněty a připomínky v celém průběhu zpracování bakalářské práce.

Poděkování patří také mému konzultantovi panu Ing. Janu Roubalovi za trpělivost, cenné rady a především za ochotu a vstřícnost během zpracování bakalářské práce.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Majer	Jméno Michal
STUDIJNÍ OBOR	B2301R016 „Dopravní a manipulační technika“	
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulu) Doc. Ing. Němec, CSc.	Jméno Ladislav
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS	
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ
		Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Proměnný ventilový rozvod spalovacího motoru	

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	50	TEXTOVÁ ČÁST	42	GRAFICKÁ ČÁST	8
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Tato bakalářská práce se zabývá problematikou variabilního časování ventilů. Poskytuje stručný přehled používaných automobilových spalovacích motorů a dále se soustředí na systémy a komponenty související s časováním ventilů. Je zde podrobně popsána většina používaných systémů umožňujících měnit časování ventilů. Pomocí CAD systému byl vytvořen konstrukční návrh navazující na dosavadní používané řešení.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Ventilový rozvod, proměnné časování ventilů, variabilní ovládání ventilů, spalovací motor, spalovací proces, zvyšování účinnosti spalovacího motoru

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Majer	Name Michal
FIELD OF STUDY	B2301R016 “Transport and handling machinery“	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Němec, CSc.	Name Ladislav
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR
TITLE OF THE WORK	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Variable valve train system for combustion engine	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	50	TEXT PART	42	GRAPHICAL PART	8
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor thesis is focused on the issue of variable valve timing. It provides a basic overview of currently used combustion engines. Next it is focused on systems and components related to the valve timing. There is a detailed description of the most used system allowing to change the valve timing. It was created the design which follows known and used solution by one of the CAD system.
KEY WORDS	Valvetrain, variable valve timing, variable valve control, combustion engine, combustion process, increasing the efficiency of combustion engine

Obsah

Úvod.....	3
1 Konstrukce spalovacího motoru s ventilovým rozvodem.....	3
1.1 Definice spalovacího motoru.....	3
1.2 Rozdělení pístových spalovacích motorů.....	3
1.2.1 Rozdělení podle počtu taktů.....	4
1.2.2 Rozdělení podle způsobu zapálení směsi.....	6
1.2.3 Rozdělení podle uspořádání a počtu válců.....	7
1.2.4 Rozdělení podle způsobu plnění.....	8
1.3 Základní pojmy a základní parametry pístového spalovacího motoru.....	9
1.4 Hlavní části spalovacího motoru.....	10
1.5 Ventilové rozvody spalovacích motorů.....	12
2 Tvorba směsi, zapalování a spalovací proces.....	14
2.1 Systémy přípravy palivové směsi.....	14
2.1.1 Centrální vstřikování.....	15
2.1.2 Vícebodové vstřikování.....	15
2.1.3 Přímé vstřikování.....	16
2.2 Spalovací prostory.....	16
2.3 Složení směsi.....	18
2.4 Zapalování směsi.....	19
2.5 Teorie spalovacího procesu.....	19
2.5.1 Spalovací proces v zážehových motorech.....	20
2.5.2 Spalovací proces ve vznětových motorech.....	20
2.6 Tvorba škodlivin a jejich minimalizace.....	21
3 Zvyšování účinnosti a výkonu motoru.....	23
3.1 Problematika nízké účinnosti, hospodaření s energií.....	23
3.2 Sací systém motoru.....	24
3.3 Přepřehování.....	24
3.3.1 Dynamické přepřehování.....	24
3.3.2 Přepřehování turbodmychadlem.....	25
3.3.3 Mechanické přepřehování.....	26
3.4 Variabilní kompresní poměr.....	27
4 Proměnný ventilový rozvod spalovacího motoru.....	27
4.1 Proměnné časování ventilů.....	29

4.2	Variabilní ovládání ventilů	33
4.3	Zvláštní provedení ventilových rozvodů	35
4.4	Přestavovač vačkových hřídelů motoru VW 3,6 FSI	36
5	Návrh konstrukčního řešení vybrané části.....	38
5.1	Analýza problému.....	38
5.2	Specifikace požadavků	38
5.3	Popis konstrukčního řešení.....	39
	Seznam použité literatury	41
	Seznam příloh.....	42

Úvod

Cílem této bakalářské práce je zaměřit se na automobilové spalovací motory, s důrazem na časování ventilů. Postupným způsobem budou popisovány a vysvětlovány pojmy týkající se spalovacích motorů tak, aby bylo možné pochopit problematiku a výhody variabilního časování ventilů. V poslední kapitole pak pomocí zvoleného CAD systému bude navrženo možné konstrukční řešení systému umožňující měnit časování ventilů.

1 Konstrukce spalovacího motoru s ventilovým rozvodem

Všechny typy spalovacích motorů nacházejí uplatnění především v dopravních prostředcích, manipulačních a mechanizačních zařízeních. Takovými zařízeními se rozumí automobily, vozidla pro nákladní přepravu, lokomotivy, plavidla hladinová i ponorná, stavební nebo zemědělské stroje, vojenská vozidla, nouzové generátory proudu a další speciální stroje. Tato kapitola se stručně zabývá spalovacími motory se zaměřením na pístové, přibližuje jejich funkci a popisuje hlavní části především automobilových motorů. Jedná se o poměrně složitá zařízení, kde existuje mnoho patentů a konstrukčních řešení jednotlivých automobilek. Většina vyráběných automobilů ovšem využívá stejných principů. Tato kapitola se soustředí na ty aktuálně nejpoužívanější typy automobilových motorů, kterými jsou spalovací motory s ventilovým rozvodem. Na tyto poznatky bude navázáno v dalších kapitolách.

1.1 Definice spalovacího motoru

Spalovacím motorem se rozumí mechanický tepelný stroj, který za pomoci vnitřního nebo vnějšího spalování paliva přeměňuje jeho chemickou energii na energii tepelnou, která je dále transformována na mechanickou práci. K této transformaci dochází buď působením na píst, lopatky turbíny, nebo s využitím reakční síly. Z toho tedy vyplývá, že existuje několik základních typů spalovacích motorů, které se dělí právě podle působení vzniklých spalin. Jsou jimi spalovací motory pístové, lopatkové nebo tryskové. Lopatkové spalovací motory se často využívají jako plynové turbíny. Tryskové motory nejčastěji nacházejí využití v leteckém průmyslu. Pro účely této bakalářské práce se tato kapitola bude zabývat pouze pístovými spalovacími motory

Pístové spalovací motory tedy přeměňují chemickou energii paliva, čímž se rozumí nejčastěji směs vzduchu s naftou, benzínem nebo plynem (CNG, LPG), na mechanickou práci ve válci motoru. Při spalování směsi dochází k uvolnění energie, což způsobí nárůst tlaku a objemu plynu ve spalovacím prostoru. Tlak působí na píst, který je pohyblivě uložen ve válci. Pomocí klikového mechanismu je posuvný vratný pohyb pístu převeden na pohyb rotační.

1.2 Rozdělení pístových spalovacích motorů

Pístové spalovací motory jsou vyráběny ve velkém množství funkčních a konstrukčních provedení. Je tedy možné je dělit podle velkého množství hledisek. Ta nejdůležitější rozdělení budou v následujících odstavcích uvedena a podrobněji popsána. Je to

dělení podle počtu taktů, podle způsobu zapálení směsi související s druhem použitého paliva, podle způsobu plnění a podle počtu válců a jejich uspořádání.

Mimo jiné je ještě možná rešerše podle použití na motory stacionární, mobilní nebo ty pro silniční nebo kolejová vozidla, dále pro letecký nebo lodní průmysl. Další možností je podle rychlosti pohybu pístu ve válci a to na motory rychloběžné a pomaloběžné. Podle způsobu chlazení tj. chlazené vzduchem, které se dnes používají prakticky jen u motocyklů a na chlazené kapalinou, tzn. všechny automobilové motory.

1.2.1 Rozdělení podle počtu taktů

V dnešní době se do automobilů montují výhradně motory čtyřtaktní, nicméně zde si vysvětlíme princip jak čtyřtaktních, tak motorů dvoutaktních.

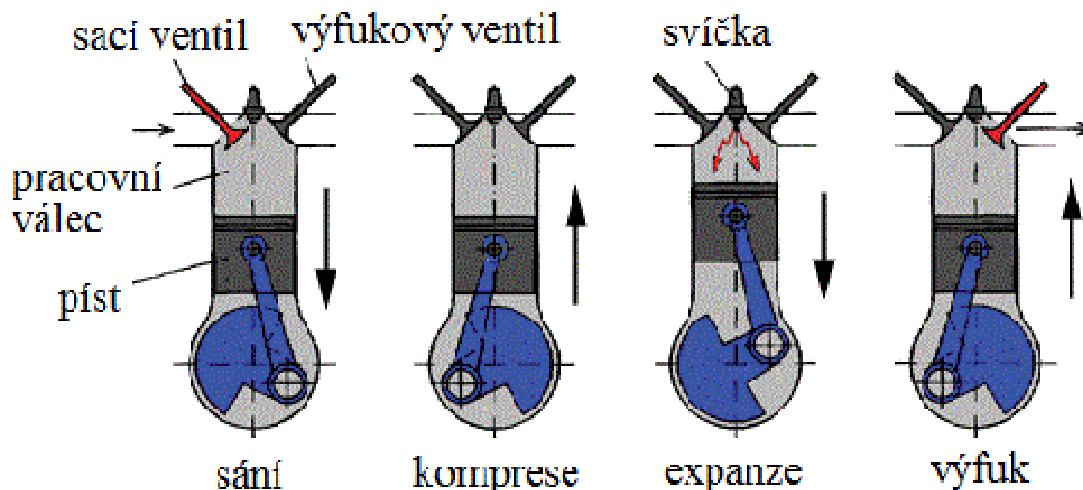
Hlavní rozdíl je to tom, jak už z názvu vyplývá, že motor čtyřtaktní vykoná jeden pracovní zdvih během čtyř zdvihů pístu. Zatímco dvoutaktní motor vykoná jeden zdvih pracovní během dvou zdvihů pístu. Ještě dodáme, že jedním zdvihem se rozumí pohyb pístu z horní úvrati do dolní úvrati, respektive naopak.

Princip činnosti čtyřtaktního motoru:

Ve čtyřtaktním spalovacím motoru kontinuálně probíhají čtyři pravidelně se opakující procesy. Jejich popis se zdá velmi statický, nicméně tomu tak není, ale pro pochopení principu čtyřtaktního motoru je takto primitivní popis dostačující. Reálnější průběh bude popsána v kapitole 1.2.2.

Při jednotlivých zdvizích pístu u motoru zážehového probíhají následující děje:

- Sání** směsi paliva se vzduchem. Toto se děje při pohybu z horní úvrati do dolní, čímž vzniká ve válci podtlak a ze sacího potrubí je nasávána zápalná směs prostřednictvím otevřeného sacího ventilu.
- Komprese** směsi, která se děje během pohybu pístu z dolní do horní úvrati. Sací i výfukové ventily jsou uzavřeny a ve válci roste tlak, přičemž i teplota.
- Expanze**. Ve chvíli kdy píst dosahuje horní úvrati, dojde k zapálení směsi pomocí svíčky. Směs obsažená ve válci se zapálí a rychle shoří, čímž se ještě zvýší teplota a vzroste tlak. Píst se tedy vlivem tlaku spalin pohybuje z horní do dolní úvrati. Tento zdvih je jako jediný zdvihem pracovním.
- Výfuk** probíhá při pohybu pístu z dolní do horní úvrati. V té době je otevřen výfukový ventil a spaliny odchází z válce do výfukového potrubí.



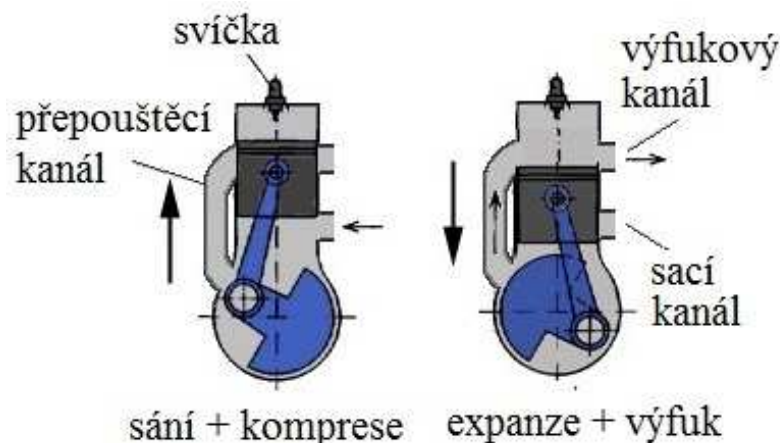
Obrázek 1.1 Čtyřtaktní zážehový motor [1]

Princip činnosti dvoutaktního motoru:

Ve dvoutaktním spalovacím motoru musí taktéž jako u čtyřtaktního motoru probíhat všechny čtyři pracovní cykly. Jelikož ale, jak již bylo řečeno, tento motor koná jeden pracovní zdvih na pouze dva zdvihy, musejí některé cykly probíhat současně.

Pro dvoutaktní motor je charakteristické to, že k činnosti se využívá prostor na obou stranách pístu. Při první době se pohybuje píst z dolní do horní úvratě. V prostoru klikové skříňe, která musí být řádně utěsněna, se zvětšuje objem a vzniká podtlak. V určitý okamžik, který je dán polohou pístu se otevře sací kanál a zápalná směs i s mazacím olejem, se vlivem zmíněného podtlaku nasává do pracovního prostoru pod válcem. Výfukový a přepouštěcí kanál jsou v tuto chvíli uzavřeny. Během tohoto děje současně ve spalovacím prostoru nad pístem dochází ke kompresi směsi nasáté v předchozím cyklu.

Když je píst v horní úvratě, dojde k zapálení směsi a následné expanzi. Píst je tlačěn směrem z horní úvratě do dolní a koná se práce. Pohybující se píst uzavře sací kanál a následně otevře výfukový kanál s přepouštěcím kanálem, přičemž dojde k výměně spalin, které výfukovým kanálem odcházejí pryč z válce, za směs čerstvou.



Obrázek 1.2 Dvoutaktní zážehový motor [1]

Porovnání těchto dvou typů motorů je velmi problematické a nelze jednoznačně jeden označit za dokonalejší. Záleží na tom, co od motoru očekáváme. Uvedeme si tedy alespoň výhody jednotlivých provedení. Mezi výhody čtyřtaktních spalovacích motorů patří jednoznačně vyšší účinnost a menší měrná spotřeba paliva. Dále menší tepelné namáhání motoru a snadnější možnost chlazení, nebo nižší hlučnost a nižší znečišťování životního prostředí a také menší spotřeba mazacího oleje.

U dvoutaktních spalovacích motorů je výhodou jednodušší a tím také lehčí konstrukce. Tento motor také bude mít vždy větší měrný výkon při stejném objemu pracovního prostoru a stejných otáčkách. Teoreticky by výkon měl být dvojnásobný, ale vzhledem k nedokonalému plnění a výplachu válce je to jen asi o 10%. Dále vykazuje rovnoměrnější chod při stejném počtu válců.

Dvoutaktní motor se vyplatí použít, pokud chceme dosáhnout s malým objemem válce rozumného výkonu, v současnosti se používají u motocyklů, i když i v tomto segmentu se často objevují motory čtyřtaktní a to především u větších kubatur. Naopak, se zvětšujícími se nároky na účinnost a výkonové charakteristiky je výhodnější použít motor čtyřtaktní. Proto se tato práce bude věnovat pouze spalovacím motorům čtyřtaktním.

1.2.2 Rozdělení podle způsobu zapálení směsi

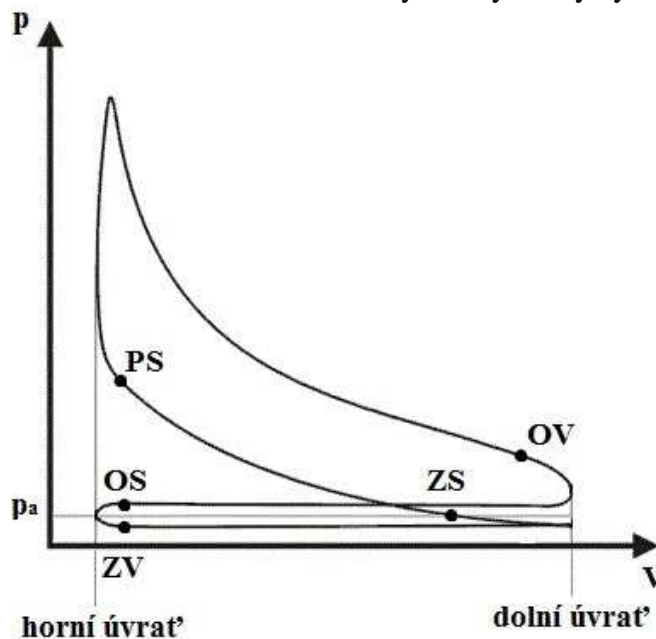
Podle způsobu zapálení směsi paliva se vzduchem rozeznáváme motory zážehové, které jako palivo využívají benzín, popřípadě dnes stále populárnější stlačený zemní plyn (CNG), nebo LPG a motory vznětové které využívají naftu. Vzhledem k tomu, že proměnné ventilové rozvody jsou v dnešní době rozšířeny u motorů zážehových, budeme se v dalších kapitolách věnovat pouze tomuto provedení. Nicméně nyní si podrobněji popíšeme princip obou variant.

Princip činnosti zážehového motoru:

Činnost čtyřtaktního motoru se skládá ze čtyř kontinuálně probíhajících dějů. Nyní si podrobněji popíšeme, jak tyto děje probíhají u zážehového motoru.

Při pohybu pístu z horní do dolní úvrati, kdy je otevřen sací ventil, vzniká podtlak a do válce proudí směs vzduchu s benzínem. Ve chvíli, kdy píst dosáhne dolní úvrati a začíná se pohybovat opačným směrem, se ještě sací ventil nezavírá a přes to, že již se píst pohybuje proti směru proudící směsi, je vlivem setrvačnosti proudících plynů válec stále naplňován. Sací ventil se tedy zavírá až za dolní úvrati a poté dochází, při pohybu pístu směrem k horní úvrati, ke kompresi nasáté směsi. Ve válci se zvyšuje tlak, orientačně až na 1,2 MPa a roste teplota až na 380 °C.

Ještě než píst dosáhne horní úvrati, dochází v místě, v p-V diagramu zvaném předstih, k zapálení směsi pomocí svíčky. Následnou chemickou reakcí se prudce zvýší teplota a potom tlak na 5-6 MPa. Teplota může dosahovat 2000 °C. Píst dosáhne horní úvrati a je spaliny tlačeny do dolní úvrati, koná se práce. V tuto chvíli jsou sací i výfukové ventily uzavřeny. Chvilí před dolní úvrati se otevírá výfukový ventil a spaliny, během pohybu pístu směrem k horní úvrati, odcházejí pryč z válce. Tlak ve válci se postupně sníží až na tlak atmosférický. Ještě než píst dosáhne horní úvrati, otevře se ventil sací. V tu chvíli jsou tedy otevřeny oba ventily. Tomuto okamžiku se říká stříhání ventilů a je rozhodující pro efektivní výměnu obsahu válce. Chvilí za horní úvrati se zavírá ventil výfukový a celý cyklus se opakuje.

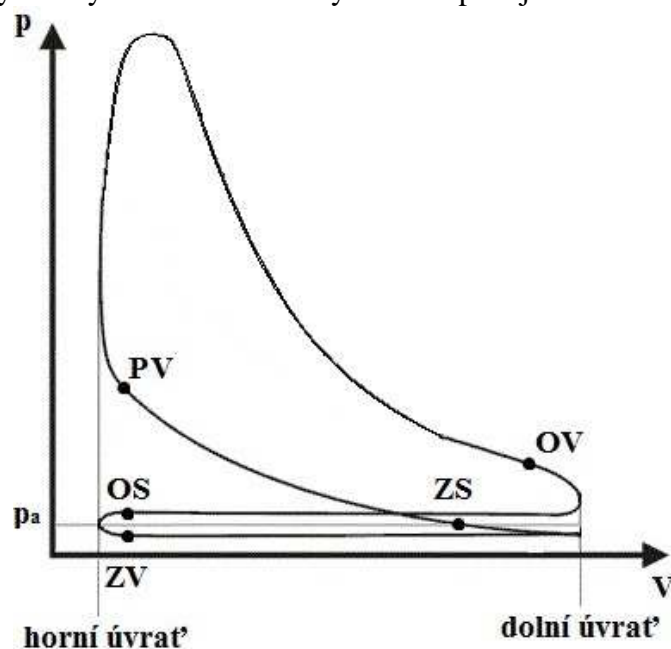


Obrázek 1.3 p-V diagram zážehového motoru
ZS-zavření sacího ventilu, OV-otevření výfukového ventilu, OS-
otevření sacího ventilu, ZV-zavření výfukového ventilu, PS-
předstih

Princip činnosti vznětového motoru:

Hlavním rozdílem oproti motorům zážehovým je kromě použitého paliva to, že do válce je vždy nasáván pouze vzduch a palivo je vstřikováno přímo do spalovacího prostoru.

Během pohybu pístu z horní úvrati do dolní, kdy je otevřen sací ventil, je do válce nasáván čistý vzduch. Po překonání dolní úvrati pístem se uzavírá sací ventil. Píst se pak pohybuje směrem k horní úvrati a dochází ke kompresi. Oba ventily jsou v tuto chvíli uzavřeny, proto dochází k nárůstu tlaku na 3-4 MPa, čímž se vzduch ve válci ohřívá na 600 – 800 °C. Ještě před dosažením horní úvrati, ve chvíli, nazývané v p-V diagramu předvstřík, dochází ke vstříknutí nafty do pracovního prostoru válce. Vstříkovací zařízení vstříkují palivo přímo do válce tlakem až 20 MPa. Palivo rozprášené ve válci vytvoří se vzduchem zápalnou směs a vlivem vysoké teploty dojde ke vznícení této směsi. Dochází k nárůstu tlaku na 7-8 MPa a teplota dosahuje až 2200 °C. Během expanze je píst tlačěn směrem k dolní úvrati a koná se práce. Před dosažením dolní úvrati se otevírá výfukový ventil. Tlak poté během pohybu pístu z dolní do horní úvrati klesá na atmosférický. Před dosažením horní úvrati se otevře sací ventil a během překonávání horní úvrati jsou opět otevřeny oba ventily současně. Za horní úvrati se výfukový ventil uzavírá a cyklus se opakuje.



Obrázek 1.4 p-V diagram vznětového motoru
ZS-zavření sacího ventilu, OV-otevření výfukového ventilu, OS-otevření sacího ventilu, ZV-zavření výfukového ventilu, PV-předvstřík

1.2.3 Rozdělení podle uspořádání a počtu válců

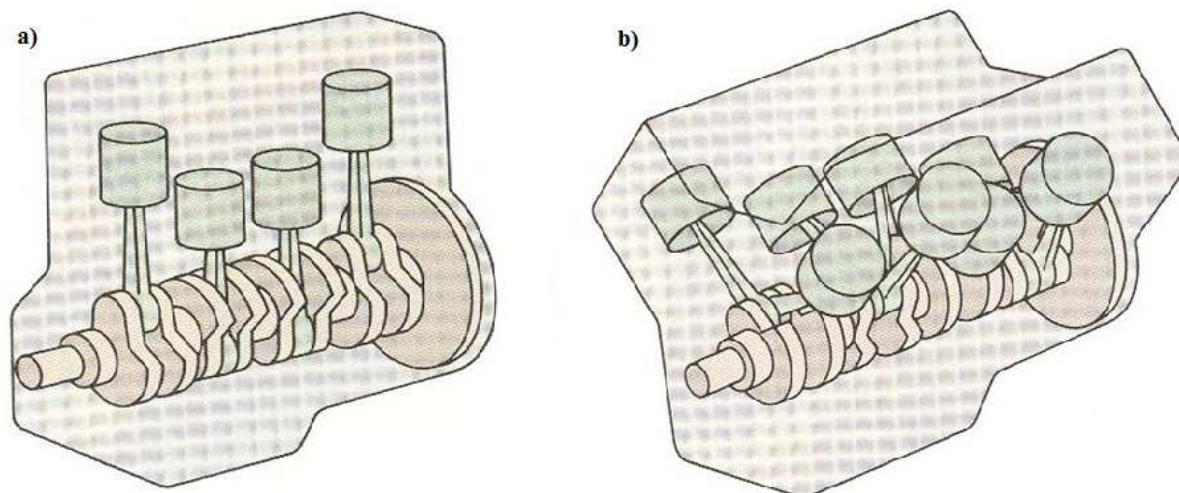
V posledních letech je velkým trendem tzv. downsizing, tedy snižování objemů motorů, s čímž jde ruku v ruce i snižování počtu válců a to při zachování nebo i zvyšování výkonu. Toho se dosahuje různými způsoby, jako je například přeplňování, nebo právě variabilní časování ventilů. Další výhodou tohoto trendu je snižování emisí a hmotnosti hnacího ústrojí, tedy i spotřeby paliva.

Podle počtu válců rozeznáváme v automobilech motory tříválcové, čtyřválcové nebo pětiválcové. Takovýto počet válců je zpravidla konstruován v řadě. Automobilky ale nabízejí i motory se šesti, osmi, deseti, dvanácti nebo i šestnácti válci.

Příkladem tříválcových motorů můžou být starší motory koncernu Volkswagen s označením 1,2 HTP, nebo modernější s označením 1,2 MPI. Mezi tříválcovými agregáty stojí za zmínku ještě motor 1,0 EcoBoost od společnosti Ford, který využívá právě variabilní časování ventilů a přeplňování turbodmychadlem. Čtyřválcové agregáty jsou asi těmi nejběžnějšími. Za zmínku jistě stojí dobře známé motory TSI od Volkswagenu, nebo výkonnější TFSI. Nejvyšší výkon ze čtyřválcového motoru o objemu dvou litrů nabízí Mercedes, je to přibližně 300 kW.

Motory s počtem válců větším než šest včetně se většinou konstruují ve dvou řadách s nakloněním o určitý úhel, tedy do tvaru písmene V, při použití šestnácti válců uspořádání připomíná tvar W. Zajímavým řešením je umístění válců ve dvou řadách, mezi nimiž je úhel 180 stupňů. Takové řešení se nazývá „boxer“ a dnes ho používají automobilky Subaru nebo Porsche. Toto uspořádání pomáhá snižovat těžiště a celkově zlepšuje vyvážení automobilu.

Motor může být uložen buď napříč, nebo podél. Pokud je podél, znamená to, že osa klikového hřídele je orientována ve směru jízdy.

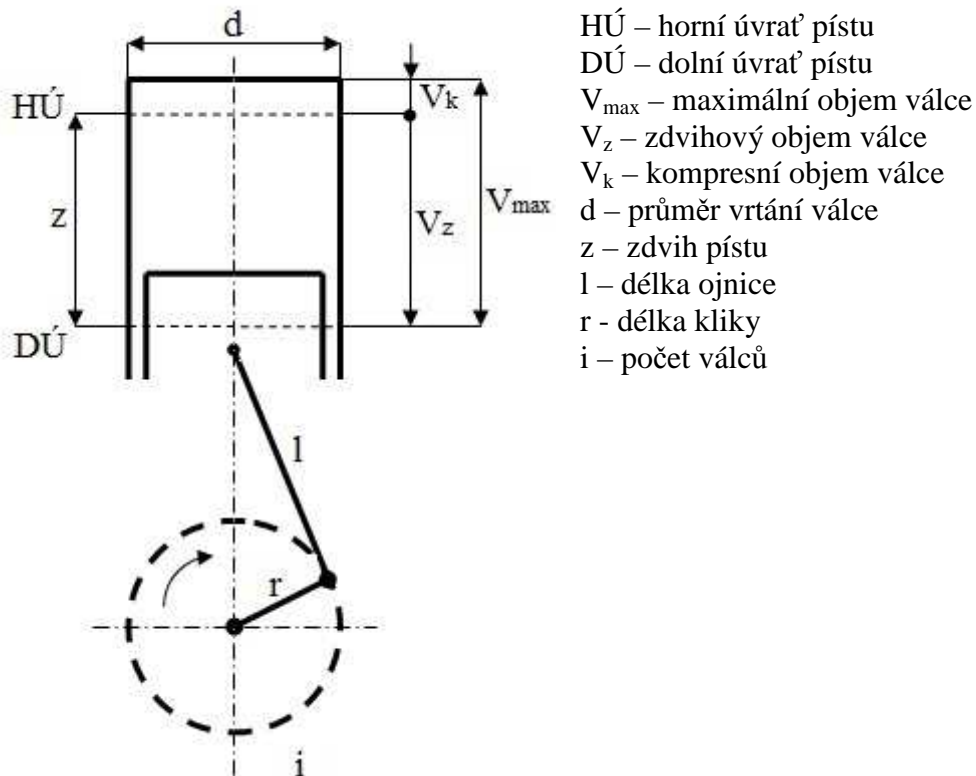


Obrázek 1.5 Schéma motoru a) čtyřválcový v řadě, b) osmiválcový do V [2]

1.2.4 Rozdělení podle způsobu plnění

Existují motory buď nepřepřňované, nebo motory přeplňované. Nepřepřňovaným motorům se také říká atmosférické a to proto, že to válce nasávají směs o atmosférickém tlaku. Výhodnější z hlediska dobrého plnění válců a tedy lepšího průběhu točivého momentu a vyššího výkonu, je využití přeplňování, to znamená, že do válce je nasávána směs, která má vyšší tlak než je atmosférický. K tomu se využívají turbodmychadla, nebo turbokompresory. Přeplňování je ovšem možné realizovat i jinými způsoby.

1.3 Základní pojmy a základní parametry pístového spalovacího motoru



Obrázek 1.6 Schéma pístového motoru

Zdvhový objem motoru:

$$V_z = \frac{\pi d^2}{4} \cdot z \cdot i$$

Zdvhový poměr motoru:

$$\xi = \frac{z}{d}$$

Zdvhový poměr motoru ovlivňuje otáčky motoru, střední pístovou rychlost a rozměry motoru. Větší hodnota zdvihového poměru snižuje tepelné ztráty, tepelné zatížení stěn a také namáhání klikového mechanismu. Dále také zvyšuje mechanickou účinnost. Jeho hodnota je u zážehových motorů 0,6 - 1,1. U vznětových je jeho hodnota 1,1 - 1,5.

Kompresní poměr:

$$\varepsilon = \frac{V_z + V_k}{V_k} = \frac{V_{max}}{V_k}$$

Kompresní poměr se u zážehových motorů pohybuje v rozmezí 8:1 – 13:1. Je ale omezen teplotou vznícení směsi (samovznícení a klepání motoru). U vznětových motorů kompresní poměr dosahuje hodnot 14:1 – 23:1. Se zvyšující se hodnotou kompresního poměru však dochází ke snižování účinnosti a zvýšenému namáhání dílů motoru.

Střední pístová rychlost:

Čas jednoho zdvihu:

$$t_z = \frac{n}{2} [\text{s}^{-1}]$$

Průměrná rychlost pístu:

$$C_s = \frac{z}{t_z} = 2 \cdot n \cdot z [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}].$$

Tato veličina slouží především k porovnávání motorů a ovlivňuje životnost motoru. Dále její růst zvyšuje hlučnost. Běžný automobil dosahuje při otáčkách 3000-5000 [min^{-1}] střední pístové rychlosti asi 14-15 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

Točivý moment, výkon a otáčky:

Spalováním směsi ve válci, nárůstem teploty a následnou expanzí plynů vzniká tlak, který působí na píst. Ten svým pohybem vytváří sílu, která působením na určitém rameni vytvoří točivý moment. Výkon je definován jako práce za jednotku času, z čehož plyne, že roste se zvyšujícími se otáčkami.

Mezi těmito veličinami platí následující vztah:

$$P = M_t \cdot \omega = M_t \cdot 2 \cdot \pi \cdot n [\text{W}]$$

Z toho plyne, že pokud chceme dosáhnout vysokého točivého momentu, bude potřeba vysokého výkonu a zároveň nízkých otáček.

1.4 Hlavní části spalovacího motoru

Pístové spalovací motory se skládají z dílů nebo zařízení, které přísluší do jedné z těchto tří skupin:

Nepohyblivé části:

Tyto díly společně tvoří základ pro uložení klikového mechanismu a rozvodového ústrojí. Hlavní nosnou částí je blok válců, ve kterém jsou umístěny válce a klikový mechanismus.

Blok motoru s hlavou válců je odlitek sloužící pro uložení vložených válců a klikového hřídele. U motorů SV a OHV obsahuje prostor pro vačkový mechanismus. V jeho stěnách jsou kanály pro chladicí kapalinu a přívod maziva. V hlavě bývají vytvořeny spalovací prostory, dále otvory pro chlazení a mazání. Jsou zde umístěny sací a výfukové kanály a prostor pro zapalovací



Víko hlavy válců s integrovaným modulem ventilových rozvodů



Hliníkový blok motoru a hlava válců



Olejová vana

Obrázek 1.7 Příklad provedení nepohyblivých částí motoru u agregátu 1,4 TSI s interním označením EA211 [4]

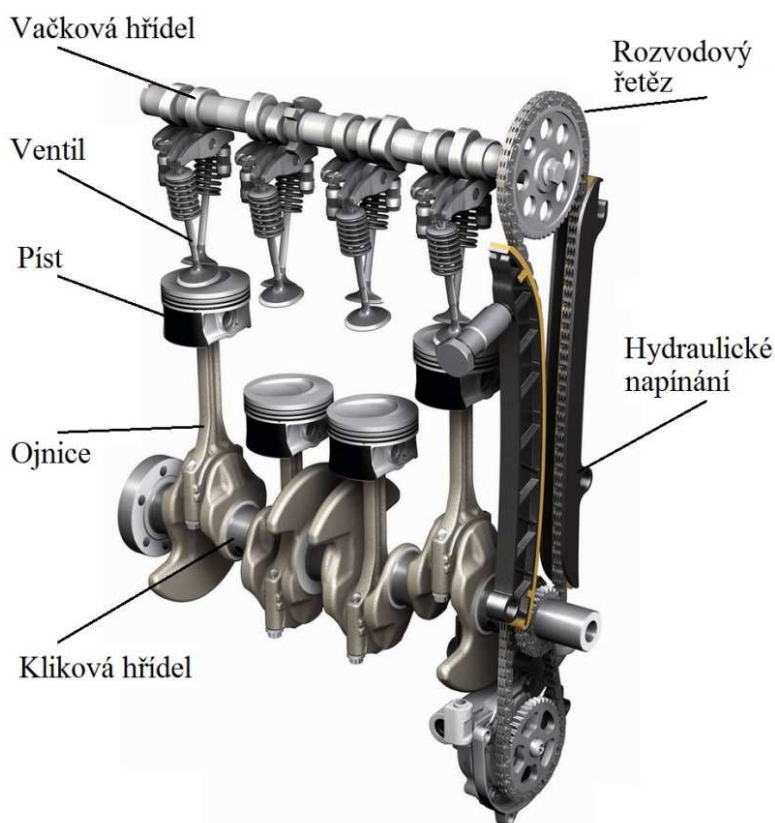
svíčky. U rozvodů OHC a DOHC musí ještě umožňovat uložení vačkového hřídele.

Víka motoru utěsňují klikovou skříň a bloky válců. Rozeznáváme přední a zadní víka, která utěsňují klikový hřídel a víka boční, která zpravidla zakrývají rozvodový mechanismus.

Olejová vana uzavírá část bloku motoru, která se nazývá kliková skříň. Slouží jako zásobník oleje nebo jako odvod oleje do jiného zásobníku.

Pohyblivé části:

Zahrnují především klikový mechanismus a rozvodové ústrojí. Klikový mechanismus přeměňuje přímočarý vratný pohyb pístu na rotační pohyb klikového hřídele a obsahuje následující součásti. **Píst** pohybující se ve válci, který je velmi namáhaný a musí odolávat vysokým teplotám. Těsněním mezi válcem a pístem jsou **pístní kroužky**. Ty mohou být buď stírací nebo těsnící. Pomocí dutého **pístního čepu** je píst otočně připojen k **ojnici**. Ta tedy spojuje píst s klikovým hřídelem. Ojnice se skládá z dřívku, hlavy pro klikový čep a oka pro pístní čep. **Klikový hřídel** je hřídel s několika zalomeními (podle počtu válců a uspořádání). Je na obou stranách klikové skříně utěsněn proti unikání oleje a proti vnikání nečistot. Skládá se z hlavních čepů, které slouží k jeho uložení v klikové skříni a z klikových čepů, na kterých jsou otočně připevněny ojnice. Jeho součástí bývá setrvačnická akumulující energii, která se využívá pro překonání nepracovních zdvihů.



Rozvodové ústrojí zajišťuje plynulou výměnu náplně válců zpravidla pomocí vačkového mechanismu a ventilů. Podrobněji se jím budeme zabývat v následující podkapitole.

Obrázek 1.8 Příklad provedení pohyblivých částí motoru u agregátu 1,2 TSI s interním označením EA211 [5]

Pomocná zařízení:

Mezi pomocná zařízení patří mazací a chladicí soustava, palivová soustava, zapalování a zařízení pro přípravu směsi a odvod spalin nebo zařízení pro spouštění motoru.

Mazání motoru zajišťuje vznik olejového filmu mezi třecími plochami, aby nedošlo k zvýšenému opotřebení nebo zadření. Nejčastěji se používá mazání tlakové, kdy olejové zubové čerpadlo čerpá olej ze zásobníku, většinou z klikové skříně a přivádí ho čističem oleje na potřebná místa, z nichž olej stéká zpět do zásobníku. Kromě funkce mazací má ještě olej další funkce, kterými jsou chlazení, odvádění nečistot nebo ochrana proti korozi. Důležitými parametry oleje při mazání jsou jeho teplota, která je ideálně 80°C, tlak, asi 0,4 MPa a jeho množství, které se kontroluje z motorového prostoru tyčovou měrkou.

Chlazení motoru slouží k odvádění přebytečného tepla z motoru, aby nedošlo k nadměrnému tepelnému namáhání. Chladí se především hlavy válců a samotné válce, protože ve válci je pro chod motoru nutné udržovat určitou teplotu.

U automobilových motorů se využívá kapalinové chlazení, které se skládá ze dvou okruhů. Proudění kapaliny zajišťuje čerpadlo. Po spuštění studeného motoru proudí kapalina pouze vnitřním okruhem, tedy dutinami v hlavě válců a bloku válců. Po potřebném zahřátí motoru se vnitřní okruh propojí s druhým okruhem, který přivádí kapalinu do chladiče. V chladiči se proudem vzduchu kapalině odebírá teplo. Pokud by proud vzduchu, který je závislý na pohybu vozidla, nestačil kapalinu dostatečně ochlazovat, v činnost se uvede prostřednictvím elektromotoru ještě ventilátor.

Palivová soustava zajišťuje přívod paliva z nádrže až to válce. V současnosti se používají vstřikovací zařízení. Důležitými součástmi jsou mimo jiné palivová nádrž, potrubí, dopravní čerpadlo, jemný a hrubý palivový čistič a vzduchový čistič.

Ke spuštění motorů v automobilech se používá elektrický spouštěč tzv. **startér**. Jedná se o sériový elektromotor s velkým točivým momentem, který je ovšem schopen pracovat krátkou dobu a odebírá velké množství proudu.

1.5 Ventilové rozvody spalovacích motorů

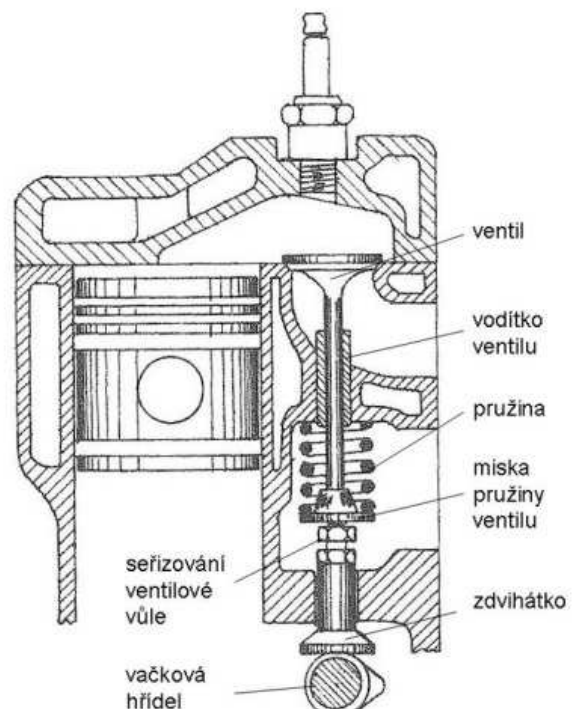
Ventilové rozvody zajišťují otevírání a zavírání sacích a výfukových ventilů, čímž umožňují kvalitní plnění a výplach pracovního prostoru válce. Rozvodové ústrojí je poháněno z klikového hřídele a to prostřednictvím ozubených kol, častěji však řemenem nebo řetězem. Důležitou součástí je vačkový hřídel, který je hnaný právě zmíněnými prvky. Podle umístění ventilů nebo vačkového hřídele rozeznáváme několik typů ventilových rozvodů.

Side valves (SV):

Jak název napovídá, ventily jsou umístěny v bloku motoru a ze spodu jsou ovládány vačkovým hřídelem. V automobilovém průmyslu se již nepoužívají pro naprosto nevyhovující tvar spalovacího prostoru a dále nemožnost změny kompresního poměru. Výhodou je, že při poruše rozvodů nedojde ke kolizi ventilů s pístem, dále je to třeba nižší hmotnost a jednodušší výroba, nebo snadnější přenos točivého momentu z klikového hřídele na vačkový. Provedení může být s ventily po jedné straně válce tak jak je znázorněno na obrázku 1.9, nebo může být ventil z obou stran válce.

Over head valves (OHV):

Při tomto konstrukčním řešení jsou v hlavě válců umístěny ventily, ale vačkový hřídel je uložen v bloku motoru. Výhodou je tedy snadnější přenos točivého momentu z klikového hřídele na hřídel vačkový, nebo možnost vhodně tvarovat spalovací prostor válce. Mechanický přenos pohybu mezi vačkou a ventilem je



Obrázek 1.9 Uspořádání SV rozvodu [6]

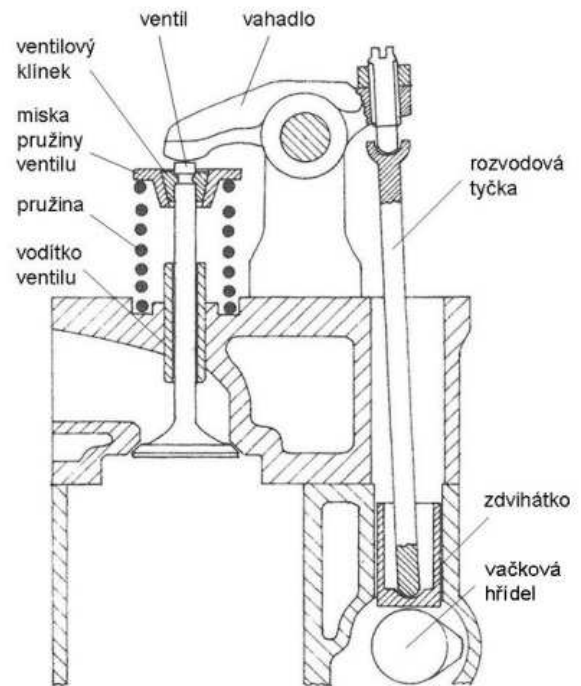
realizován pomocí vahadla, zdvihací tyčky a zdvihátka. Tento přenos ovšem negativně ovlivňuje tuhost mechanismu. Proto se tento princip dnes v automobilech téměř nepoužívá.

Over head camshaft (OHC)

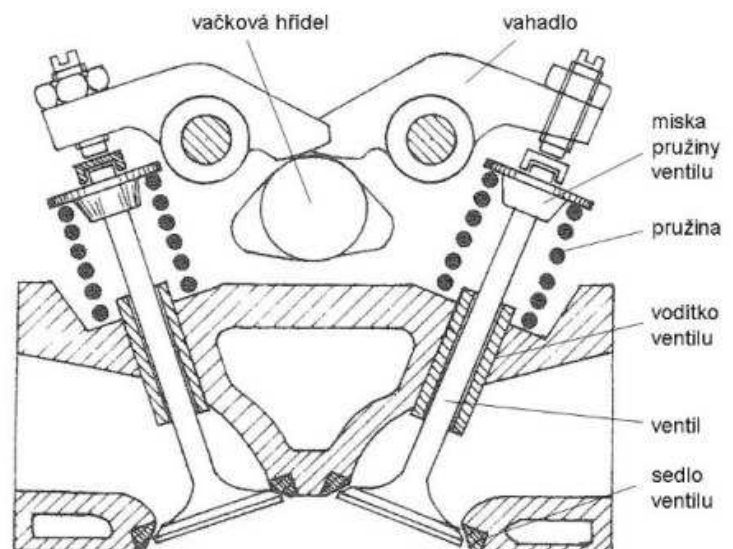
Vačkový hřídel, i ventily jsou umístěny v hlavě válců. Protože je použit jeden vačkový hřídel, někdy bývá také označován SOHC (single over head camshaft). Je zde potřeba přenést točivý moment z klikového hřídele na hřídel vačkový. To se provádí nejčastěji ozubeným řemenem nebo řetězem přičemž nesmí dojít k přeskočení zubů. To by způsobilo změnu časování a pokles výkonu, v horším případě kolizi ventilů s pístem. Pokud to konstrukční řešení umožňuje, může se použít zdvihátko přiložené přímo na vačku. Sníží se tak hmotnost pohybujících se částí. Pokud je například použita čtyřventilová technika, je nutné použít vahadla, tak jak je znázorněno na obrázku 1.10.

Double over head camshaft (DOHC):

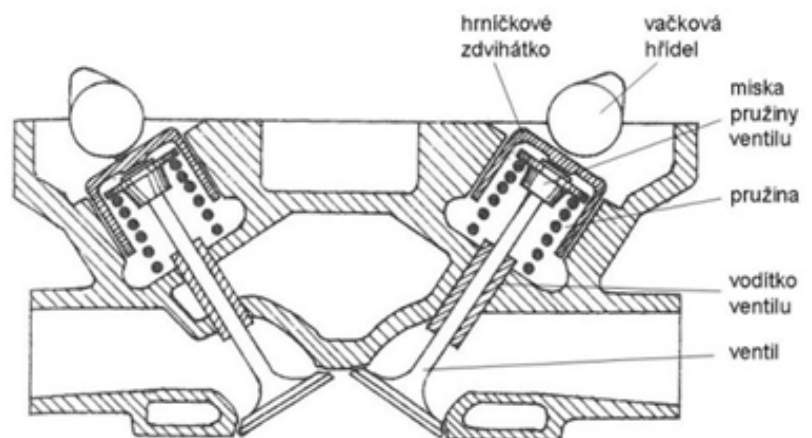
Z hlediska variabilního časování ventilů je toto konstrukční řešení tím nejzajímavějším a v posledních letech je v osobních automobilech také tím nejpoužívanějším. Ventily a dva vačkové hřídele jsou umístěny v hlavě válců. Jde vlastně o modifikaci systému OHC. Opět je potřeba použít rozvodový ozubený řemen nebo rozvodový řetěz. Tento princip nemusí obsahovat vahadla ani při užití čtyř nebo pěti ventilů na válec.



Obrázek 1.10 Uspořádání OHV [6]



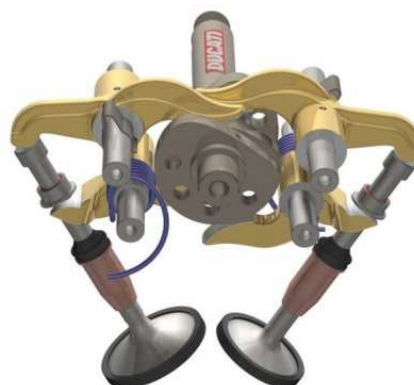
Obrázek 1.11 Uspořádání OHC [6]



Obrázek 1.12 Uspořádání DOHC [6]

Desmodromický rozvod:

Za zmínku jistě stojí desmodromický rozvod, který řeší problém, jenž nastává při vysokých otáčkách. Tím je fakt, že pružiny, které uzavírají ventil, nedosednou dostatečně rychle, aniž by ve ventilu nedošlo k příliš velkému rázu. Řešením je pneumatické uzavírání ventilů, nebo z mechanických je to právě rozvod desmodromický, u kterého jedna vačka ventil otevírá a druhá ventil uzavírá. Toto řešení je doménou motocyklů Ducati.



Obrázek 1.13 Desmodromický rozvod
Ducati [7]

2 Tvorba směsi, zapalování a spalovací proces

Účinná realizace pracovního oběhu spalovacího motoru je z velké části závislá na přívodu tepla pracovní látky. Hoření směsi paliva se vzduchem se dnes považuje za samozřejmou a dobře zvládnutou záležitost. Nicméně právě v této oblasti pístových spalovacích motorů jsou značné rezervy pro budoucí zlepšování výkonových, energetických nebo ekologických parametrů.

Získání tepelné energie se realizuje spalovacím procesem, čímž se rozumí oxidační reakce paliva se vzduchem, které probíhají velkou rychlostí a za rychle se měnících tlaků a teplot. Průběh tohoto procesu je rozdílný u zážehových a vznětových motorů a závisí tedy na druhu použitého paliva, iniciaci spalovacího procesu, homogenitě směsi a její bohatosti.

2.1 Systémy přípravy palivové směsi

Systémy přípravy palivové směsi jsou využívány pro co nejjemnější promísení paliva se vzduchem nebo pro přivedení správného množství paliva do pracovního prostoru válce ve vhodný okamžik, což je velmi důležité pro správný chod pístového spalovacího motoru. Správná příprava směsi ovlivňuje výkonové parametry motoru, točivý moment, spotřebu paliva nebo množství vypouštěných emisí. Úkolem systémů přípravy palivové směsi je připravit pro každý provozní stav motoru vyhovující směs paliva se vzduchem.

Pro přípravu směsi dříve používaný karburátor je v dnešní době nahrazen moderním elektronickým vstřikovacím zařízením. Proto se karburátory dále zabývat nebudeme a naše pozornost bude věnována pouze vstřikovacím zařízením. Hlavní výhodou těchto komponent je řízené dávkování paliva s ohledem na zatížení motoru, otáčky nebo provozní stav. Toto řízené dávkování významně zlepšuje základní parametry motoru, jako je výkon, točivý moment nebo spotřeba paliva a množství škodlivých látek ve výfukových plynech.

Systémy elektronického vstřikování se skládají ze tří celků:

- a) **Systémy snímání veličin**, kterými jsou například snímače otáček motoru, zatížení a teploty motoru, složení výfukových plynů, nebo snímače polohy škrťací klapky či plynového pedálu.

- b) **Systém zpracování údajů**, jehož hlavní částí je elektronická řídicí jednotka, která slouží ke sběru a vyhodnocení dat, jejichž vyhodnocením pak získává optimální okamžik vstřiku a optimální množství paliva vstřikovaného do válce.
- c) **Akční členy** zahrnují palivové čerpadlo, regulátor tlaku paliva, ovladač škrťací klapky a elektromagnetický vstřikovací ventil.

U zážehových motorů se elektronické vstřikování paliva provádí několika způsoby:

- a) **Simultánní vstřikování** je způsob, kdy dochází ke vstřikování paliva ze všech vstřikovacích ventilů v jednu chvíli. Ke vstříknutí dojde dvakrát za jedno otočení klikového hřídele a to v pevně stanovený okamžik.
- b) **Skupinové vstřikování** zahrnuje dvě skupiny vstřikovacích ventilů, z nichž každá skupina vstřikuje palivo jednou za cyklus, tedy jednou za otočení klikového hřídele. Tento způsob tedy již do jisté míry umožňuje načasování okamžiku vstříknutí paliva.
- c) **Sekvenční vstřikování** pracuje na principu nezávislého ovládní každého vstřikovacího ventilu. Okamžik vstřiku je tedy možné značně regulovat dle potřeb.

Nejdůležitější dělení elektronických vstřikovacích zařízení vychází z konstrukce sacího potrubí, jak bude uvedeno dále.

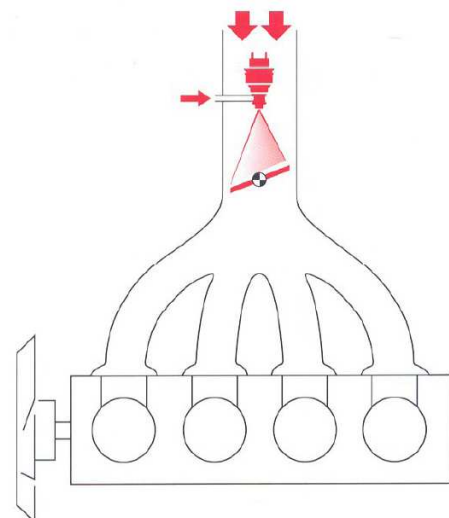
2.1.1 Centrální vstřikování

Centrální vstřikování bývá označováno zkratkou CFI, z anglického “central fuel injection“. Jedná se o nejjednodušší způsob, který je založený na vstřikování paliva elektromagnetickým ventilem, umístěným centrálně ještě před škrťací klapkou. Palivo je rozdělováno do jednotlivých válců sacím potrubím. Výhodou je jednodušší a levnější konstrukce, nevýhodou je nepřilíš rovnoměrné rozdělení paliva do jednotlivých válců, vzhledem k různým délkám potrubí k jednotlivým válcům, nebo kondenzace paliva na stěnách sacího potrubí při studeném motoru. Dále tento způsob neumožňuje potřebné konstrukční úpravy sacího potrubí. Je totiž nutné, aby potrubí bylo dostatečně krátké, aby se palivo snadno dostalo do válců.

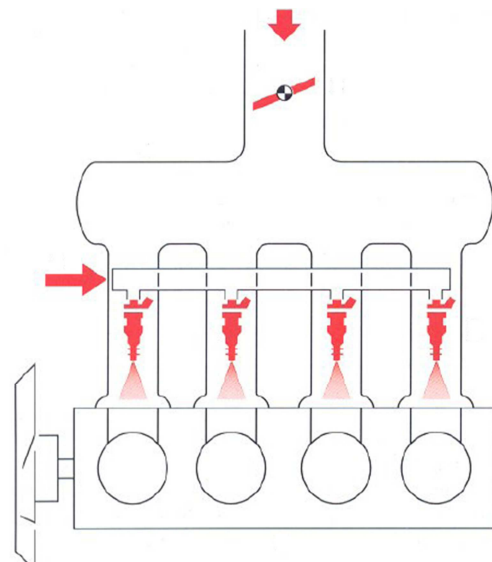
Toto řešení se nejčastěji používá pro čtyřválcové motory s nižším výkonem. Hlavní sběrné data pro elektronickou řídicí jednotku jsou většinou pouze poloha škrťací klapky a otáčky motoru.

2.1.2 Vícebodové vstřikování

Vícebodové vstřikování bývá označováno zkratkou MPI, z anglického “multi point injection“. Tato konstrukce přiděluje každému válci jeden vstřikovací ventil. Ten vstřikuje palivo pro každý válec do sacího potrubí přímo před sací ventil. Vstřikování může být prováděno buď kontinuálně,



Obrázek 2.1 Centrální vstřikování [8]

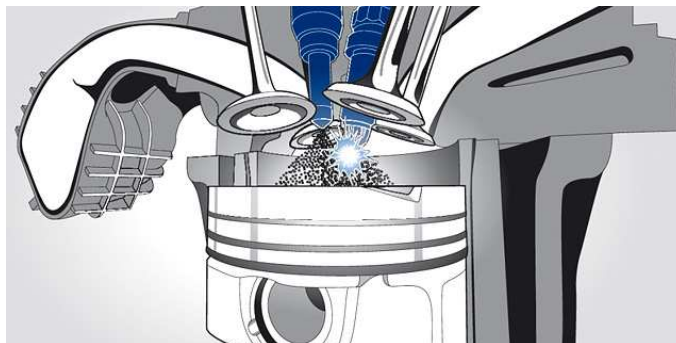


Obrázek 2.2 Vícebodové vstřikování [8]

nebo přerušovaně. Výhodou oproti centrálnímu vstřikování je rovnoměrné plnění jednotlivých válců a zároveň nedochází při studeném motoru ke kondenzaci paliva na stěnách sacího potrubí. Dále nám také dává možnost konstrukčně regulovat délku sacího potrubí.

2.1.3 Přímé vstřikování

U přímého vstřikování, označovaného zkratkou GDI, z anglického “gasoline direct injection“, nebo FSI z “fuel stratified injection“, je palivo vstřikováno přímo do pracovního prostoru válce a to vysokým tlakem (až 20 MPa). Pro přímé vstřikování se používají vysokotlaké ventily, které palivo nadávkuje a rozpráší ve válci tak, že vznikne homogenní směs se vzduchem. Sacím potrubím, stejně jako u vícebodového vstřikování, prochází pouze vzduch, takže jsou možné různé konstrukční úpravy a nedochází ke kondenzaci paliva na stěnách válce.



Obrázek 2.3 Přímé vstřikování [9]

Velmi důležité je přesné odměření množství paliva, které má být vstříknuto do válce, okamžik vstřiku a potřebný tlak. Tyto údaje udává řídicí jednotka na základě naměřených informací. Vzhledem k umístění vstříků přímo ve válci je nutné, aby byly konstruovány z materiálů, které jsou schopny spolehlivě odolávat vysokým teplotám a tlakům.

Použití přímého vstřikování paliva do válce je samozřejmostí u vznětových motorů. V těchto letech už se ale často vyskytuje i u motorů zážehových a to z důvodů potřeby snížení spotřeby paliva a emisí CO₂, nebo ostatních škodlivých látek ve výfukových plynech.

Vysokého tlaku, který je potřebný pro správnou funkci jednotlivých vstřikovacích ventilů, se vyvozuje pomocí vysokotlakého čerpadla, které udržuje tlak až 20 MPa v zásobníku paliva. Z tohoto zásobníku si pak jednotlivé vstřikovací ventily palivo pod vysokým tlakem odebírají.

U vznětových motorů se dnes nejčastěji využívá systém common rail, který taktéž má vysokotlaké čerpadlo, které udržuje konstantně vysoký tlak v zásobníku paliva a jednotlivé vstřikovací ventily si odebírají potřebné množství paliva o požadovaném tlaku. Do nedávna se ještě používal systém PD (pumpe duse) což znamená, že každému válci náleží vstřikovací ventil opatřený vlastním čerpadlem, které vyvozuje potřebný tlak vždy pro jeden válec.

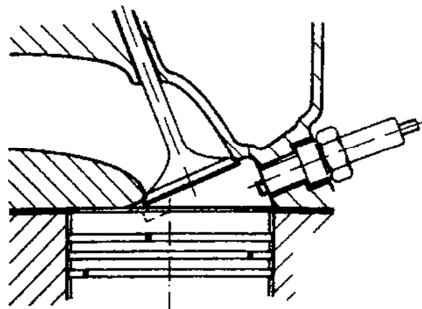
2.2 Spalovací prostory

Tvar spalovacího prostoru zásadně ovlivňuje promíchání směsi paliva se vzduchem a zároveň i průběh hoření, což ovlivňuje průběh točivého momentu, výkon, množství škodlivin ve výfukových plynech atd. Tvar spalovacího prostoru se vytváří jak v hlavě válce, tak i tvarováním dna pístu.

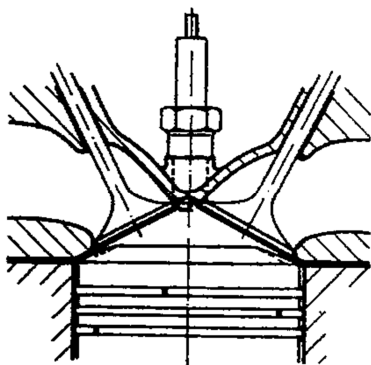
Při tvarování spalovacích prostorů je snahou pro dosažení vyšší účinnosti zajistit snížení tepelných ztrát, zajištění vhodného víření směsi, umožnění použití více ventilů s co největším průměrem talíře, možnost umístění zapalovací svíčky do místa, kde je na konci kompresního zdvihu bohatá směs a šířící se plamen nevyvolá detonační hoření. Dále

požadujeme dokonalé vyplachování spalovacího prostoru čerstvou směsí a dokonalý odvod spalin.

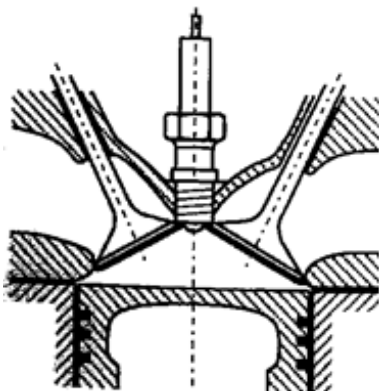
Existuje mnoho různých tvarů spalovacích prostorů, zde budou uvedeny pouze ty nejpoužívanější. U zážehových motorů s nepřímým vstřikováním paliva, ať už centrálním nebo vícebodovým, se nejčastěji používají spalovací prostory půlkulové, střežovité nebo klínové. U zážehových motorů s přímým vstřikováním paliva do válce se používají spalovací prostory s vybráním i v pístu, které slouží k dobrému rozvívání směsi. Mezi ventily je běžně umístěna zapalovací svíčka, zatímco z boku je umístěna vstřikovací tryska. Směs je možno vytvářet na základě třech principů, kterými jsou spalování řízené paprskem, spalování řízené stěnou a spalování řízené vzduchem.



Obrázek 2.4 Klínový spalovací prostor [10]

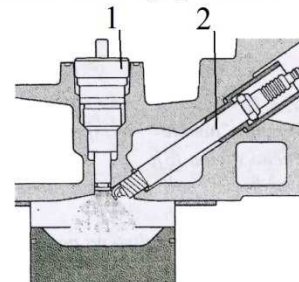


Obrázek 2.5 Půlkulový spalovací prostor [10]

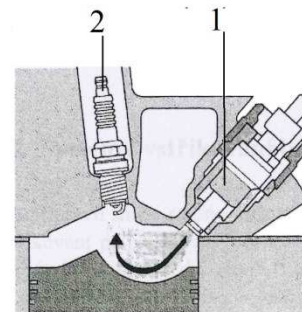


Obrázek 2.6 Střežovitý spalovací prostor [10]

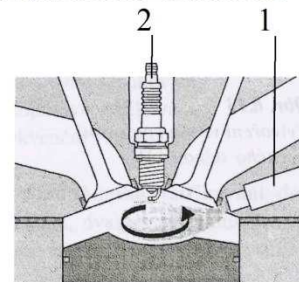
a) spalování řízené paprskem



b) spalování řízené stěnou



c) spalování řízené vzduchem



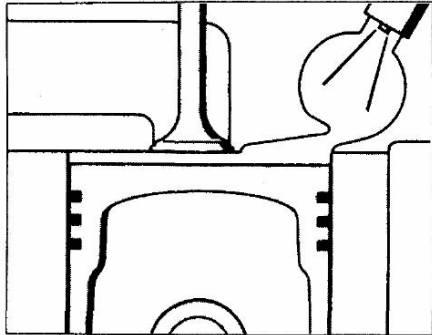
Obrázek 2.7 Typy spalování
1-vstřikovací ventil, 2-zapalovací svíčka
[10]



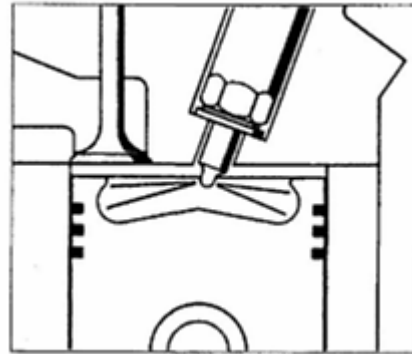
Obrázek 2.7 Příklad tvarování pístu APR [11]

U vznětových spalovacích motorů rozeznáváme spalovací prostory nedělené, které se vyznačují tím, že spalovací prostor je uceleně vytvořen v pístu. Druhým typem je spalovací prostor dělený, kdy je spalovací prostor vytvořen v hlavě válců. Vznětové motory můžeme dále rozdělit (bez ohledu na to že všechny vznětové motory jsou opatřeny přímým vstřikováním paliva) na motory:

- a) **s nepřímým vstřikováním paliva do válce** (indirect injection), kdy je palivo vstřikováno do tzv. předkomůrky nebo do vírové komůrky, která je vytvořena v hlavě válců
- b) **s přímým vstřikem paliva do válce** (direct injection), kdy je palivo vstřikováno směrem do vybrání v pístu, jehož tvar může být například prstencový, kulovitý nebo půlkulový.



Obrázek 2.8 Spalovací prostor s vírovou komůrkou [10]



Obrázek 2.9 Spalovací prostor prstencový [10]

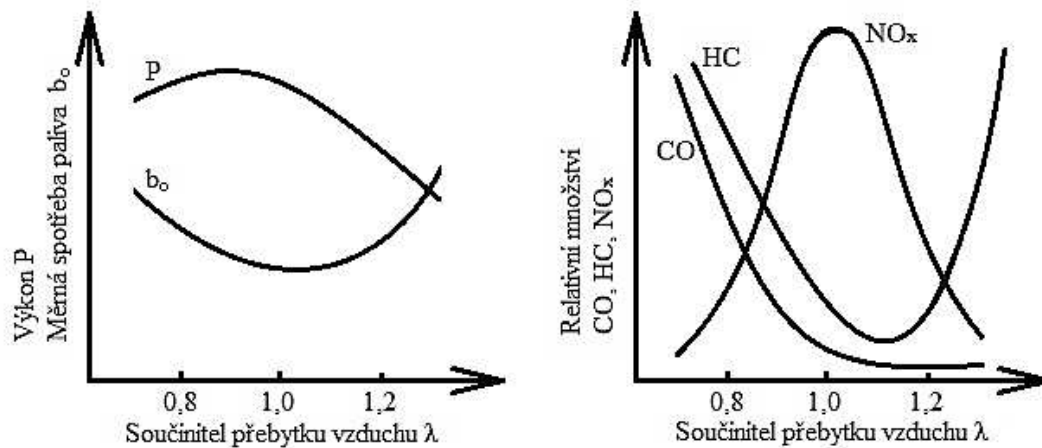
2.3 Složení směsi

Složení směsi paliva se vzduchem je důležitým faktorem pro dokonalý průběh spalovacího procesu. Je nutné zajistit správné množství kyslíku a paliva. Výpočtem bylo stanoveno, že ideální množství kyslíku pro kvalitní shoření směsi se nachází ve 14,7 kg vzduchu na 1 kg paliva.

K odlišení toho, jak moc se od ideálních hodnot vzdaluje skutečné množství přivedeného vzduchu se zavádí součinitel přebytku vzduchu λ , který se vypočte jako poměr přivedeného vzduchu ku teoretické potřebě vzduchu. Jelikož pro různé provozní stavy motoru je výhodné s tímto poměrem variovat, rozeznáváme tři varianty poměru λ .

- a) **Stechiometrická směs ($\lambda=1$):** Přivedeno je ideální množství vzduchu 14,7 kg na jeden kilogram paliva.
- b) **Chudá směs ($\lambda>1$):** Přivedeno je více vzduchu, než je ideální hodnota. Při hodnotách $\lambda=(1,05 - 1,3)$ dochází ke snížení výkonu motoru a zároveň i ke snížení spotřeby paliva. Při hodnotách $\lambda>1,3$ již směs není schopná zapálení.
- c) **Bohatá směs ($\lambda<1$):** Přivedeno je méně vzduchu, než je ideální hodnota. Při hodnotách $\lambda=(0,85 - 0,95)$ dochází k největšímu nárůstu výkonu.

Následující dva grafy znázorňují vliv součinitele přebytku vzduchu λ na výkon, měrnou spotřebu paliva a složení emisí obsažených ve výfukových plynech.



Obrázek 2.10 Vliv součinitele přebytku vzduchu na výkon, měrnou spotřebu a emise ve výfukových plynech [10]

2.4 Zapalování směsi

Pro zážehové motory je okamžik zapálení závislý především na otáčkách a zatížení motoru. Doba hoření směsi je při stejném plnění a stejném poměru vzduchu a paliva stále konstantní. Proto je při vyšších otáčkách nutné aby došlo k zapálení směsi dříve. Závislost na zatížení motoru je dána ochuzením směsi zbytkovými plyny ve válci při nízkém zatížení. Dochází tedy k nedokonalému výplachu čerstvou směsí. Hoření směsi pak trvá delší dobu a taktěž je nutné, aby k zapálení došlo dříve, tedy aby se zvětšil předstih.

Jak již bylo řečeno, poloha klikového hřídele před horní úvratí v okamžiku zapálení směsi udává předstih. Vzhledem k dnešnímu používání elektronického zapalování, se předstih reguluje na základě naměřených hodnot, kterými jsou například tlak ve válci (udává informaci o zatížení motoru), otáčky, složení směsi, nebo teplota.

K zapálení směsi je před každým pracovním zdvihem potřeba energie asi 0,2 mJ. To platí v případě, že je směs homogenní a v klidném stavu bez turbulencí. V opačném případě je potřeba až 3 mJ. Tyto hodnoty jsou ale v jiskře několikanásobně přesahovány, aby bylo zajištěno spolehlivé zapálení i při nevhodných podmínkách. Při tom je dostačující, když se kolem jiskry nachází jen malé množství homogenní směsi.

Jak již víme, u vznětového motoru dojde k zapálení směsi ve válci vlivem vstříknutí paliva do kompresí ohřátého vzduchu (800-900°C) a jejich vzájemným promícháním. U studeného motoru ovšem nastává problém, protože komprese nestačí nasátý vzduch ohřát dostatečně, aby došlo ke vznícení. Řešením je předžhavení, kdy v každém válci je instalována žhavicí svíčka, která rozehřeje žhavicí část na asi 850 °C během přibližně čtyř sekund. Poté, kdy kontrolka na přístrojové desce informuje řidiče o tom, že žhavení proběhlo na potřebnou teplotu, je možno bez problému motor nastartovat. Pak může ještě probíhat tzv. automatické dožhavení, což je proces, který pomáhá rychleji dosáhnout ve válci optimálních teplot pouze kompresí. Tato operace trvá také v řádech sekund.

2.5 Teorie spalovacího procesu

Pro popis hoření ve válci spalovacích motorů, tedy pro popis oxidačních reakcí uhlovodíkového paliva se vzduchem se obecně používají dvě teorie. První je teorie tepelné iniciace, kterou doplňuje druhá, tzv. teorie aktivovaných částic a řetězových reakcí.

Po iniciaci spalovacího procesu vznikem předoxidačních reakcí, které vznikají rozdílně podle typu motoru, následují reakce jednotlivých složek paliva se vzduchem. Tyto reakce probíhají buď jednoduchými, nebo rozvětvenými řetězci chemických přeměn až do dosažení konečných produktů spalování. Než ovšem tyto produkty vzniknou, vzniká a zase zaniká velká řada meziproductů. Z místa, kde byl plamen iniciován se šíří řada tepelných a chemických procesů, přičemž v pohybuujícím se pásmu oxidační reakce vznikají tzv. aktivované částice, které pronikají do neshořelé směsi, kde iniciují další reakce, dokud nedojde k úplnému vyhoření směsi. Vlivem vysoké teploty a tlaku se molekuly uhlovodíkového paliva reagující s kyslíkem mění na reaktivní sloučeniny s labilní peroxidovou vazbou, peroxidy a hydroperoxydy.

2.5.1 Spalovací proces v zážehových motorech

Spalovací proces u zážehových motorů je iniciován pomocí vysokoteplotního vznícení velice malého objemu připravené směsi. K tomu dojde elektrickým výbojem na elektrodách zapalovací svíčky. Nastartují se tak potřebné předoxidační reakce a vznikají aktivované částice. Tyto částice, když dosáhnou potřebné koncentrace, vytvoří tzv. ohnisko zážehu, z něhož se hoření začíná účinkem přestupu tepla a postupným zvyšováním produktů předoxidačních reakcí rozšiřovat do oblasti těsně před zónou hoření. Koncentrace aktivovaných částic se v nespálené směsi zvyšuje vedením tepla z čela plamene a také pronikáním aktivovaných částic do nespálené směsi ze zóny hoření. Díky tomu vznikají vhodné podmínky pro hoření ještě nespálené směsi.

Je také důležité, aby nedocházelo ve válci k samovolnému vznícení paliva buď ještě před přeskočením jiskry na zapalovací svíčke, nebo v jiných místech než je prvotní ohnisko, tzn. aby nevzniklo ohnisek více. To by způsobovalo značný pokles výkonu. K tomu jsou třeba specifické vlastnosti paliva. Tou nejdůležitější z nich je odolnost proti samovznícení, která se udává antidetonační odolností, respektive oktánovým číslem. Pro minimalizaci rizika zmíněných nežádoucích jevů se využívají i jisté konstrukční úpravy, jako jsou tvar spalovacího prostoru, umístění zapalovací svíčky, určitý kompresní poměr, nebo regulace předstihu zážehu.

2.5.2 Spalovací proces ve vznětových motorech

Spalovací proces u vznětových motorů je iniciován pomocí tzv. nízkoteplotního vznícení paliva. Probíhá působením dostatečně vysoké teploty, vzniklé stlačením vzduchu při kompresním zdvihu, na směs odpařeného paliva a vzduchu. Na konci kompresního zdvihu je do válce vstříknuto vysokým tlakem palivo, které musí mít vhodné fyzikálněchemické vlastnosti. Vzhledem k vysokému tlaku, pod kterým bylo palivo vstříknuto, a jeho vhodným vlastnostem se ve válci rozptýlí ve formě velice malých kapek. Relativně malá část paliva se rychle odpaří a okolo kapek vytvoří vhodnou směs palivových par se vzduchem. To umožňuje vznik předoxidačních reakcí, které vznikají zároveň ve více ohniskách v celém objemu válce. Řádově asi $10^4 - 10^5$ ohnisek. Dojde tedy ke vznícení náplně válce a rozběhu tepelných oxidačních reakcí a vzniku dalších ohnisek v heterogenní směsi. Na průběh spalování ve válci vznětových motorů má velký vliv tvar spalovacího prostoru, který ovlivňuje víření, a tepelné proudění, způsob vstříknutí a především kvalita paliva. Jeho vhodnost pro vznětové motory vyjadřuje tzv. cetanové číslo.

2.6 Tvorba škodlivin a jejich minimalizace

Obsah škodlivin ve výfukových plynech závisí především na průběhu spalovacího procesu. V dnešních automobilových motorech se nachází celá řada konstrukčních úprav a systémů, které buď významným způsobem zdokonalují průběh spalování, ať už za účelem lepší účinnosti, nižší spotřeby paliva, nebo právě za účelem snížení obsahu škodlivých látek ve výfukových plynech, nebo řada systémů, které primárně snižují škodlivost pístových spalovacích motorů.

Mezi mechanismy vytváření škodlivin patří nedokonalé spalování, nebo rozpad vazebných řetězců molekul uhlovodíkových paliv, jehož produkty jsou CO_x , CH a částečně zoxidované nebo jinak přetvořené molekuly CH . Nekvalitní nebo nehomogenní směs paliva se vzduchem ve válci, nebo nedostatek vzduchu ve válci může způsobovat přednostní reakci kyslíku s vodíkem, na místo uhlíku, a vznikají pak saze, někdy nazývané tuhé částice. Při vysokých teplotách, které jsou ve válci, dochází k oxidaci dusíku, který je obsažen ve vzduchu, a vznikají částice zvané NO_x . Vedle zmíněných prokazatelně toxických látek vzniká v největším množství produkt dokonalého spalování, kterým je CO_2 , jehož rostoucí podíl v atmosféře narušuje biologickou a tepelnou rovnováhu a přispívá k vytváření skleníkového efektu. Mimo těchto zmíněných látek výfukové plyny obsahují ještě dalších asi 160 škodlivých látek.

Současná legislativa platící v Evropě se nazývá EURO, doplněná číslicí. Kdy od roku 2014 by v platnost měla přijít norma EURO 6. Tyto normy omezují množství oxidu uhelnatého (CO), uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NO_x) a množství pevných částic (PM), prozatím však neřeší obsah vypuštěného oxidu uhličitého.

Rok/norma		CO [g/km]		NO _x [g/km]		HC + NO _x [g/km]		HC [g/km]	PČ [g/km]
		Zážehový	vznětový	Zážehový	vznětový	Zážehový	vznětový		
1992	1	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18
1996	2	2,2	1	-	-	0,5	0,70*	-	0,08**
2000	3	2,3	0,64	0,15	0,5	-	0,56	0,2	0,05
2005	4	1	0,5	0,08	0,25	-	0,3	0,1	0,025
2009	5	1	0,5	0,06	0,18	-	0,23	0,1	0,005
2014	6	1	0,5	0,06	0,08	-	0,17	0,1	0,005

* 0,90 pro motory s přímým vstřikováním paliva

** 0,10 pro motory s přímým vstřikováním paliva

Tabulka 2.1 Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO [12]

Nejrozšířenějšími systémy omezující vypouštění škodlivých látek do ovzduší jsou katalyzátory. Rozeznáváme tři typy těchto zařízení. Tím prvním je **tříšložkový katalyzátor**, jenž uskutečňuje čištění výfukových plynů redukčně-oxidační chemickou reakcí a je využíván především u zážehových motorů. Výfukové plyny prochází v katalyzátoru úzkými průřezy s pórovitým povrchem nasyceným platinou, rhodiem a palladiem. Tyto kovy mají katalytické účinky. Při správné hodnotě součinitele přebytku vzduchu ($\lambda = 0,99 - 1,002$) se dosáhne vysoké účinnosti čištění. Hodnoty NO_x až o 99%, HC až o 90% a hodnoty CO až o 95%. Při sebemenším odchýlení od dané hodnoty součinitele přebytku vzduchu se ovšem tyto procenta značně snižují. Další podmínkou vysoké účinnosti je řádné zahřátí katalyzátoru a to v rozmezí

teplot 300 – 1000°C, nebo potřeba kvalitního paliva bez obsahu síry, fosforu, chloru a těžkých kovů. Tyto látky by značně snížily i životnost katalyzátoru. Katalyzátor je běžně konstruován z plechového obalu, nosiče a vlastní katalytické vrstvy. V dnešní době se nosič vyrábí buď z oceli, nebo je keramický. Jedná se o těleso válcového tvaru, ve kterém jsou vytvořeny podélné kanálky, kterými procházejí výfukové plyny. Povrchy kanálků jsou opatřeny vrstvou oxidu hlinitého, který má tu vlastnost, že mnohonásobně zvyšuje povrch kanálků. Na tomto povrchu je nanášena aktivní vrstva již zmíněných látek.

Katalyzátor dvousložkový se někdy také nazývá oxidační a používá se buď u plynových zážehových motorů, nebo u některých motorů vznětových. Ve výfukových plynech snižuje koncentrace CO a nespálených uhlovodíků HC. Mechanismus čištění spalin je podobný jako u katalyzátoru tříložkového. Ovšem zde dochází k oxidaci zmíněných škodlivých látek. Kyslík je přiváděn spolehlivě provozem motoru.

Selektivní katalyzátor je doménou spíše stacionárních motorů, nicméně se vyskytuje u některých vznětových motorů. Pomáhá ke snižování obsahu NO_x a to tak, že se do výfukových plynů vstřikuje přesně odměřené množství vodního roztoku čpavku. Toto množství závisí na obsahu NO_x ve výfukových plynech.

Motory vybavené selektivním katalyzátorem mohou také ke snižování NO_x využívat technologii „AdBlue“. Jedná se o vstřikování roztoku močoviny s demineralizovanou vodou o vysoké čistotě. Běžně se tohoto systému využívá v kamionové dopravě.

Ke snižování obsahu oxidů dusíku ve výfukových plynech se ještě používá **recirkulace** výfukových plynů. Výfukové plyny jsou prakticky nehořlavou látkou. Pokud ve válci dochází ke spalování chudé směsi, kdy vzniká větší množství NO_x vlivem vysoké teploty, je možné teplotu snížit právě přívodem určitého množství spalin do válce. Pokud bychom přivedli příliš malé množství výfukových plynů, účinnost recirkulačního zařízení by byla malá, naopak kdybychom přivedli příliš moc výfukových plynů, došlo by ke vzniku nezápalné směsi, bylo by tedy nutné dodat více paliva. Vznikla by tak bohatá směs, kdy vzniká větší množství oxidu uhelnatého a zvyšuje se spotřeba. Při různých provozních podmínkách je nutné regulovat množství recirkulovaných výfukových plynů. Rozeznáváme dva druhy recirkulace. První variantou je **vnitřní recirkulace**. Toto řešení je dáno vhodným načasováním rozvodového mechanismu. Dochází k tomu, že sací ventil se otevře ještě dříve, než se zavře ventil výfukový. Dostane se tak část spalin do sacího potrubí. Poté co píst překoná horní úvrať, zavře se teprve výfukový ventil. Část spalin se tedy ocitne ve válci a snižuje celkovou teplotu hoření, čímž se omezuje produkce NO_x. Je zřejmé, že nastavení časování vyhovuje pouze určitému rozmezí otáček a zatížení motoru, které zvolí výrobce jako určitý kompromis. Řešením je variabilní časování ventilů, kterým se budeme zabývat později. Druhou variantou je **vnější recirkulace** výfukových plynů. Protože variabilní časování ventilů je poměrně složitá konstrukční záležitost, používá se konstrukční řešení, kdy je přidána další větev do sání, která přivádí určité množství výfukových plynů z výfukového potrubí do sacího potrubí. Tento kanál pochopitelně nemůže být stále otevřený a tak dochází k regulaci jeho průřezu na základě přírůstku emisí HC, zvýšení spotřeby nebo zhoršení rovnoměrnosti chodu motoru. Recirkulace se úplně odpojuje například při volnoběhu, kdy žádné emise NO_x nevznikají, nebo při chodu studeného motoru, aby nedocházelo k prodloužení doby zahřívání motoru.

Moderní motory využívají vnější i vnitřní recirkulace, i v kombinaci s variabilním časováním ventilů. Nedostatkem recirkulace je ovšem zanášení potrubí tuhými částicemi, což snižuje průřez potrubí a dochází k snížení průtoku plynů.

3 Zvyšování účinnosti a výkonu motoru

3.1 Problematika nízké účinnosti, hospodaření s energií

Této problematice se v posledních letech věnuje velká pozornost. Získávání energie za pomoci spalování je totiž jedním z nejméně efektivních způsobů, kdy dochází k obrovským tepelným a mechanickým ztrátám, teoreticky 50 – 90 %. U současných motorů se ale účinnost pohybuje okolo 30 – 50 %. Přičemž horní hranice účinnosti je limitována Carnotovým cyklem. U každého tepelného stroje se konstruktéři snaží tepelný oběh co nejvíce přiblížit tomuto cyklu, protože je dokázáno, že Carnotův oběh má ze všech oběhů nejvyšší účinnost, která je závislá pouze na maximální teplotě a tlaku dosaženého během komprese a expanze, jak vyplývá z následujícího vzorce, kde T_O je teplem odvedeným a T_P je teplem přivedeným.

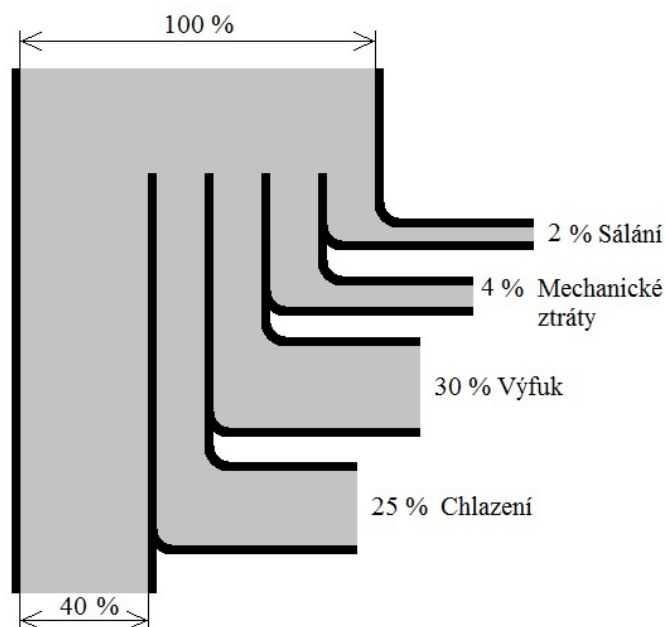
$$\eta = 1 - \frac{T_O}{T_P} [-]$$

Zde jsme ovšem limitováni technickými možnostmi a současnými materiály. Pokud bychom chtěli dosáhnout 100 % účinnosti, museli bychom dosáhnout nekonečné komprese a nekonečné expanze bez tepelných ztrát.

Vynecháme-li již předpoklad o dobrém zvládnutí spalovacího procesu, výkon je možné zvýšit zvětšením objemu válců nebo navýšením otáček. Nicméně situace je poněkud komplikovanější. Pokud se průměr vrtání válce zvětší 2x, jeho průřez se zvětší 4x a objem válce 8x ale průtočná plocha ventilů pouze 4x. To znamená, že při srovnatelných otáčkách má motor úplně jiné rychlosti proudění a plnění válce neprobíhá tak, jak by mělo. Co se týče střední pístové rychlosti, budou muset být dosaženy pouze poloviční otáčky než u původního polovičního motoru, což sebou nese ztrátu výkonu. Dvojnásobné zvětšení vrtání válce také způsobí značné zvýšení hmotnosti všech součástí. A jelikož většina součástí ve spalovacím motoru je namáhána setrvačnými silami od vlastní hmotnosti, vyšší hmotnost je naprosto nežádoucí. Stejně tak zvyšování otáček má své hranice, jelikož dvojnásobným zvýšením otáček dosáhneme kvadratického nárůstu odstředivé síly na klikovém hřídeli a to nehovoříme o zvýšení setrvačných sil na zbylých částech klikového mechanismu. Dále při vysokých otáčkách dochází ke zhoršenému plnění a výplachu válců.

Grafickým vyjádřením tepelné účinnosti je tzv. Sankeyův diagram, který znázorňuje bilanci tepelné energie ve spalovacím motoru. Hodnoty jsou pouze orientační, jelikož každý motor má odlišné vlastnosti.

Dalším významným faktorem ovlivňující výslednou účinnost automobilového motoru je hospodaření s energií, kterou je možno odebírat z klikového hřídele. Je třeba si uvědomit, že je nutné pohánět další zařízení, která jsou buď nezbytně důležitá pro chod



Obrázek 3.1 Sankeyův diagram

motoru, nebo zařízení související s komfortem posádky. Mezi ty nejdůležitější patří rozvodový mechanismus, pohon olejového čerpadla, nebo zajištění chodu chladícího zařízení. Mimo jiné je nutné dobíjení alternátoru, který slouží jako zdroj elektrické energie v automobilu. Je tedy nutné zvyšovat účinnost i těchto zařízení.

Rezervy v hospodaření s energií pravděpodobně zůstávají ve využitelnosti energie výfukových plynů, která se prozatím využívá pouze k pohonu turbodmychadel, jejichž funkce bude vysvětlena ještě v této kapitole.

3.2 Sací systém motoru

Sací systém motoru zajišťuje přívod vzduchu, případně čerstvé směsi do válce. Je nutné, aby jeho potrubí mělo plynulý tvar, bez náhlých a ostrých změn průřezu nebo směru, což napomáhá ke snížení odporu při rychlém proudění. Správná konstrukce sacího potrubí je rozhodující pro dosažení maximálního točivého momentu v nízkých otáčkách, tak i pro dosažení vysokého jmenovitého výkonu ve vysokých otáčkách. Sací potrubí u centrálního vstřikování vyžaduje přibližně stejné délky kanálů k jednotlivým válcům. Sací potrubí u vícebodového nebo přímého vstřikování toto nevyžaduje a je tak možné přizpůsobit tvar sacího potrubí.

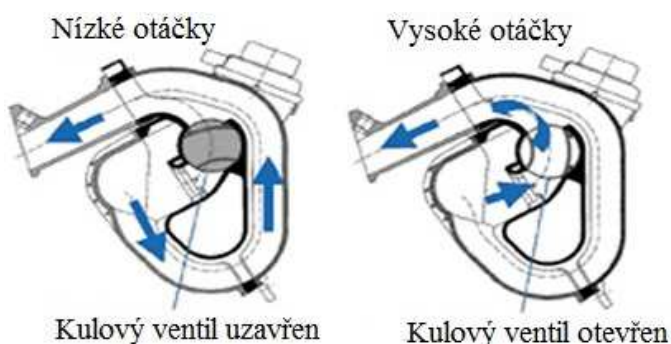
Krátké sací potrubí napomáhá k vysokým hodnotám jmenovitého výkonu. V okamžiku otevření sacích ventilů vzniká v potrubí tlaková vlna, která se šíří rychlostí zvuku od ventilů až k začátku potrubí. Tam se odrazí zpět a způsobuje strhávání obsahu sacího potrubí směrem do válce. Jednoduše řečeno, vyvolá podtlak. Vzhledem k tomu že sací ventily jsou při vysokých otáčkách otevřeny kratší dobu, je nutné co nejkratší potrubí, aby tlaková vlna stačila projít celým potrubím včas a došlo ke kvalitnímu plnění válce. Naopak při nízkých otáčkách, kdy je potřeba vysoký točivý moment, je výhodnější sací potrubí delší.

3.3 Přeplňování

Úkolem přeplňování je dosáhnout lepšího naplnění válce za účelem vyššího výkonu. Do válce se pak dostane více vzduchu a je možné přivést větší množství paliva. Přeplňované motory pak vykazují vyšší výkon a točivý moment, při srovnatelně nižší spotřebě. Přeplňování je možné provádět buď vhodnou úpravou sacího potrubí. Mezi tyto způsoby patří přeplňování kmity v potrubí, nebo rezonanční přeplňování. Nebo je možné přeplňování prostým zvyšováním tlaku přiváděného vzduchu dalším přídatným zařízením, kterým je buď kompresor, nebo turbodmychadlo.

3.3.1 Dynamické přeplňování

Jak již z názvu vyplývá, dynamické přeplňování využívá dynamiky proudících plynů, který se potrubím šíří pulzacemi, tzv. tlakovými vlnami. Jedná se o nejjednodušší způsob.



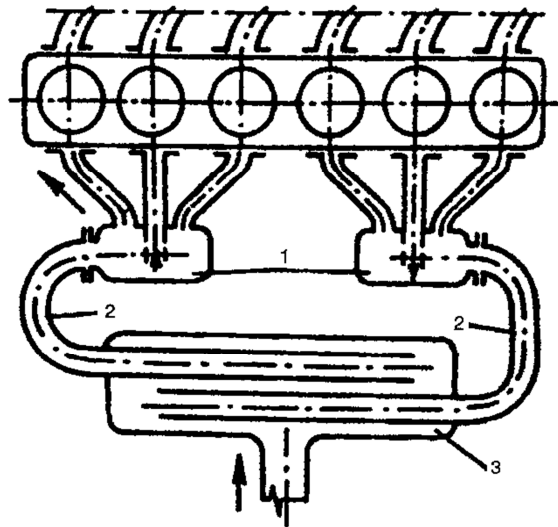
Obrázek 3.2 Příklad řešení proměnné délky sacího potrubí [13]

Přepřňování kmity v potrubí:

Pracuje na principu proměnné délky sacího potrubí tak, aby bylo vyhověno požadavkům na dostatečně dlouhé potrubí při nízkých otáčkách a zároveň dostatečně krátké při otáčkách vysokých. Pro regulování délky sacího potrubí se využívá přepínání mezi různými délkami a průměry sacího potrubí, nebo přestavení délky sacího potrubí pomocí otevírání a uzavírání komor v sacím potrubí. U použití alespoň dvou ventilů je možné vypínání jednotlivých trubic. Poslední možností je přepínání na různé objemy sacího potrubí.

Rezonanční přepřňování:

Pokud frekvence, kterou se tlakové vlny šíří sacím potrubím jsou blízké frekvenci sání dané otáčkami, dochází k jevu, kdy během kmitání amplituda roste teoreticky do nekonečna. Tomuto jevu se říká rezonance. Systém rezonančního přepřňování se skládá z rezonančního potrubí, které propojuje rezonanční komoru s okolní atmosférou nebo zásobníkem vzduchu a to vždy pro skupinu válců. Tento systém se využívá spíše u šesti a víceválcových motorů, kde se dají válce dělit na skupiny. Buzení tlakové vlny, která napomáhá přepřňování válce, probíhá pomocí šíření podtlakové vlny, kterou vyvolalo sání válce předchozího.



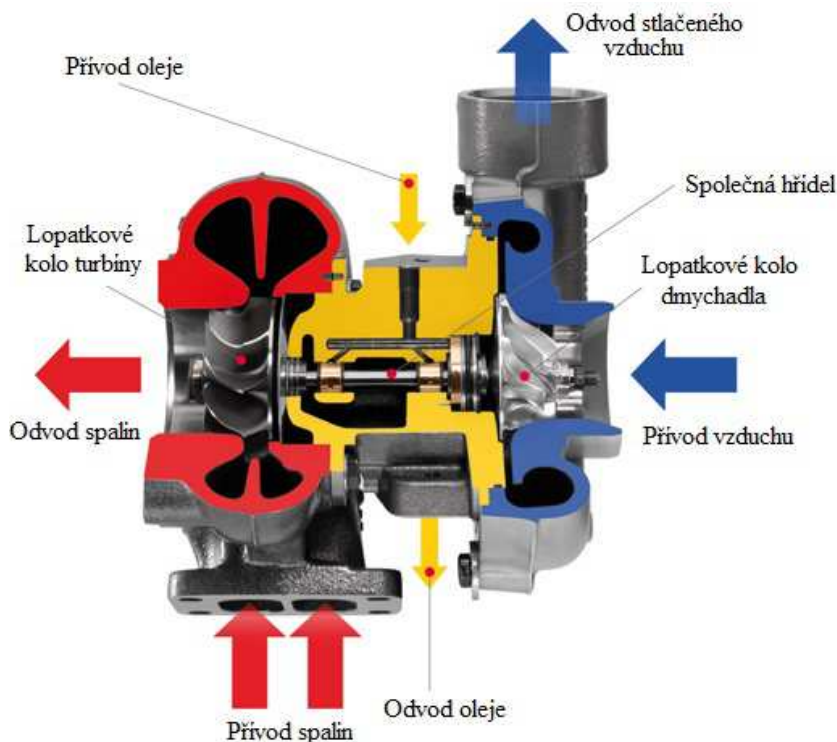
Obrázek 3.3 Rezonanční plnění, 1- rezonanční objem, 2- rezonanční potrubí, 3- rezonátor [14]

3.3.2 Přepřňování turbodmychadlem

Turbodmychadlo se skládá z lopatkového kola dmychadla a turbínového lopatkového kola. Obě tato kola jsou uložena na společném hřídeli. Turbodmychadlo se může otáčet až $180\,000\text{ min}^{-1}$, jsou na něj tedy kladeny vysoké nároky z hlediska přesnosti výroby, vyvážení hřídele a mazání. Turbína převádí energii výfukových plynů na rotační pohyb a pohání tak dmychadlo. To pak stlačuje přiváděný vzduch na vyšší tlak než je atmosférický a umožňuje dostat do válce více vzduchu a s tím i větší množství paliva.

Podle tlaku, na jaký dmychadlo vzduch stlačuje, se dělí motory na ty s nízkotlakým (0,02 – 0,05 MPa), středotlakým (0,05 – 0,1 MPa) a vysokotlakým přepřňováním (více než 0,1 MPa). Stlačením se vzduch ohřívá, což není příliš žádoucí. Proto se používají mezichladiče plnicího vzduchu, které regulují teplotu přibližně na 60°C . Obvykle se používají chladiče vzduchové, méně často kapalinové. Regulace plnicího tlaku, tedy regulace otáček dmychadla se provádí primárně samočinně a to množstvím odcházejících spalin. Proto by bylo vhodné, aby se otáčky v provozu měnily v co nejmenším rozsahu. To je ovšem v praxi nemyslitelné a díky tomu dochází při určitých otáčkách k tzv. turboefektu, kdy dojde ke zpoždění reakce na sešlápnutí plynového pedálu a požadovaná akcelerace může nastat klidně o vteřinu později. Tuto nevýhodu řeší buď použití regulačního ventilu plnicího tlaku, nebo využití nastavitelné geometrie rozváděcích lopatek turbíny. Při použití regulačního ventilu je turbodmychadlo konstruováno tak aby poskytovalo poměrně vysoké množství vzduchu již při nízkých otáčkách motoru, a po dosažení určitého tlaku dojde k otevření obtokového kanálu, který odvede část spalin mimo turbínu. V druhém případě, při použití nastavitelných lopatek turbíny, je možné regulovat průtok spalin turbínou v celém rozsahu otáček.

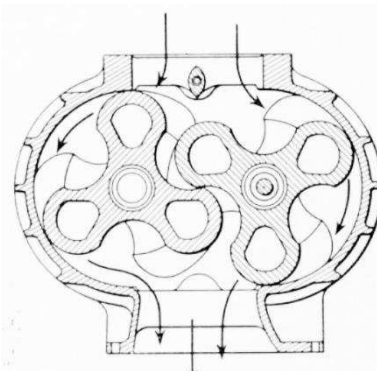
Přepřívání turbodmychadlem je nedílnou součástí každého současného vznětového motoru a v posledních letech i značného počtu zážehových motorů. Moderní motory často kombinují turbodmychadlo s kompresorem, nebo i s jinými výše popsanými technologiemi. Zajímavá je například kombinace kompresoru, který je uveden v činnost při nízkých otáčkách s turbodmychadlem, které sepíná až při otáčkách vyšších. Toto řešení napomáhá k rychlejší reakci motoru na sešlápnutí plynového pedálu a také k minimalizaci tzv. turboefektu, ke kterému dochází u motorů vybavených jen turbodmychadlem.



Obrázek 3.4 Řez turbodmychadlem [15]

3.3.3 Mechanické přepřívání

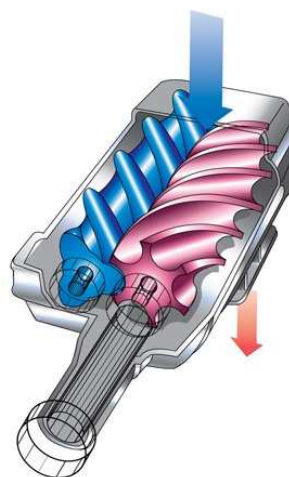
U mechanického přepřívání je dmychadlo, spíše označované jako kompresor, poháněno přímo spalovacím motorem. Částečně proto ubírá z klikové hřídele výkon a snižuje mechanickou účinnost motoru. Toto dmychadlo pak zvyšuje tlak přiváděného vzduchu, čímž se jej do válce dostane větší množství. Na rozdíl od přepřívání turbodmychadlem zaručují kompresory lineární nárůst výkonu a velký točivý moment již při nízkých otáčkách. Další výhodou je, že vzhledem k mechanické vazbě mezi kompresorem a klikovou hřídelí prakticky neexistuje prodleva mezi sešlápnutím plynového pedálu a přísunem výkonu, tak jak je tomu u turbodmychadel. Mezi nejpoužívanější dmychadla patří Rootsovo dmychadlo, nebo dmychadlo Lysholmovo.



Obrázek 3.5 Rootsovo dmychadlo s třilaločnými rotory [16]



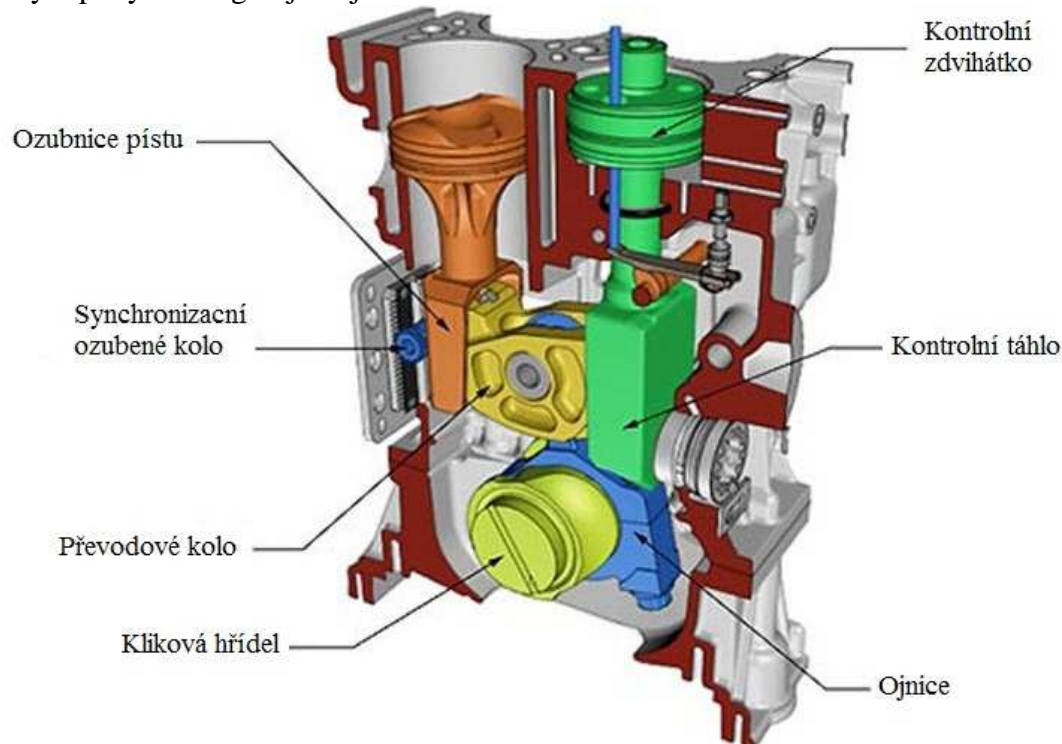
Obrázek 3.6 Rootsovo dmychadlo šroubového typu [17]



Obrázek 3.7 Lysholmovo dmychadlo [18]

3.4 Variabilní kompresní poměr

Kompresní poměr u pístových spalovacích motorů udává poměr mezi objemem nasáté směsi a objemem směsi po stlačení. Jelikož má ale kompresní poměr velký vliv na využití energetického potenciálu paliva, jeho konstantní hodnota je vždy jen určitým kompromisem mezi různými režimy jízdy. Pokud bude použit některý systém umožňující variabilitu kompresního poměru, je možné, aby při nízkém zatížení motor pracoval s vysokým kompresním poměrem, naopak při vyšším zatížení může pracovat s menším kompresním poměrem. Existuje několik různých řešení, jak variabilního kompresního poměru dosáhnout, nejvíce se ale uchýlil způsob mechanickým převodem, nebo přidáním pístem ve válci, který svým pohybem reguluje objem válce.



Obrázek 3.8 Variabilní kompresní poměr mechanickým převodem [19]

4 Proměnný ventilový rozvod spalovacího motoru

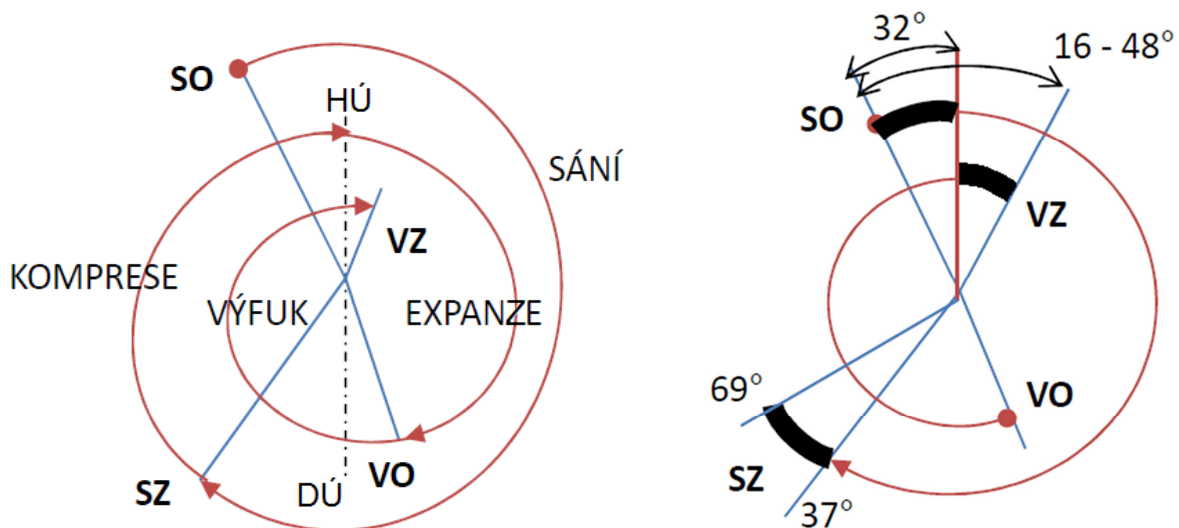
Proměnný ventilový rozvod a jeho různé kombinace se systémy zmíněnými v předchozí kapitole patří také mezi způsoby zvyšování účinnosti a výkonu spalovacích motorů. Průběh výměny plynů ve válci a množství škodlivin ve výfukových plynech jsou výrazným způsobem ovlivňovány právě časováním ventilů, čímž se rozumí jak doba otevření nebo zavření sacích či výfukových ventilů, tak i výška jejich zdvihu a tak i jejich průtočný průřez.

Rozvodové mechanismy s konstantním časováním ventilů, kdy doba jejich otevírání a zavírání je závislá pouze na poloze klikového hřídele a s konstantním zdvihem ventilů jsou vždy pouze určitým kompromisem a vyhovují jen v určitém úzkém rozmezí otáček. V tomto

rozmezí otáček pak má motor největší točivý moment. Pokud chceme dosáhnout vyššího výkonu, zvýšíme otáčky. Tím sice vyššího výkonu dosáhneme, ale točivý moment klesá. Takové řešení značně snižuje pružnost motoru a zamezuje dosažení vyššího výkonu při zachování určité hodnoty točivého momentu. Pokud toho chceme dosáhnout, je nutné, aby při středních a vyšších otáčkách byl průtočný průřez, tedy zdvih ventilů co možná největší a především aby byl sací ventil otevřen déle a aby stříh ventilů trval podstatně delší dobu.

Při vysokých otáčkách je tak pro dosažení vyššího výkonu a uspokojivého točivého momentu výhodné pozdější uzavření sacího ventilu za dolní úvratí, kdy vlivem setrvačnosti proudících plynů dojde k lepšímu plnění válce. Také je ale výhodné otevírat sací ventil dříve před horní úvratí, což způsobí zvýšení podílu zbytkových spalin v sacím potrubí, které se pak dostanou do válce, čímž se zlepšuje účinnost, popřípadě snižuje spotřeba a množství škodlivin ve výfukových plynech. Kombinace obojího ale není u všech systémů možná. Dále je ještě výhodné uzavírat výfukový ventil později za horní úvratí, čímž se taktéž zvýší překrytí (stříh) ventilů. Při nízkých otáčkách je výhodné sací ventil uzavírat dříve za dolní úvratí, protože setrvačná síla proudících plynu není tak vysoká aby byl válec účelně plněn delší dobu. Také je přínosné menší překrytí (stříh) ventilů, aby se do sacího potrubí nedostal příliš vysoký podíl zbytkových spalin, čímž se zlepšuje průběh spalování a zvyšuje točivý moment, který je rozhodující při nízkých otáčkách.

Grafickým vyjádřením časování ventilů jsou časovací diagramy. Ty mohou být buď kruhové, nebo spirálové a lze z nich vyčíst úhly otevírání a uzavírání ventilů v závislosti na poloze klikového hřídele.



Obrázek 4.1 Kruhový a spirálový časovací diagram s vyznačenými možnostmi variace časování
SZ-zavření sacího ventilu, VO-otevření výfukového ventilu, SO-otevření sacího ventilu, VZ-
zavření výfukového ventilu, HÚ-horní úvratí, DÚ-dolní úvratí [20]

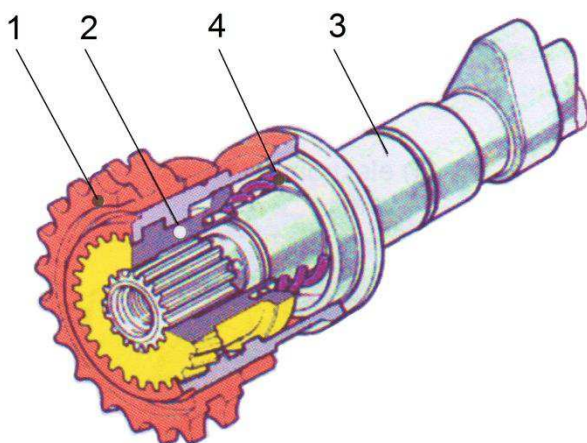
Existuje mnoho konstrukčních řešení, jak lze dosáhnout změny časování ventilů, z nichž některé mění časování pouze sacích ventilů, jiné jsou schopny měnit časování ventilů sacích i výfukových. Některé realizují změnu časování ventilů skokově, jiné ji realizují plynule, nebo jsou schopné měnit i zdvih ventilů. Nejčastějším doposud používaným způsobem je natáčení vačkového hřídele, přičemž opět existuje mnoho konstrukčních řešení, jak natočení dosáhnout. Dalším používaným způsobem je změna profilu vačky. Existuje ale ještě celá řada nekonvenčních způsobů ovládní ventilů, jako jsou systémy pneumatické, mechanicko-hydraulické, elektro-hydraulické, nebo plně elektronické ovládní ventilů.

4.1 Proměnné časování ventilů

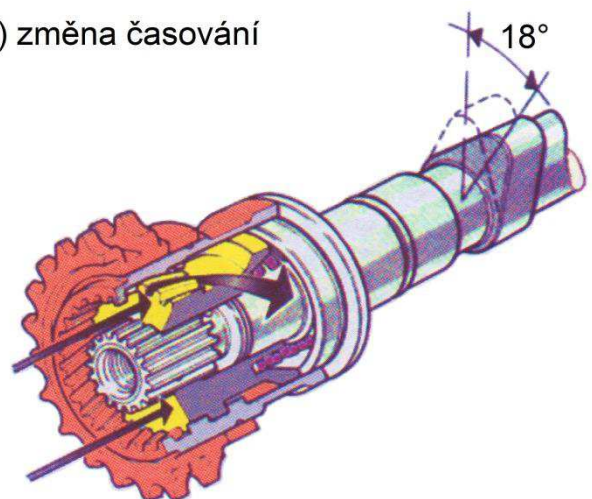
Nejčastěji používaným řešením je natáčení vačkového hřídele. Primárně se jedná o vačkový hřídel sacích ventilů, pouze některé systémy umožňují natáčení i vačkového hřídele výfukových ventilů. Doba otevření ventilů i jejich zdvih je při stejných otáčkách stále konstantní, mění se pouze okamžik otevření nebo uzavření ventilů. Podmínkou pro realizaci natáčení vačkového hřídele je použití rozvodu se dvěma vačkovými hřídeli, tedy rozvodu DOHC. Přesto, že toto řešení není ideální, bylo pro svoji jednoduchost často používáno. Jistou nevýhodou je fakt, že při vyšších otáčkách sice prodlužuje dobu stříhání ventilů, tím ale dojde ke zmenšení úhlu za dolní úvratí, kdy dojde k zavření sacího ventilu. Celkově je ale vliv na průběh točivého momentu a výkon příznivý.

Společnost Alfa Romeo v roce 1985 představila motor **Alfa Romeo 2.0 TS** s elektrohydraulickým měničem časování. Koncová část vačkové hřídele sacích ventilů, která slouží i k pohonu vačkové hřídele od řetězu z hřídele klikového je vybavena elektrohydraulickým měničem který umožňuje natáčení o úhel 18° . V hlavě řetězového kola je šroubovými drážkami vedené vložné pouzdro, které je opatřeno vnitřním přímým drážkováním. To umožňuje posuvný pohyb mezi vačkovým hřídelem sacích ventilů a vloženým pouzdem. Vložené pouzdro je v základní poloze drženo vinutou pružinou. Pokud na jeho čelní plochu bude působit tlak oleje proti směru působení pružiny, dojde k jeho posunutí a zároveň se spolu s vačkovým hřídelem natočí o zmiňovaný úhel. Tato změna je pouze dvoupolohová. Další inovace tohoto systému úhel měnily v rozmezí $15^\circ - 30^\circ$. Mění se tak pootočení vačkového hřídele sacích ventilů vůči své základní poloze. Také by se dalo říct, že se mění úhel pootočení vačkového hřídele vůči klikové hřídeli, hodnoty úhlů je pak nutné uvažovat dvojnásobné.

a) základní poloha



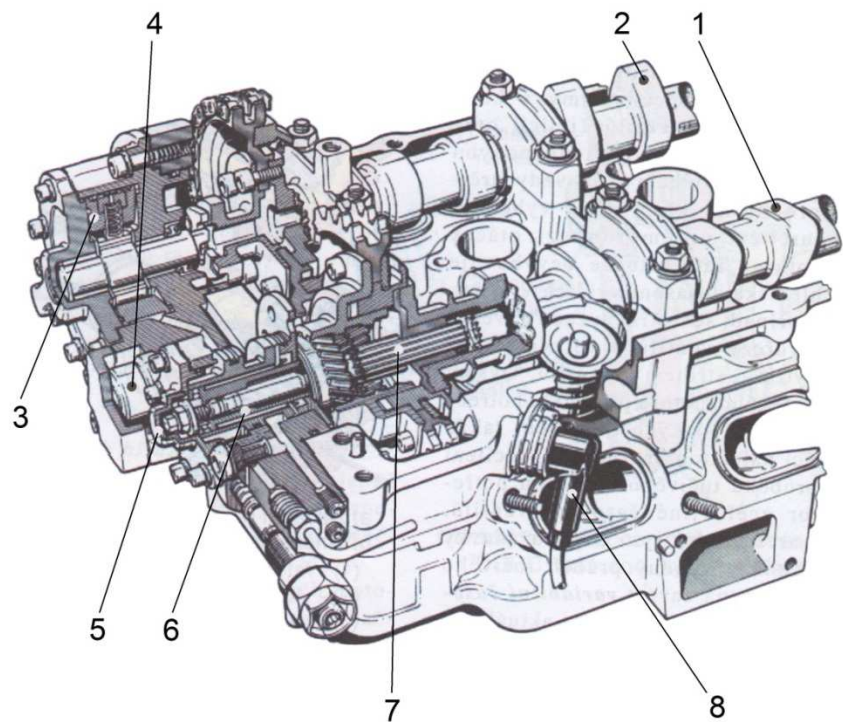
b) změna časování



Obrázek 4.2 Elektrohydraulický měnič časování sacích ventilů u motoru Alfa Romeo 2.0 TS
1-řetězové rozvodové kolo, 2-vložené pouzdro, 3-vačkový hřídel, 4-vinutá pružina [14]

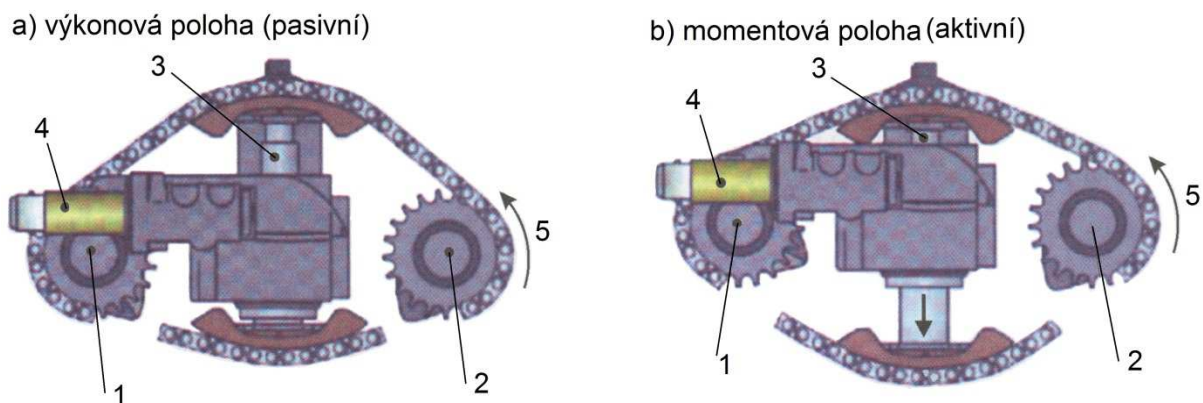
Na podobném principu pracuje systém **BMW VANOS** (Variable Nockenwellensteuerung). Tento systém představený v roce 1992 mění časování ventilů plynulým natočením vačkového hřídele sacích ventilů podle provozního režimu a to o úhel 21° . Elektronická řídicí jednotka vyhodnocuje hodnoty otáček motoru a polohy škrtkové klapky, na jejichž základě rozhoduje o natočení vačkového hřídele sacích ventilů. K pohybu vloženého pouzdra dojde hydraulicko-mechanickým způsobem za pomoci tlakového oleje, který působí na píst buď z jedné, nebo z druhé strany vloženého segmentu. V tomto případě tedy není potřeba vratná pružina, jako tomu bylo u předchozího systému. Tlakový olej je pod pracovním tlakem 10 MPa. O to se stará čerpadlo poháněné z konce vačkového hřídele výfukových ventilů.

Další možností je napínání řetězového rozvodu, na tomto principu pracují například systémy koncernu Volkswagen. Natočení vačkového hřídele je dosaženo pomocí dvou kladek, které na jedné straně řetěz spojující vačkový hřídel výfukových ventilů s vačkovým hřídelem sacích ventilů prodlužují a na druhé straně naopak zkracují. Klikový hřídel pohání vačkový hřídel výfukových ventilů. Ten se tedy nenatáčí, ale vůči němu se natáčí vačkový hřídel sacích ventilů. Pro zajímavost si uvedeme i časovací diagram motoru Audi 1,8 20 V. Ten je nastaven tak, že při nízkých a středních otáčkách uzavírá sací ventily dříve, tím se rozumí 12° za dolní úvratí. Dochází tak k mírnému střihu ventilů. Zatímco při velmi vysokých otáčkách nebo při pohybu vozidla na volnoběh se sací ventily uzavírají později a to 34° za dolní úvratí. Dosahuje se tak vysokých točivých momentů ve střední oblasti otáček a vysokého výkonu při vysokých otáčkách. Nastavovač je ovládán elektricky řízeným hydraulickým válcem, jehož činnost je regulována elektronickou řídicí jednotkou.

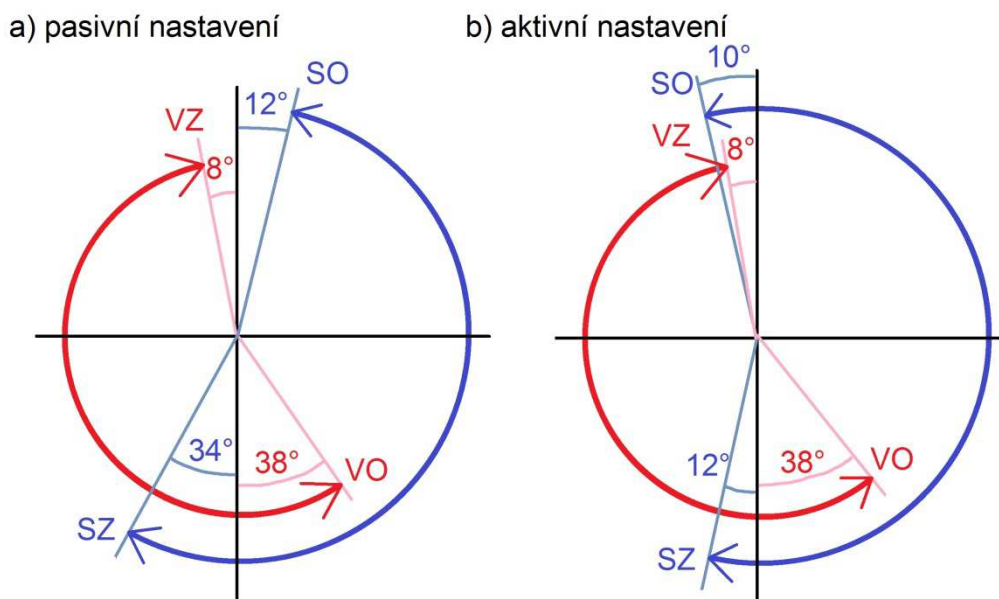


Obrázek 4.3 BMW VANOS

1-vačkový hřídel sacích ventilů, 2-vačkový hřídel výfukových ventilů, 3-čerpadlo, 4-elektromagnetický ventil, 5-natáčecí ústrojí, 6-vložené pouzdro, 7-drážkový hřídel, 8-snímač polohy vačkového hřídele sacích ventilů [14]

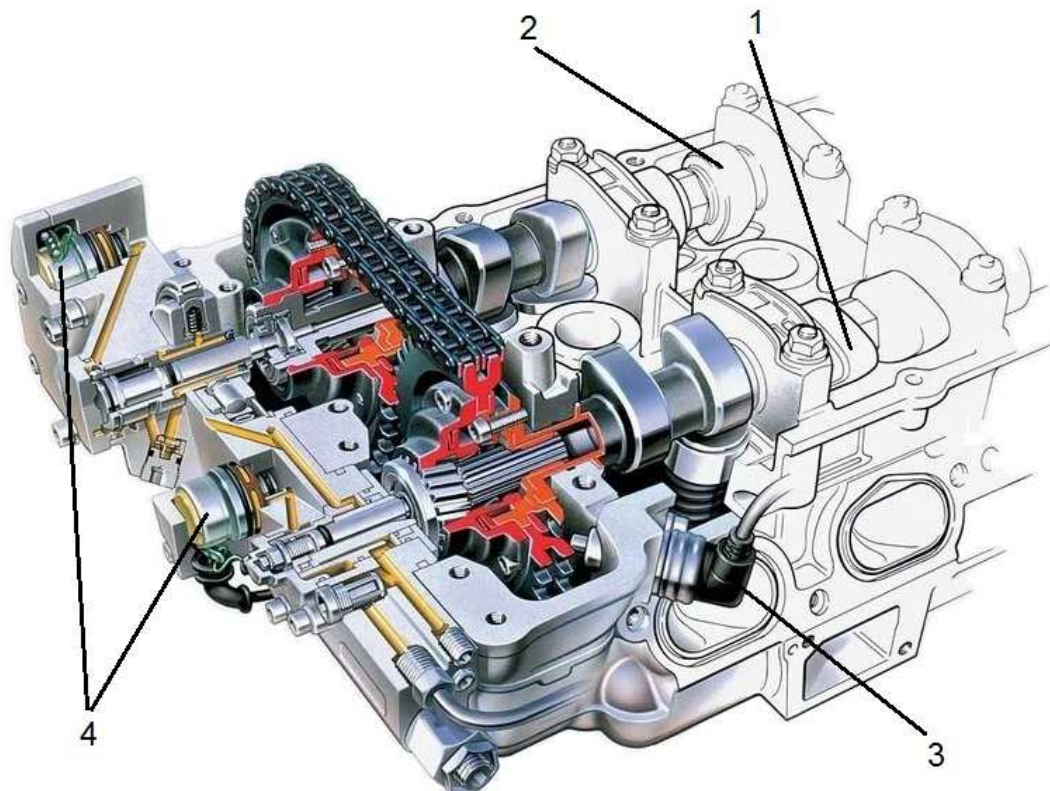


Obrázek 4.4 Princip činnosti proměnného časování ventilů Audi 1,8 20V
1-vačkový hřídel sacích ventilů, 2-vačkový hřídel výfukových ventilů, 3-nastavovač vačkového hřídele, 4-hydraulický válec, 5- směr otáčení [14]



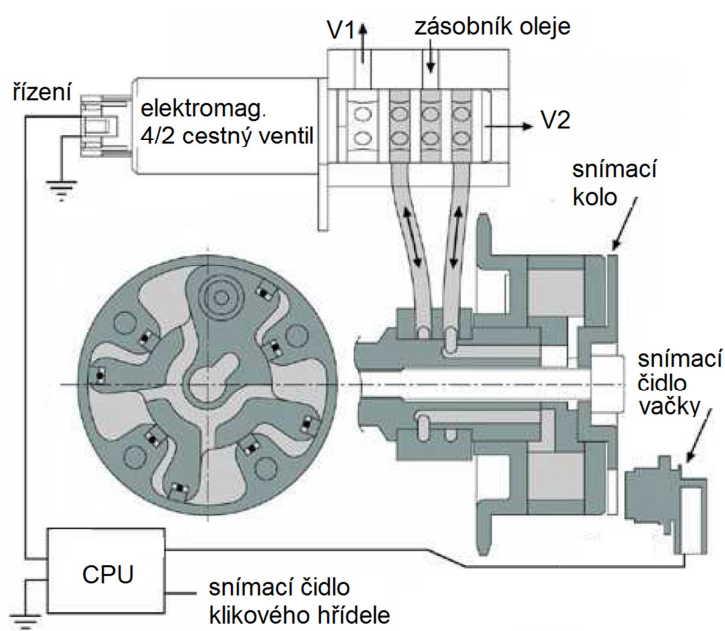
Obrázek 4.5 Kruhový diagram časování ventilového rozvodu motoru Audi 1,8 20V[14]

Velkým pokrokem byl další systém **BMW Double VANOS**, představený v roce 1997, který umožňuje natačení jak vačkového hřídele sacích ventilů, tak i vačkového hřídele výfukových ventilů. Dále má tento systém větší úhel pootočení, až 30°. Tohoto pootočení dosahuje plynulým pohybem.



Obrázek 4.4 BMW Double VANOS
1-vačkový hřídel sacích ventilů, 2-vačkový hřídel výfukových ventilů, 3-snímač otáček a polohy vačkového hřídele sacích ventilů, 4-elektromagnetické ventily

Mezi tyto systémy patří také ty, které fungují na principu otočného hydromotoru. Měnič se skládá z vnitřní a vnější části, přičemž vnitřní část je pevně spojena s vačkovým hřídelem a pomocí hydraulického oleje je spojena s vnější částí. Tlak oleje je regulován pomocí elektromagnetického ventilu na základě údajů, které zpracovává elektronická řídicí jednotka. Čímž pak dochází k vzájemnému pootočení vnější a vnitřní části měniče a tedy i vačkové hřídele. Tento měnič je možné použít jak na vačkový hřídel sacích tak i výfukových ventilů. Zároveň se jedná o levnější konstrukční řešení, než řešení s axiálním posuvem po vačkovém hřídeli. Na tomto principu pracuje například systém **Porsche Variocam**.



Obrázek 4.5 Blokové schéma kontinuálního ovládní vačkových hřídelí [21]

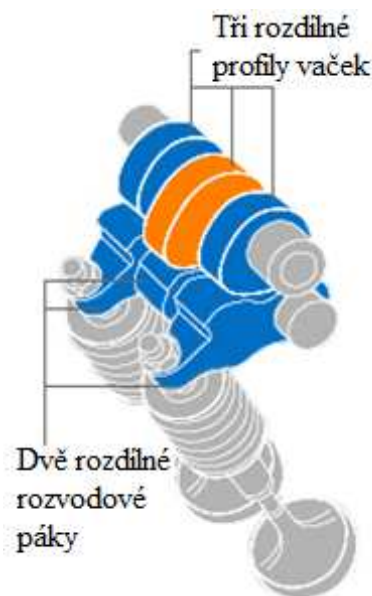
4.2 Variabilní ovládání ventilů

Optimálním, ovšem konstrukčně náročnějším způsobem řízení je plynule regulovatelná změna časování ventilů kombinovaná s regulací jejich zdvihu. Takto konstruované zařízení pak umožňuje největší volnost při optimalizaci parametrů motoru při různých podmínkách.

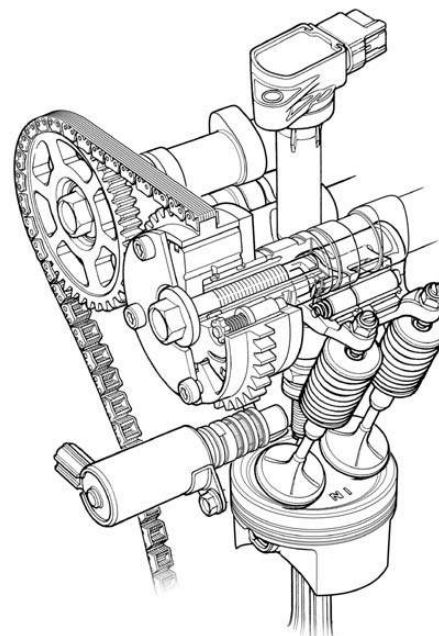
Poměrně jednoduchým a zajímavým řešením je systém společnosti Honda nazývaný **VTEC** (Variable valve timing and lift electronic control), který umožňuje skokovou změnu časování ventilů a zároveň změnu velikosti zdvihu ventilů. Pro vysvětlení bude použit motor 1,6 VTi, který má čtyři válce a pro každý má dva výfukové a dva sací ventily. Vždy na dvojici ventilů připadají tři vačky a tři rozvodové páky. Při provozu motoru v oblasti nižších otáček otevírají ventily dvě krajní vačky přímo prostřednictvím rozvodových pák. Přičemž každá vačka má jiný profil, takže ventily mají různý zdvih, což napomáhá kvalitnímu rozvření směsi. Prostřední vačka se pohybuje naprázdno. Při vyšších otáčkách dochází k hydraulickému posuvu dvoudílného čepu, který mechanicky propojí všechny tři rozvodové páky. Tím se uvede v chod prostřední vačka, která má odlišný profil a mění tak okamžik otevírání a zavírání ventilů i jejich zdvih. Povel k posunutí čepu hydraulickým tlakem dává elektronická řídicí jednotka, která vyhodnocuje údaje o otáčkách motoru, teplotě motoru, rychlosti vozidla a zatížení motoru.

Další inovace toho řešení přinesly označení **VTEC-E** (Economy), kde při nízkých otáčkách motoru je vždy jeden ze sacích ventilů na každém válci vyřazen z provozu což zlepšuje ekonomiku provozu. Poslední úspěšnou inovací je **i-VTEC**. Jedná se o klasický systém VTEC doplněný o měnič pracující na principu rotačního hydromotoru. Ten je umístěn na konci vačkového hřídele sacích ventilů. Tato možnost umožňuje kromě změny zdvihu ventilů i plynule regulovat okamžik otevírání nebo zavírání ventilů.

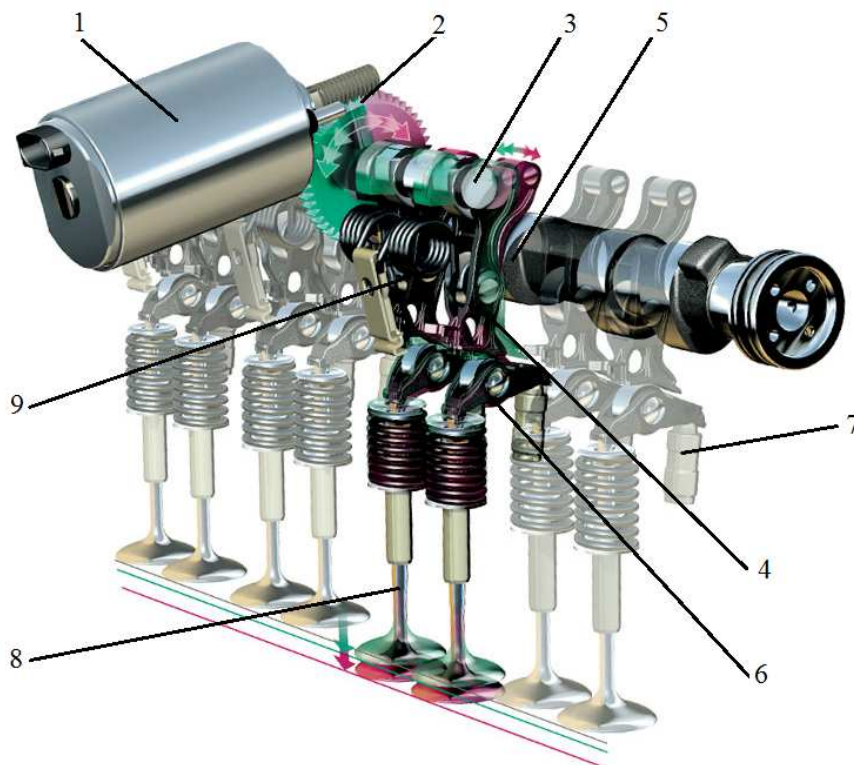
Automobilka BMW také inovovala svůj systém Double VANOS a výsledkem je variabilní rozvod **BMW Valvetronic**, který kromě natáčení vačkových hřídelů díky elektromechanickému zařízení zvládá změnu zdvihu ventilů. Vačka působí na rozvodovou páku prostřednictvím kladky vložené páky. Změnou polohy této vložené páky se mění mechanický převod mezi vačkou a rozvodovou pákou. Tato změna se reguluje pomocí výstředníkového hřídele, který je ovládán krokovým elektromotorem přes šnekové soukolí. Regulace vzduchu přiváděného do válce není prováděna škrtkou ale pouze velikostí zdvihu sacích ventilů. Tento systém tedy plně nahrazuje škrtkou, nicméně ta se v sacím potrubí stále nachází kvůli provozu v nouzovém režimu, jinak je stále naplněna otevřena.



Obrázek 4.6 Princip činnosti VTEC [22]

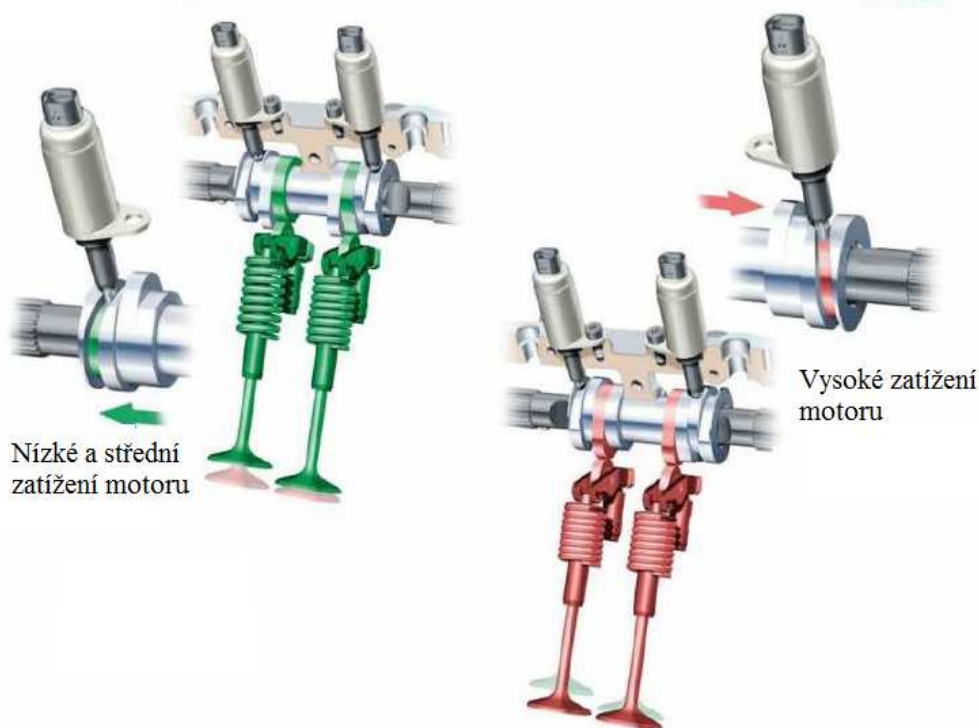


Obrázek 4.7 Schéma i-VTEC [23]



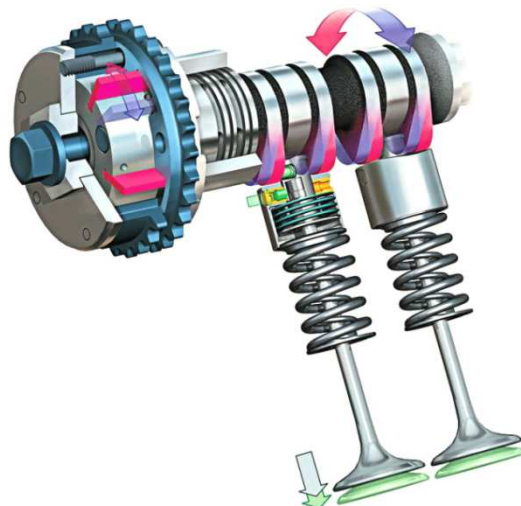
Obrázek 4.8 BMW Valvetronic
1-krokový elektromotor, 2-šnekový převod, 3-výstředníkový hřídel, 4-vložená páka, 5-vačka, 6-rozdvodová páka, 7-hydraulická opěrka, 8-sací ventil, 9-vratná pružina [24]

Systém **Audi Valvelift** pracuje na principu axiálního posunu vačkového elementu po vačkovém hřídeli. Na signál elektronické řídicí jednotky se kolík zasune do drážky spirálovitého tvaru a segment posune tak, že v činnost se uvede vačka odlišného profilu. Další kolík pak posouvá segment zpět do výchozí polohy. Vzhledem k profilu vaček se reguluje jak doba otevření či zavření ventilů, tak i velikost jejich zdvihu.



Obrázek 4.9 Audi Valvelift [25]

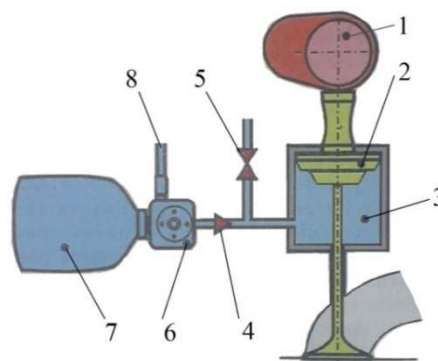
Porsche Variocam plus je systém, který vznikl z původního systému Variocam, který umožňuje fázové natočení vačkové hřídele sacích ventilů o 15° pomocí dvoustavového rotačního hydromotoru, přidáním děleného zdvihátka a speciální dělené vačky. V nízkých otáčkách motoru a jeho malém zatížení jsou sací ventily otevírány prostřední částí vačky a malým zdvihem. Při vyšších otáčkách a vyšším zatížení motoru dojde k posunutí čepu, který propojí obě části zdvihátka a ventily jsou pak řízeny postranními vačkami. K posunu čepu dochází hydraulicky na povel řídicí jednotky motoru.



Obrázek 4.10 Porsche Variocam plus [26]

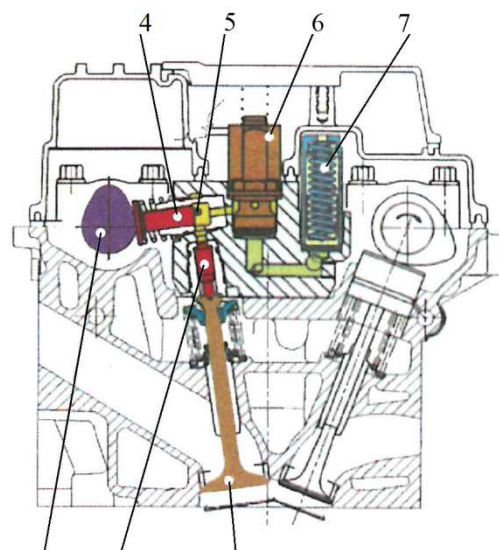
4.3 Zvláštní provedení ventilových rozvodů

Pneumatické zavírání ventilů poprvé použila společnost Renault. Tento způsob uzavírání ventilů umožňuje dosažení vyšších otáček, při kterých by žádná pružina nebyla schopna ventil dostatečně rychle uzavřít bez enormních rázů. Během otevírání ventilu vačkou se píst v pracovním válci posouvá směrem dolů a stlačuje vzduch ve válci. Jakmile vačka ventil uvolní, stlačený vzduch okamžitě ventil uzavře. Netěsnostmi unikající vzduch je neustále doplňován ze zásobníku tlaku. Tento způsob využívají motory F1.



Obrázek 4.11 Pneumatické uzavírání ventilů
1-vačkový hřídel, 2-píst, 3-pracovní prostor, 4-zpětný ventil, 5-přetlakový ventil, 6-redukční ventil, 7-zásobník tlaku, 8-přívod stlačeného vzduchu [14]

Mechanicko-hydraulické ovládání ventilů VVA (Variable valve actuation) představila automobilka Fiat. Mechanická funkce vačky je doplněna elektronicky řízeným hydraulickým systémem umístěným mezi vačkou a sacím ventilem. Je možné měnit nejenom dobu otevření, ale i zdvih a to u každého ventilu nezávisle. Není potřeba ani škrťací klapka, protože elektronická řídicí jednotka sama určuje množství nasátého vzduchu vzhledem k množství vstříknutého paliva. Tímto způsobem je též možné vypínat v danou chvíli nepotřebné válce.

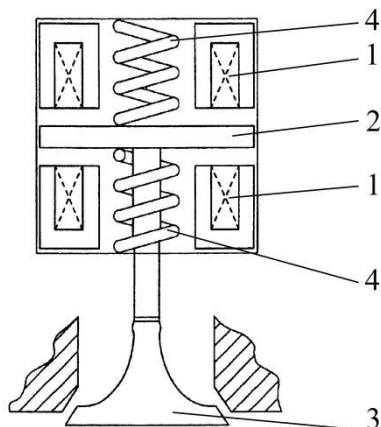


Obrázek 4.12 Elektromagneticky řízený mechanicko-hydraulický systém
1-sací ventil, 2-brzdící pístek, 3-vačka, 4-pracovní píst, 5-pracovní komora, 6-elektromagnetický ventil, 7-zásobník tlaku [14]

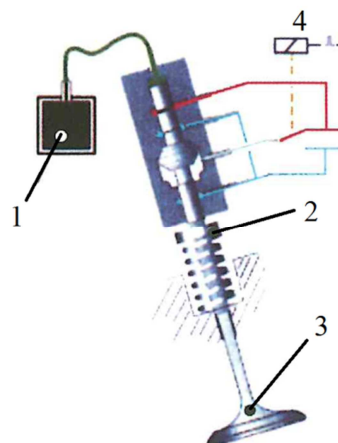
Elektro-hydraulické ovládání ventilů

S tímto řešením přišla společnost Mercedes-Benz. Jedná se o řešení, kdy není potřeba vačková hřídel. Každý ventil je ovládán samostatně a nezávisle pomocí elektrohydraulického systému řízeného pouze elektronicky. Opět je možné vypínání nepotřebných válců.

Elektromagnetické ovládání ventilů známe pod zkratkou EVA (Electromagnetic valve actuator) funguje na principu spínání elektromagnetů. Ventil je opatřen dvěma vratnými pružinami a pevným jádrem, které je přitahováno staticky umístěnými elektromagnety. Dobu otevření ventilu a jeho zdvih je možné kontrolovat elektronickou řídicí jednotkou. Tento systém se však v automobilech nepoužívá a to pro nízké palubní napětí a problémy s přesným ustavením ventilu.



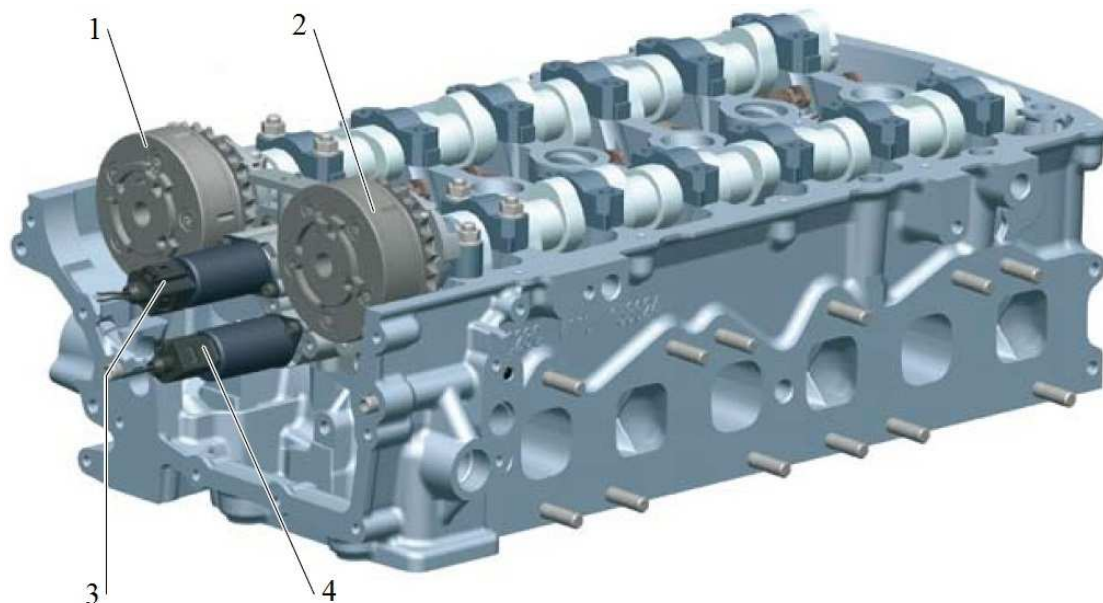
Obrázek 4.13 Elektromagnetické ovládání ventilů
1-elektromagnet, 2-jádro, 3-ventil, 4-pružina [27]



Obrázek 4.14 Elektrohydraulický systém ovládání ventilů
1-regulační hydraulický člen, 2-zpětná pružina, 3-ventil, 4-zdroj elektronického impulsu [14]

4.4 Přestavovač vačkových hřídelů motoru VW 3,6 FSI

Šestiválcový motor 3,6 FSI, který v současné době pohání nejvýkonnější verzi vozu Škoda Superb, kombinuje technologii přímého vstřikování paliva s možností natáčení vačkového hřídele sacích i výfukových ventilů. Dále disponuje poměrně vysokým zdvihovým objemem a díky dalším sofistikovaným systémům nabízí výkon 191 kW.



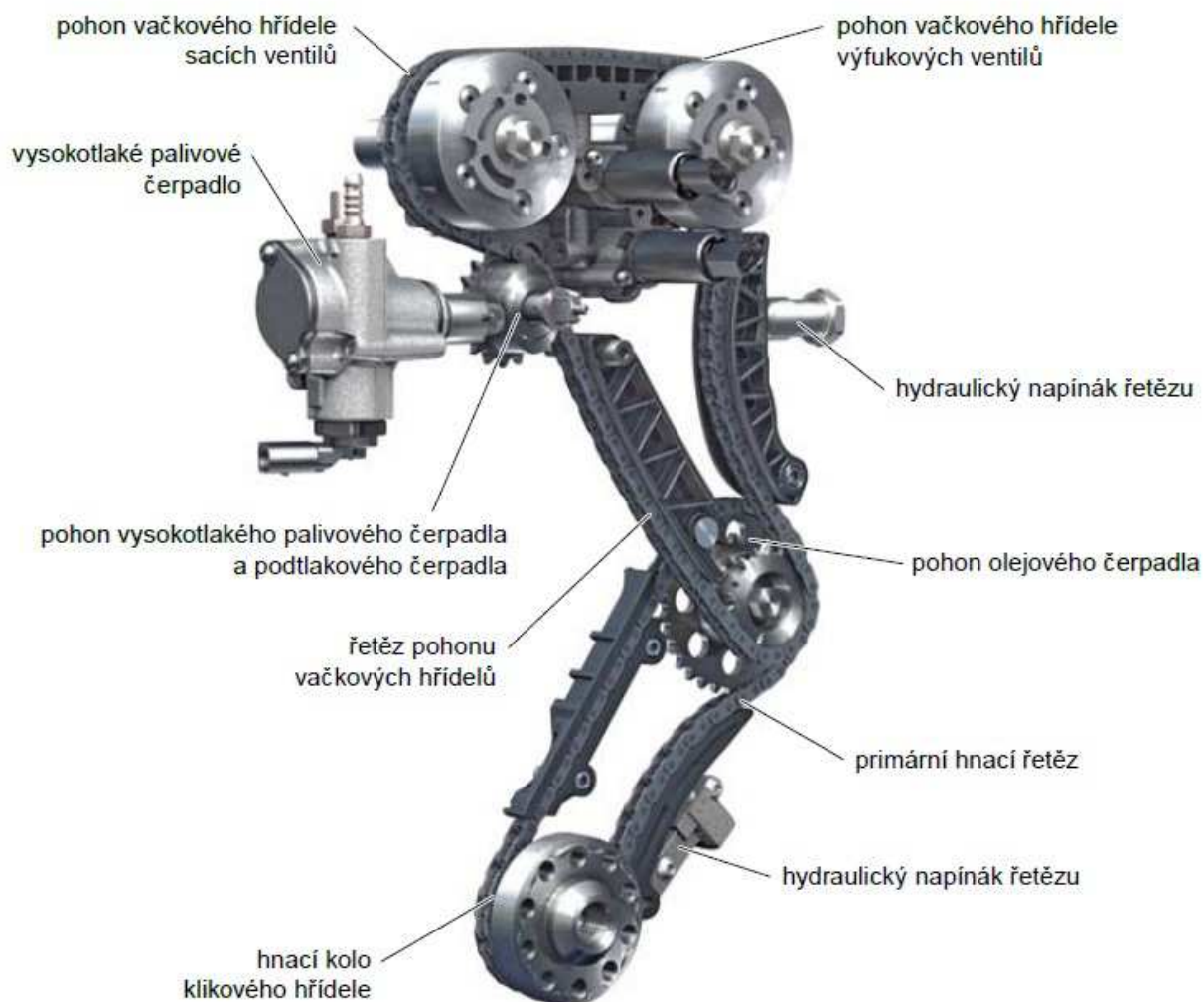
Obrázek 4.15 Přestavování vačkových hřídelů
1-přestavovač vačkového hřídele sacích ventilů, 2-přestavovač vačkového hřídele výfukových ventilů, 3-ventil N205, 4-ventil N318 [28]

K natáčení vačkových hřídelů je použito dvou přestavovačů pracujících na principu rotačního hydromotoru. Oba vačkové hřídele je možno natáčet v obou směrech, tedy jak do polohy “dříve“, tak i “později“. Rozsah natáčení vačkového hřídele sacích ventilů činí 52°, v případě vačkového hřídele výfukových ventilů 42° vůči pootočení klikového hřídele. Ve výsledku je možné dosáhnout stříhu ventilů až 42°.

Přestavování realizuje elektronická řídicí jednotka Bosch Motronic MED 9.1, která spíná elektromagnetické ventily. Pro vačku sacích ventilů se jedná o ventil N205 a pro vačku výfukových ventilů podobný N318. Pomocí tlaku motorového oleje, který tyto ventily regulují, pak dochází k vzájemnému natáčení vnitřní a vnější části jednotlivých přestavovačů. Vnější části přestavovačů jsou poháněny jedním rozvodovým řetězem. Vnitřní části jsou pevně spojeny s příslušnou vačkou.



Obrázek 4.16 Elektromagnetický ventil N205 [29]



Obrázek 4.17 Řetězový rozvod [28]

Mezi základní části přestavovače patří vnitřní a vnější rotor, vnitřní a čelní kryt. Řetězové kolo sloužící k pohonu přestavovače je upevněno k vnitřnímu krytu. Vnitřní rotor je radiálně vrtaný tak, aby bylo možno z jeho středu přivádět tlakový olej do pracovních prostorů mezi vnějším a vnitřním rotorem. Další důležitou součástí je sestava blokovacího čepu, který udržuje vnitřní rotor přestavovače v neutrální poloze, pokud není přiveden tlakový olej. Pokud je olej přiveden, dojde k nadzvednutí čepu a přestavení vačkového hřídele v příslušném směru. Velmi podstatnou součástí je také střed přestavovače, který zajišťuje přívod motorového oleje z elektromagnetického ventilu a dále musí svou konstrukcí umožnit připojení vačkového hřídele.



Obrázek 4.18 Přestavovač vačkového hřídele [30]

5 Návrh konstrukčního řešení vybrané části

5.1 Analýza problému

Většina systémů pracujících na principu rotačního hydromotoru pracuje dvoupolohově, to znamená, že vačková hřídel může být natočena buď v poloze „dříve“ nebo v poloze „později“. Systém, který byl podrobně popsán v kapitole 4.4, umožňuje jednak provoz v neutrální poloze, přičemž tato poloha musí být mechanickým způsobem zajištěna. Dále pak umožňuje natočení v obou směrech, a tedy provoz při maximálním natočení buď v poloze „dříve“, nebo v poloze „později“. Tento systém tedy pracuje třípolohově.

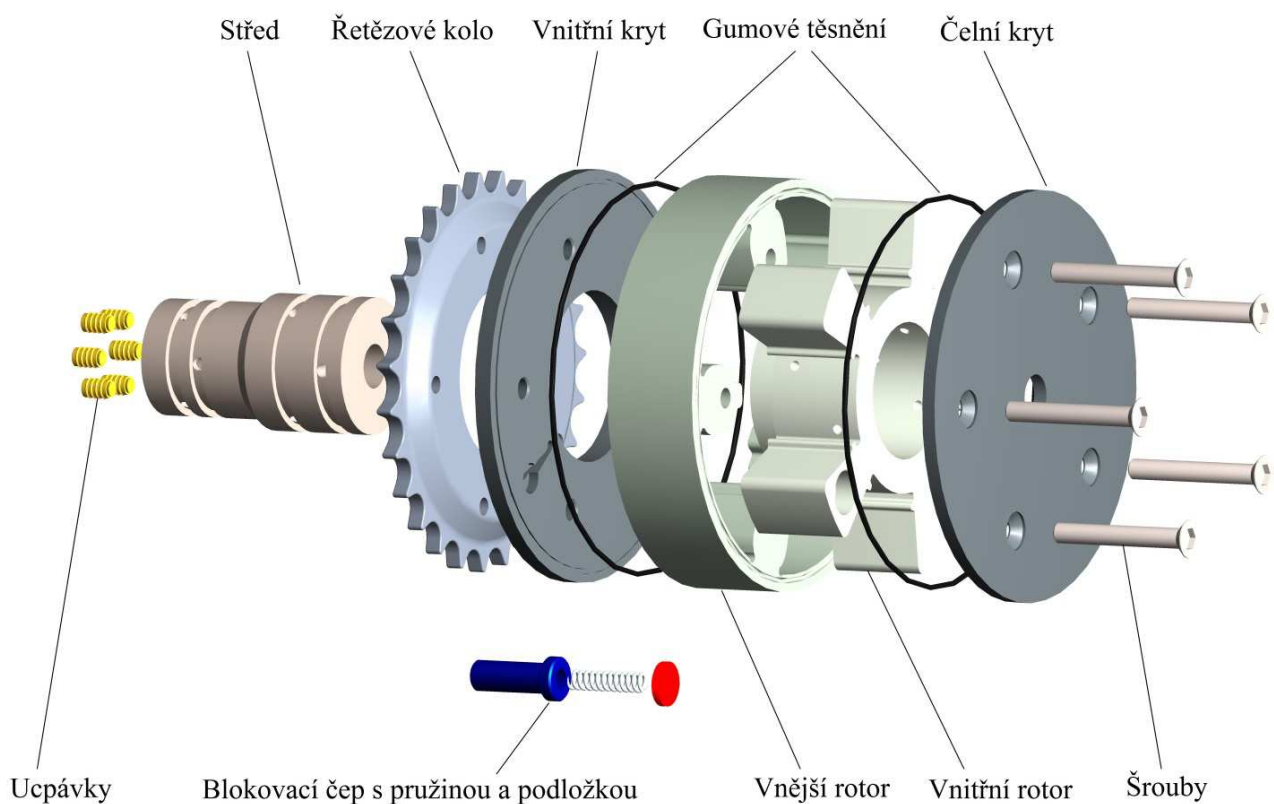
5.2 Specifikace požadavků

Primárním úkolem přestavovače vačkového hřídele je pochopitelně přenést točivý moment z rozvodového řetězu na vačkový hřídel a umožnit jeho natáčení. Konstrukce musí zahrnovat řetězové kolo a umožňovat spojení s vačkovým hřídelem.

Základním požadavkem na konstrukci, která přímo navazuje na zmiňovaný třípolohový systém je, aby bylo možné natáčet vačkovou hřídel v obou směrech a to vždy o 21°. Dále pak, aby neutrální poloha přestavovače byla zajištěna bez ohledu na přívod tlakového oleje. To je nezbytné jednak proto, že by bylo velice problematické zajistit správnou polohu pouze regulací tlakem a dále pak pro případ poruchy hydraulického obvodu, kdy je možné bez problému udržet motor v chodu, pouze bez možnosti regulace časování ventilů.

Rozměrové a tvarové požadavky na přestavovač stanovíme pouze s ohledem na prostor, kde bude při provozu umístěn.

5.3 Popis konstrukčního řešení

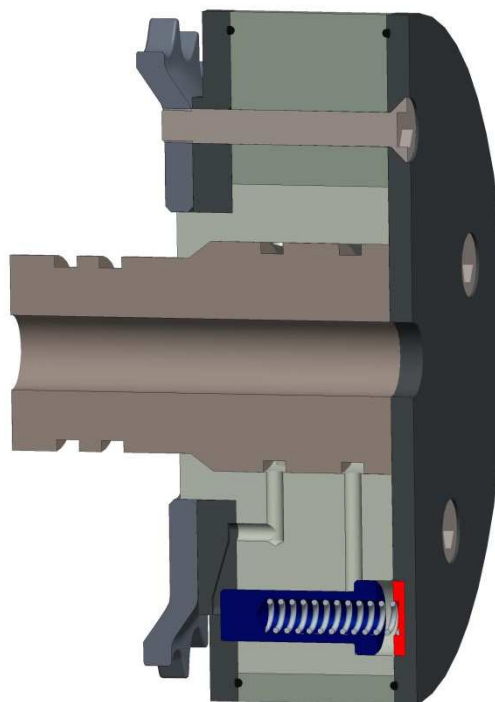


Obrázek 5.1 Rozstřel sestavy přestavovače

Pracovní prostory, kam se přivádí tlakový olej, jsou vytvořeny v prostoru mezi lamelami vnějšího a vnitřního rotoru. Čelní a vnitřní kryt společně s gumovým těsněním tento prostor utěsňují z čel. K vnitřnímu krytu je upevněno řetězové kolo. Pět lícovaných šroubů pevně spojuje čelní kryt, vnější rotor, vnitřní kryt a řetězové kolo. Vnitřní rotor v neutrální poloze udržuje sestava blokovacího čepu. Při přívodu tlaku do příslušných pracovních prostorů dojde k nadzvednutí čepu, který se vysune proti tlaku pružiny ze slepé díry, která je vytvořena ve vnitřním krytu. K nadzvednutí dojde díky tomu, že tlakový olej kromě do pracovních prostorů proniká i pod blokovací čep, nebo pod hlavu blokovacího čepu a to soustavou radiálních a axiálních kanálů vytvořených ve vnitřním rotoru a pomocí drážky vytvořené ve vnitřním krytu.



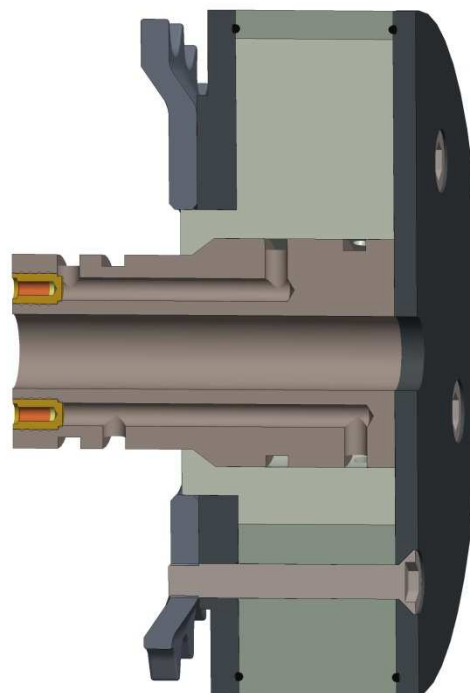
Obrázek 5.2 Pracovní prostory přestavovače



Obrázek 5.3 Přívod tlaku k blokovacímu čepu

Vnitřní rotor je dále radiálně vrtaný, což je vidět na obrázku 5.2. Díky těmto otvorům se tlakový olej dostane do příslušného pracovního prostoru. Součást nazvaná jako střed je šestkrát vrtaná v axiálním směru, přičemž dvě trojice děr mají odlišnou hloubku tak, aby bylo možno jimi přivést tlak buď do obvodové drážky, která se na obrázku 5.4 nachází úplně vpravo, nebo do drážky druhé zprava. Tím se ovlivňuje, na kterou stranu se vnitřní rotor natočí a také kterým kanálem se tlak dostane k blokovacímu čepu. Střed je ještě opatřen radiálními dírami umístěnými v obvodových drážkách, kterými se tlak z axiálních děr dostane do těchto drážek, odkud pak dále skrz díry ve vnitřním rotoru do příslušných pracovních prostorů.

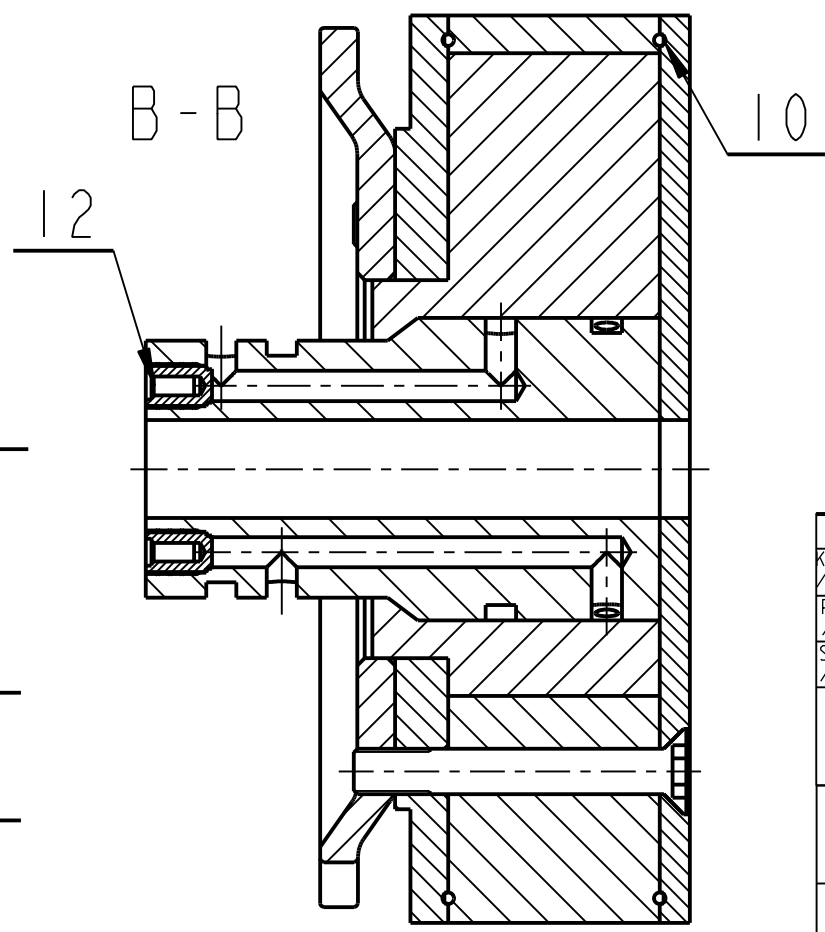
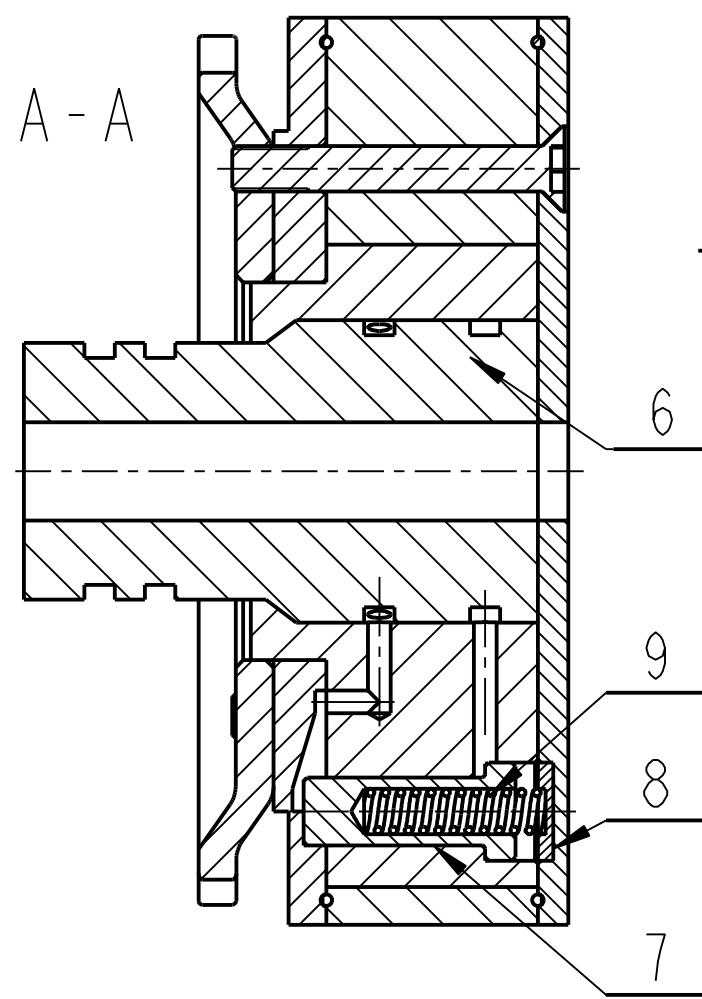
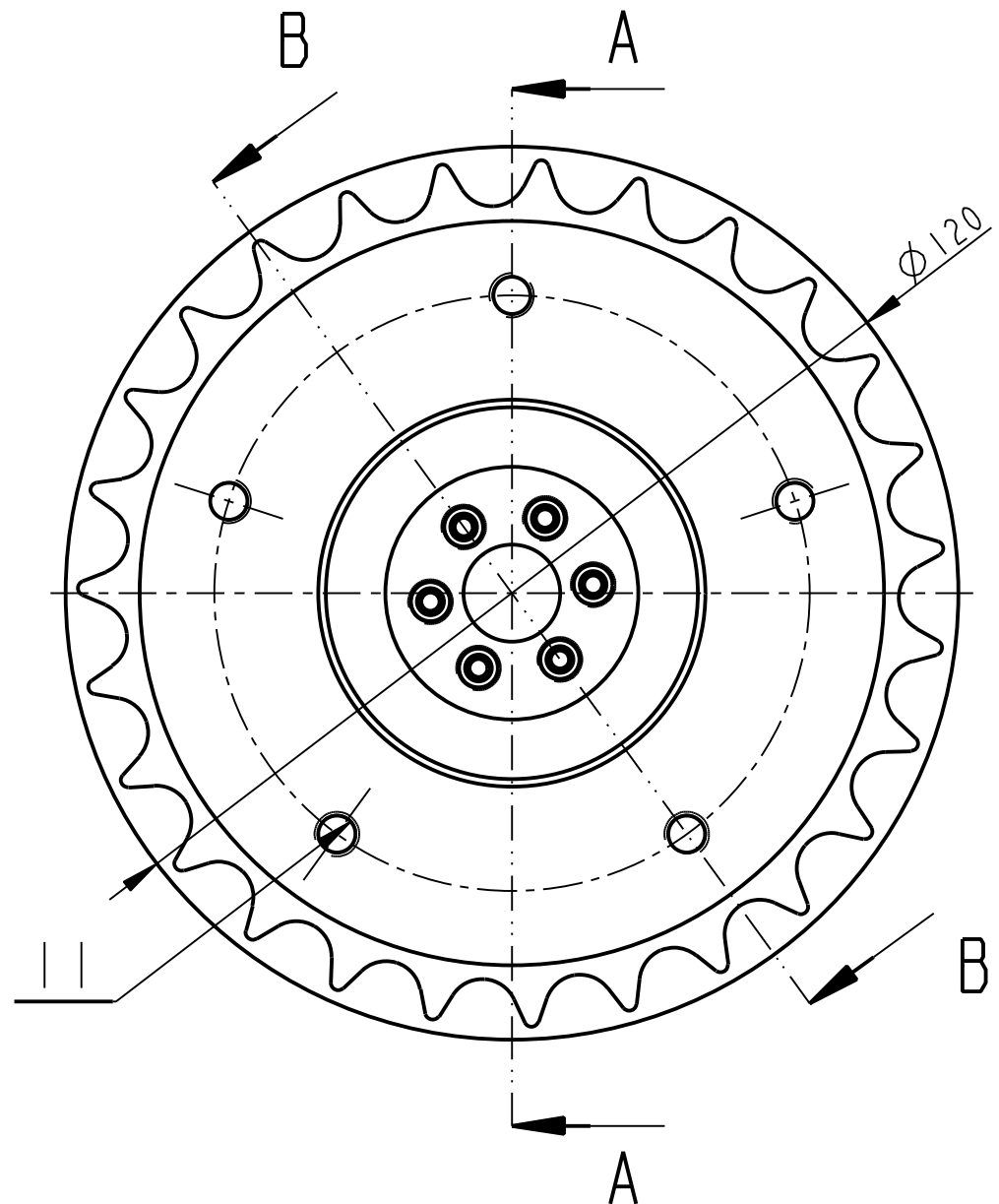
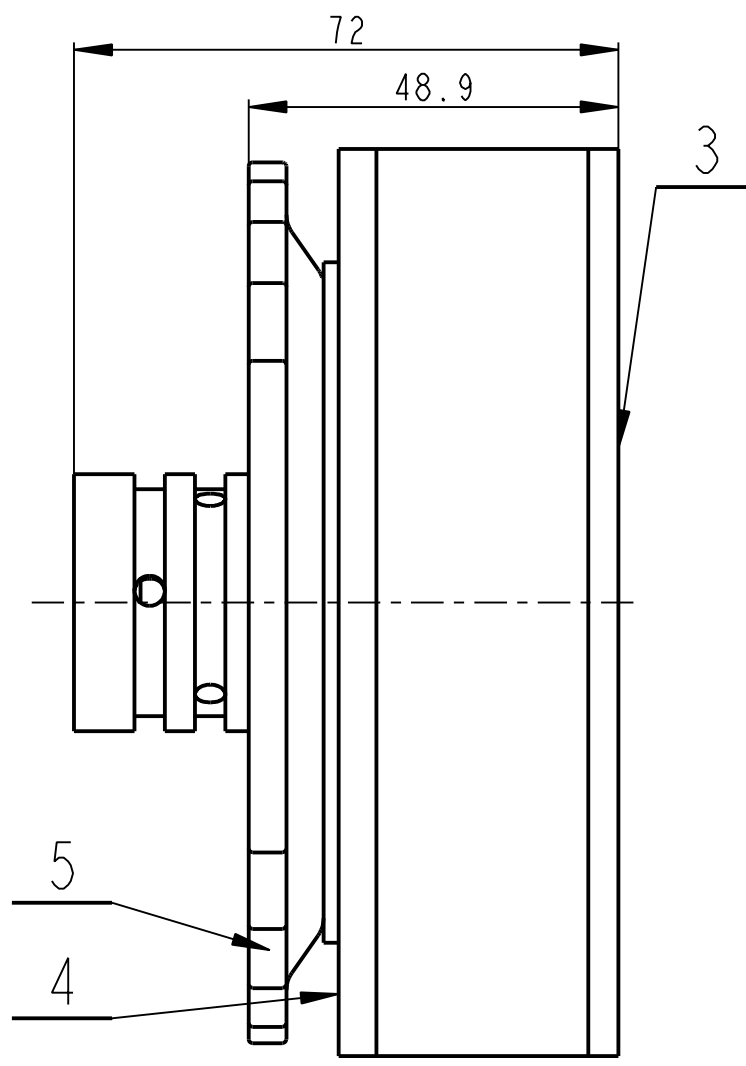
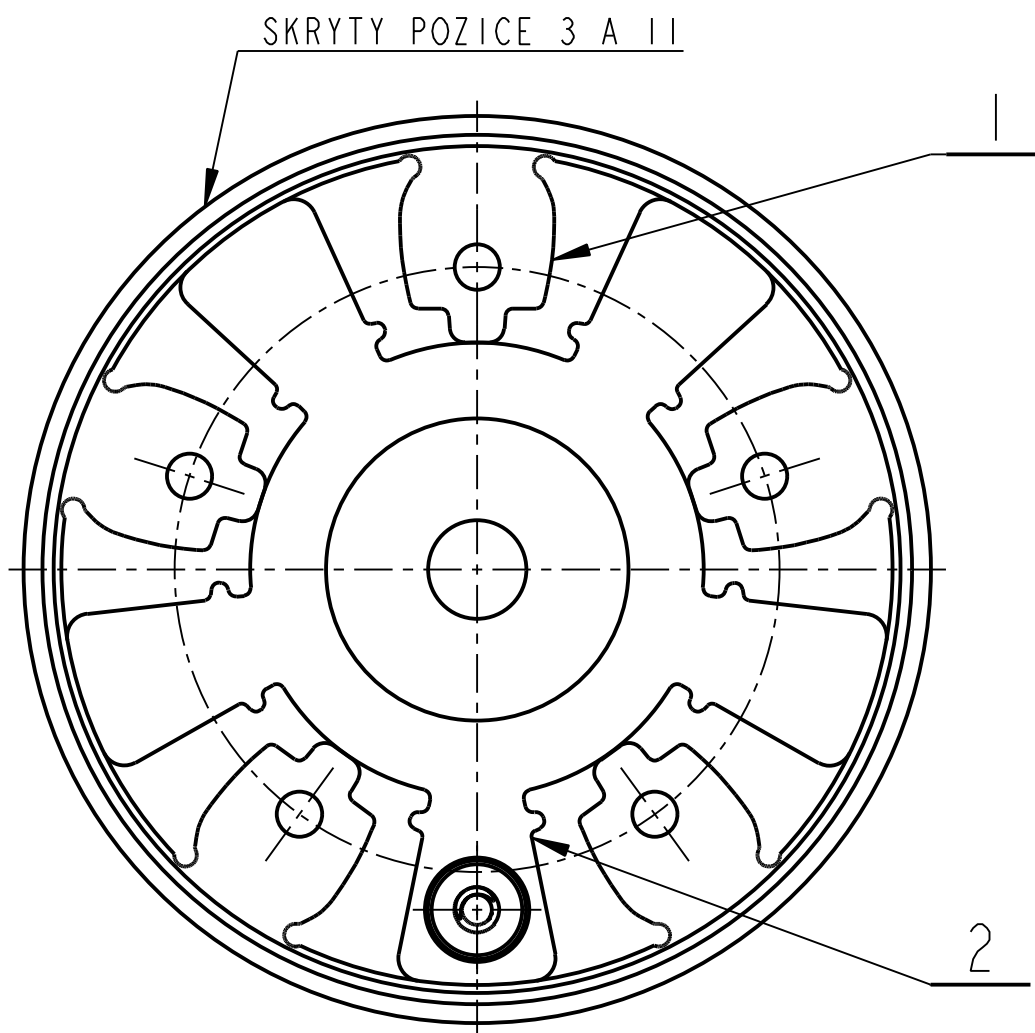
Levá část středu s menším průměrem by byla vsazena do další součásti a k přenosu tlakového oleje by docházelo na základě stejného principu, jako je tomu na straně pravé. Tento způsob umožňuje přívod tlaku ze středu přestavovače směrem k jeho obvodu. Je nutné si uvědomit, že celý přestavovač se otáčí otáčkami příslušející polovině otáček motoru, přičemž zásobník tlaku a elektromagnetické ventily jsou pevně umístěny.



Obrázek 5.4 Přívod tlaku středem

Seznam použité literatury

- [1] http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d6f6c656b756c6f76e12066797a696b61h&key=377
- [2] <http://www.motorera.com/dictionary/ve.htm>
- [3] http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/audi-a3-potreti-zbrusu-nove_41181.html
- [4] <http://blog.autoworld.com.my/wp-content/uploads/2012/02/mqb-3.jpg>
- [5] http://auto.idnes.cz/foto.aspx?r=automoto&foto1=FDV3103f4_DB2009AU00886_medium.jpg
- [6] <http://www.autoznanosti.cz/index.php/motor/36-ventilove-rozvody-zakladni-rozdeleni.html>
- [7] <http://www.autoznanosti.cz/images/stories/motor/desmodrom.jpg>
- [8] <http://www.automobilove-systemy.wz.cz/img/vstik.gif>
- [9] http://ar.v.mfstatic.cz/getthumbnail.aspx?q=100&height=320&width=640&cxrop=1&id_file=788835017
- [10] VLK, F.: Vozidlové spalovací motory. Brno: nakl. Vlk, 2003
- [11] http://www.goapr.com/products/pistons_20t_ea888.html
- [12] <http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>
- [13] <http://www.team-bhp.com/forum/technical-stuff/117271-basics-intake-length-vs-torque-hp.html>
- [14] JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B.: Automobily – motory. Brno: nakl. Avid, 2008
- [15] http://www.mahle-aftermarket.com/MAHLE_Aftermarket_NA/en/Products-&Services/Exhaust-gas-turbochargers
- [16] <http://www.sdrm.org/roster/diesel/emd/history/roots.html>
- [17] http://wardsauto.com/ar/tvs_programs_supercharger_081021
- [18] <http://mustangforums.com/forum/pipes-boost-and-juice/92444-positive-displacement-supercharger-info.html>
- [19] <http://wot.motortrend.com/mce5-to-debut-220hp-15l-engine-with-variable-compression-ratio-at-geneva-3891.html/14885447-jpeg/>
- [20] http://www.kvm.tul.cz/studenti/texty/PSM/PSM_19.pdf
- [21] <http://www.freepatentsonline.com/66924099.html>
- [22] <http://cs.autolexicon.net/articles/vtec-variable-valve-timing-and-lift-electronic-control/>
- [23] <http://icrixs.wordpress.com/pend-otomotif/mesinengine/mekanisme-katup/i-vtec/>
- [24] <http://cs.autolexicon.net/articles/valvetronic/>
- [25] <http://www.audiworld.com/articles/the-new-audi-valvelift-system/>
- [26] http://cs.autolexicon.net/obr_clanky/cs_variocam_plus_001.jpg
- [27] <http://www.freepatentsonline.com/6741441.html>
- [28] ŠKODA AUTO a.s.: Dílenská učební pomůcka 69 – Zážehový motor 3,6 l/191 kW FSI
- [29] <http://media.europaparts.com/catalog/product/cache/1/image/cd6085ca2ccd08373d4b6de971808fb4/0/6/06f109257c.jpg>
- [30] <http://www.autopartsgallery.com/Engine-Camshaft-Adjuster-Magnet-Variable-Cam-Timing.html>



	Datum	Jmeno/Name		Datum	Name						
Krestil/DWN.	29-Mar-14	Majer	Techno-log/ist								
Prezk./CHK			Prezk./CHK								
Schval./APP			Schval./APP								
	Index/No.	Schvalil/Appr.						popis zmeny/change	Datum	Podpis/Name	
ZAPADOCESKA UNIVERZITA v Plzni						Poznámka/Note:			C.hmotnost sestavy/Asm. weight		
Vsechna prava vyhrazena/All rights reserved									3.169		
Methode 1	TOLERANCE/TOLEROVANI	Soubor-model/ASM-file		KKS_BP_00_00_PRESTAVOVAC	Meritko	C.sestavy / Assembly No.					
ISO 128	ISO 80015 ISO 2768mK	Soubor-vykres/DRW-file		KKS_BP_00_00	SCALE	1:1	Typ/Type				
Nazev / Title						CISLO VYKRESU /DRAWING NO.			Format SIZE		
PRESTAVOVAC VACKOVEHO HRIDELE						KKS.BP.00.00			3		
						list/sheet 2			pocet listu/ no.sheets 2		

Pocet kusu	Název - rozmer	Polotovár	Material konečný / vychozí	T.odp	C.hmot.	Hr.hmot.	Císlo výkresu	Poz.
Quantity	Title - size	Blank	End material/material		Weight	Raw weight	Drawing No.	Pos.
1	VNEJSI ROTOR Ø 130 - 35	CSN 425510.12	11700	001	0.811	-	KKS.BP.00.01	1
1	VNITRNI ROTOR Ø 120 - 35	CSN 425510.12	11700	001	0.860	-	KKS.BP.00.02	2
1	CELNI KRYT PLO 140 x 8 Z - 140	CSN 425522.01	11700	001	0.334	-	KKS.BP.00.03	3
1	VNITRNI KRYT PLO 140 x 10 Z - 140	CSN 425522.01	11700	001	0.423	-	KKS.BP.00.04	4
1	RETEZOVE KOLO 140 x 5 - 140	CSN 425524.0	12050.4 12050	007	0.280	-	KKS.BP.00.05	5
1	STRED Ø 50 - 70	CSN 425510.12	11700	001	0.397	-	KKS.BP.00.06	6
1	BLOKOVACI CEP Ø 18 - 35	CSN 425510.12	12050.4 12050	007	0.012	-	KKS.BP.00.07	7
1	PODLOZKA 20 x 2 - 20	CSN 425510.12	11700	001	0.002	-	KKS.BP.00.08	8
1	PRUZINA HENNLICH	H 56/1/4			0.002	-		9
2	O-KROUZEK 112 x 2	DIN 3770	NBR70		0.002	-		10
5	SROUB M6 x 40	DIN 7991			0.011	-		11
6	ZASLEPKA MEUSBURGER	E 2078/6			0.002	-		12


	Datum	Jmeno/Name		Datum	Name				
Kreslil /DWN.	29-Mar-14	Majer	Techno- log/ist						
Prezk. /CHK			Prezk. /CHK						
Schval. /APP			Schval. /APP						
				Index/No.	Schvalil/Appr.		popis zmeny/change	Datum	Podpis/Name

ZAPADOCESKA UNIVERZITA v Plzni

Vsechna práva vyhrazena/All rights reserved

Poznámka/Note:

C.hmotnost sestavy/
Asm. weight 3.169

Methode 1
ISO 128 

TOLERANCE/
TOLEROVANI
ISO 80015
ISO 2768mK

Soubor-model/ASM-file
Soubor-vykres/DRW -file

KKS_BP_00_00_PRESTAVOVAC
KKS_BP_00_00

Meritko
SCALE 1:2

C.sestavy /
Assembly No. -
Typ/Type

Název / Title

PRESTAVOVAC VACKOVEHO HRIDELE

CÍSLA VÝKRESU /DRAWING NO.

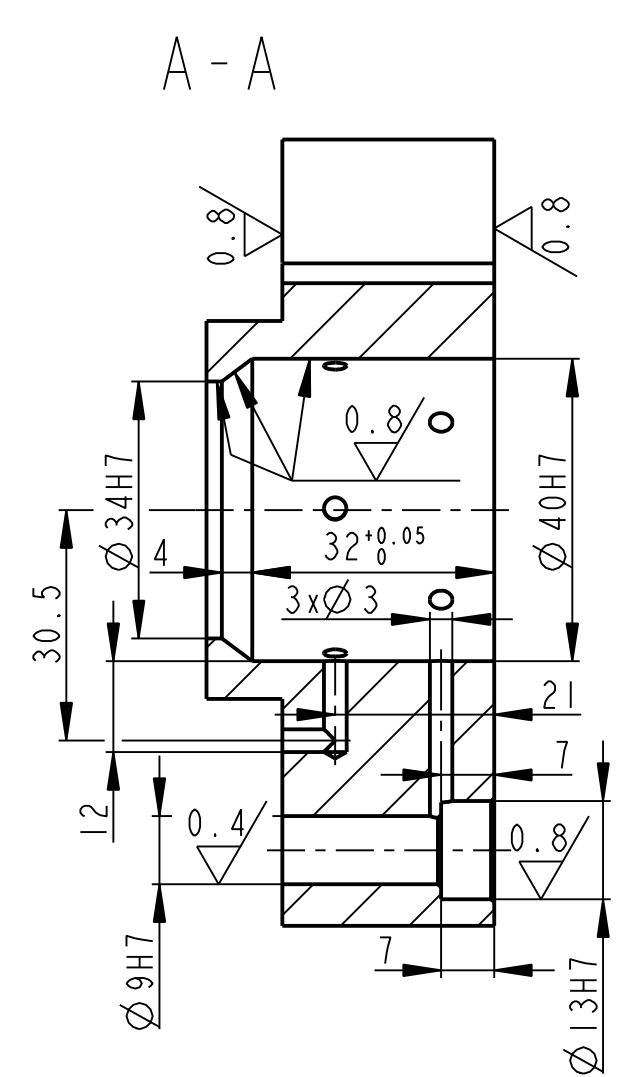
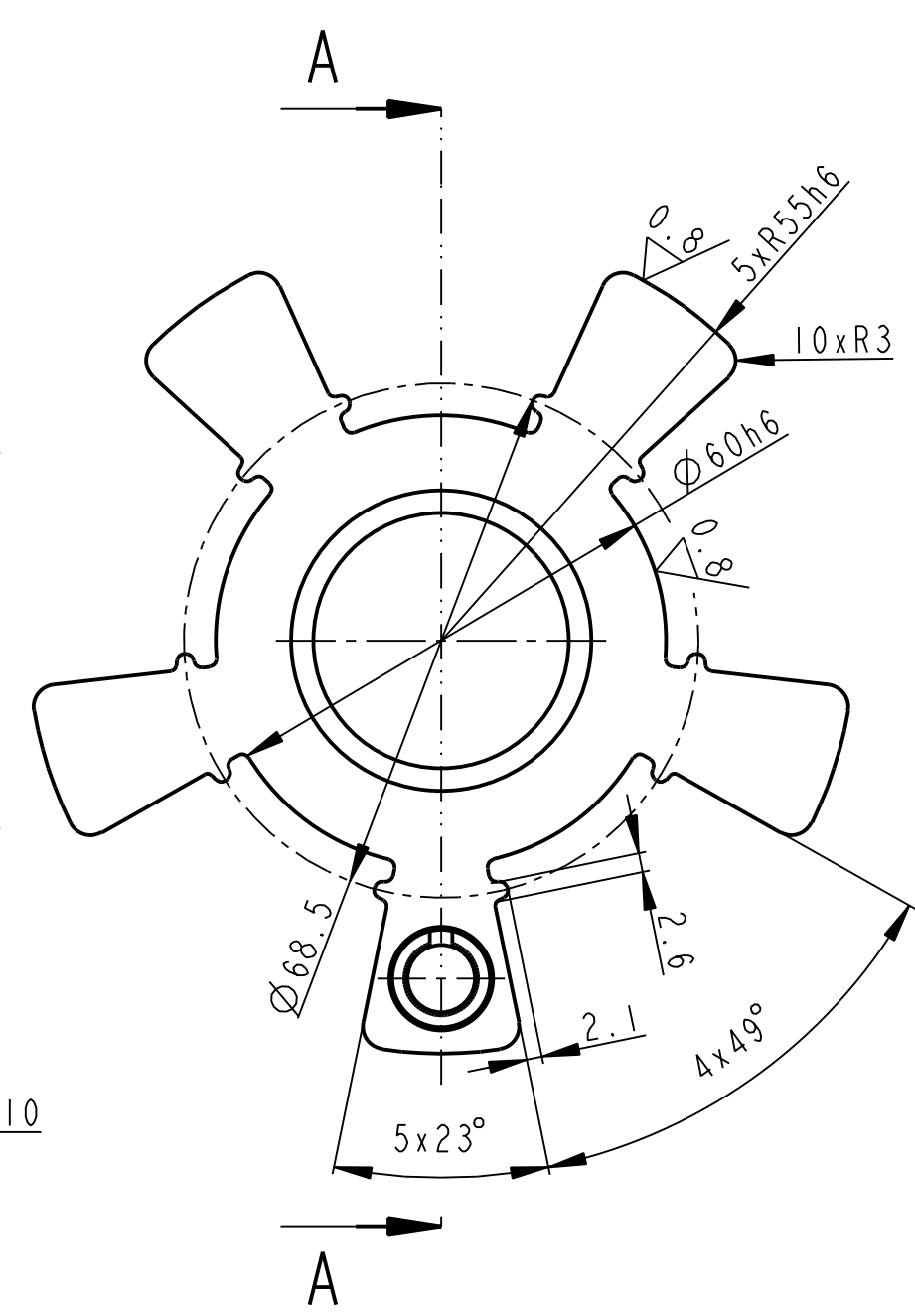
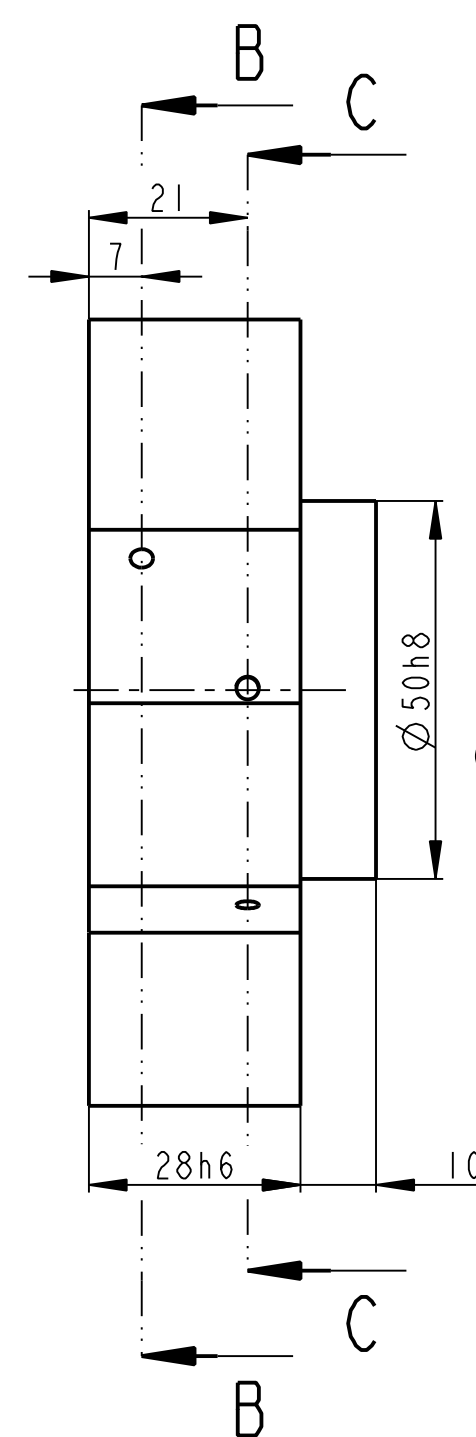
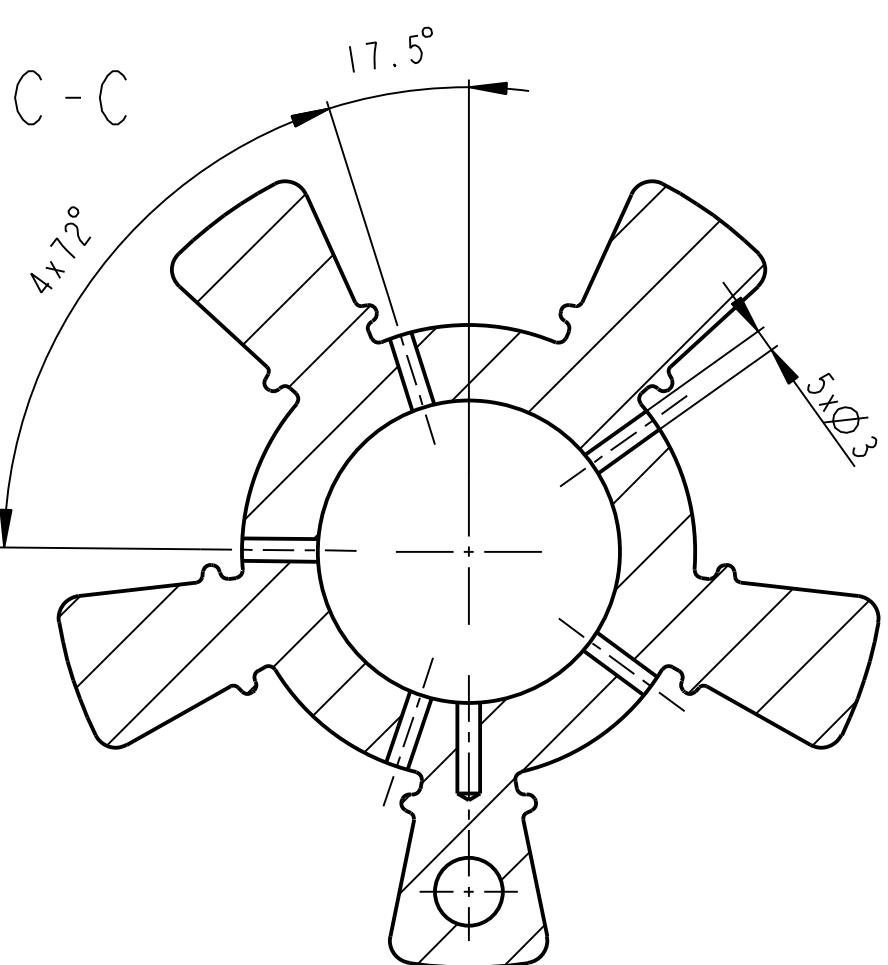
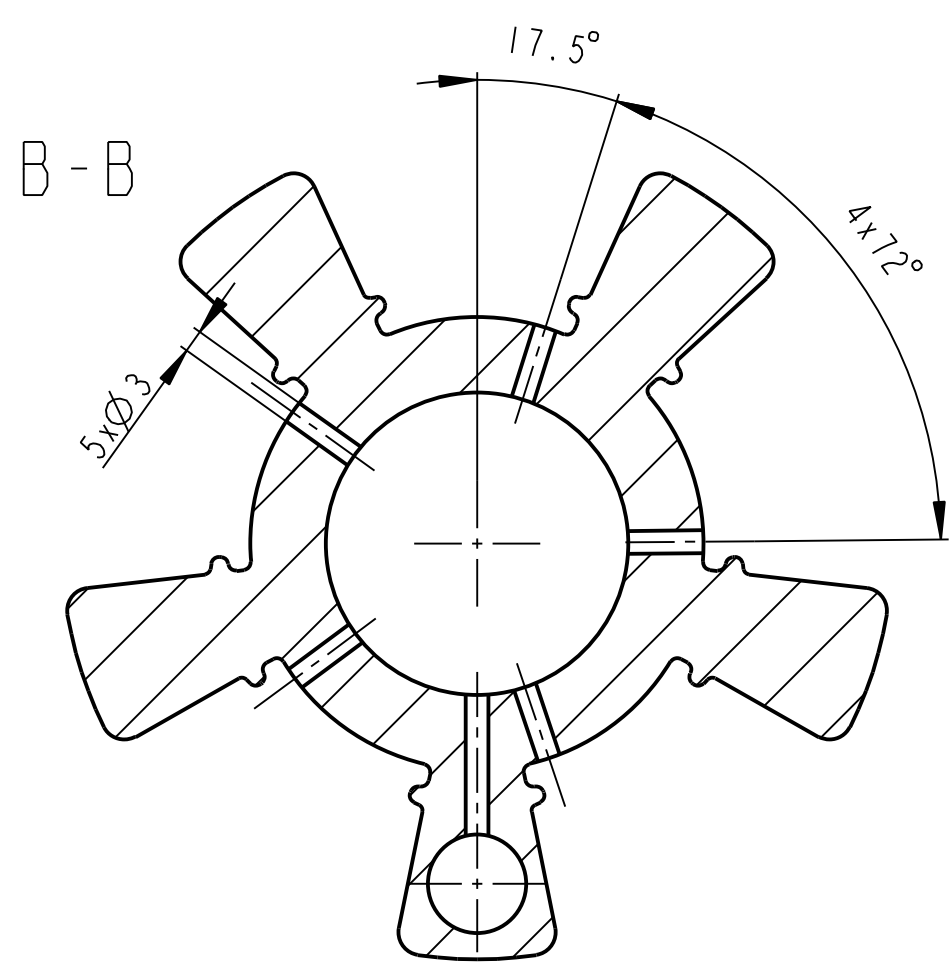
KKS.BP.00.00

Format
SIZE

List/sheet 1

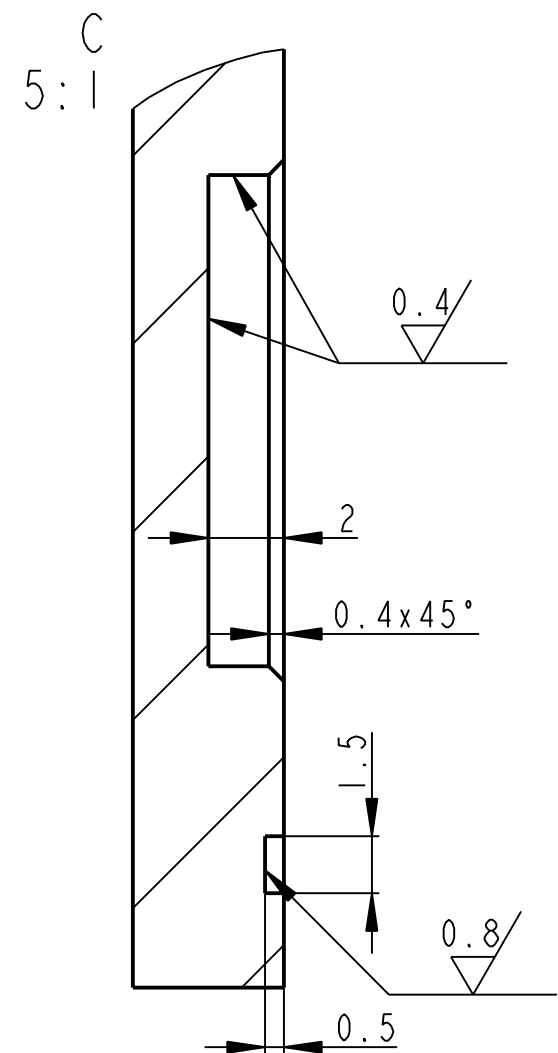
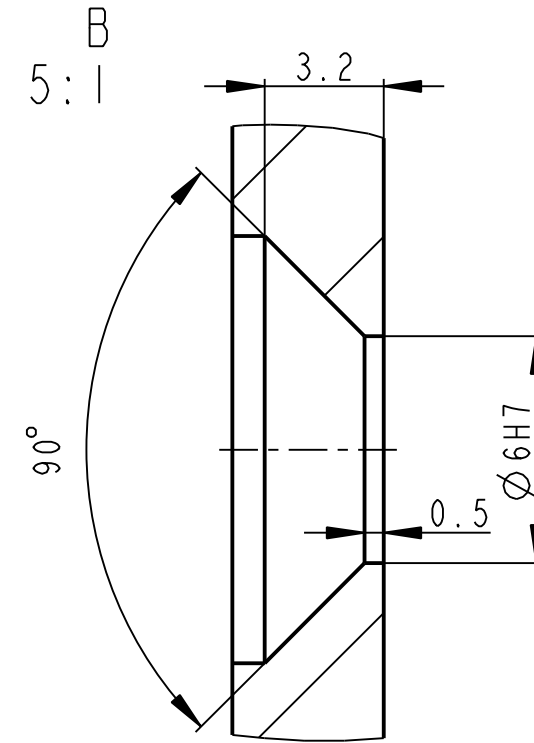
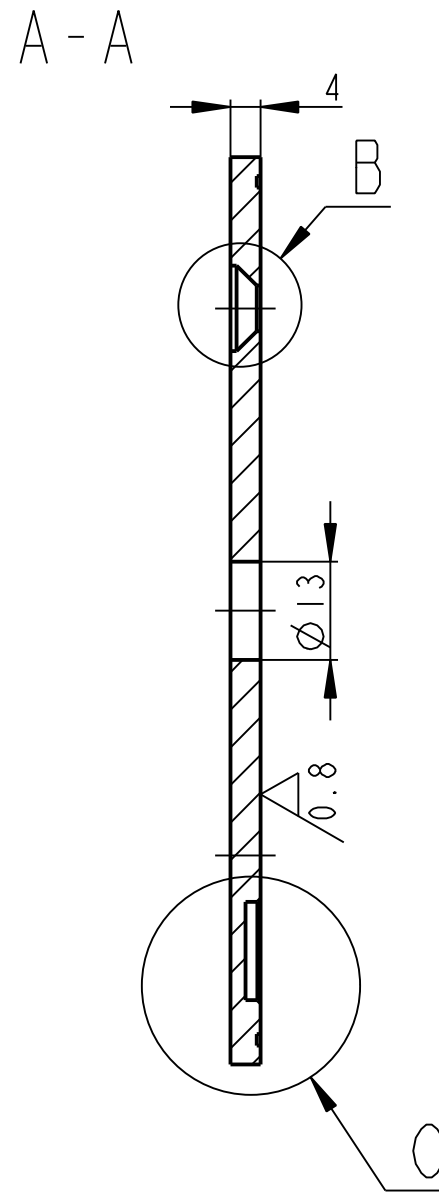
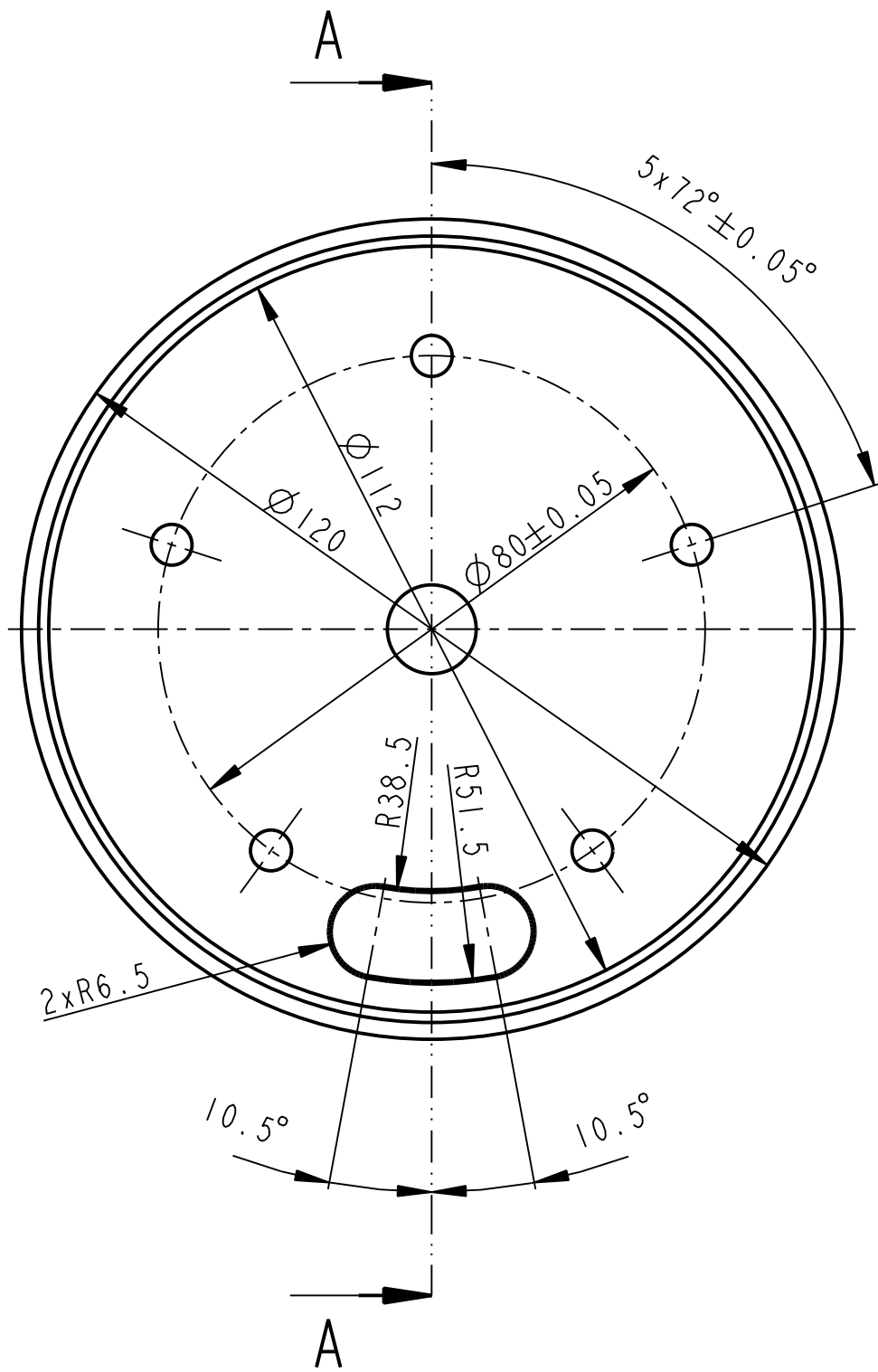
počet listů/ no.sheets 2

4



NEKOTOVANE RADIUSY R1
NEKOTOVANE SRAZENI 0,5x45°

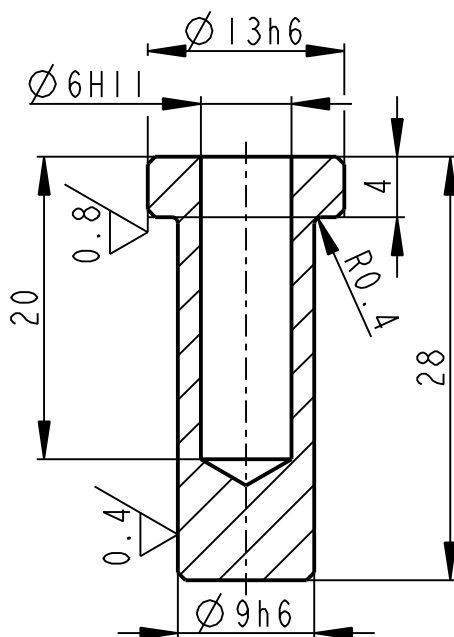
1	Ø120 - 35	CSN 425510.12	11700	001	0.860	-	KKS.BP.00.00	2
Pocet kusu Quantity	Název - rozmer Title - size	Polotovarov Blank	Material konecny/výchozí End material/Material	T.odp.	C.hmot. Weight	Hr.hmot. Raw weight	C. výkr. sestavy Drawing asm. No.	Poz. Pos.
Kreslil/DWN.	Datum	Jmeno/Name	Techno-log/ist	Datum	Name			
Prezk./CHK			Prezk./CHK					
Schval./APP			Schval./APP					
ZAPADOCESKA UNIVERZITA v Plzni Vsechna prava vyhrazena/ALL rights reserved							Poznamka/Note:	
Methode 1 ISO 128	TOLERANCE/ TOLEROVANI ISO 80015 ISO 2768mK	Soubor-model/PART-file Soubor-vykres/DRW-file	KKS_BP_00_02_VNITRNI_ROTOR KKS_BP_00_02	Meritko SCALE	1:1	C.sestavy / Assembly No. Typ/Type	KKS.BP.00.00	
Název / Title VNITRNI ROTOR							CISLO VYKRESU /DRAWING NO. KKS.BP.00.02	
							List/sheet 1 pocet listu/ no.sheets 1	
							Format SIZE 3	



3.2/(✓)

I	PLO 140 x 8 Z - 140	CSN 425522.01	11700	001	0.334	-	KKS.BP.00.00	3
Pocet kusu / Quantity	Název - rozmer / Title - size	Polotovary / Blank	Material konecny/výchozí / End material/Material	T.odp.	C.hmot. / Weight	Hr.hmot. / Raw weight	C. výkr. sestavy / Drawing asm. No.	Poz. / Pos.
	Datum / Date	Jmeno/Name / Name	Datum / Date					
Kreslil / DWN.	29-Mar-14	Majer	Technolog / ist					
Prezk. / CHK			Prezk. / CHK					
Schval. / APP			Schval. / APP					
	Index/No	Schvalil / Appr.			popis zmeny/change		Datum	Podpis/Name
ZAPADOCESKA UNIVERZITA v Plzni							Poznámka/Note:	
Vsechna prava vyhrazena/ALL rights reserved								
Methode 1 / ISO 128	TOLERANCE / TOLEROVANI / ISO 80015 / ISO 2768mK	Soubor-model/PART-file	KKS_BP_00_03_CELNI_KRYT	Meritko / SCALE	1:1	C.sestavy / Assembly No.	KKS.BP.00.00	
Nazev / Title		Soubor-vykres/DRW-file	KKS_BP_00_03	Typ/Type		CISLO VYKRESU /DRAWING NO.		Format SIZE
CELNI KRYT						KKS.BP.00.03		3
						List/sheet 1 / pocet listu/ no.sheets 1		

3.2 / (✓)



NEKOTOVANA SRAZENI 0,5x45°
KALIT A POPOUSTET NA HRC 60

1	Ø 18 - 35	CSN 425510.12	12050.4 12050	007	0.012	-	KKS.BP.00.00	7
Pocet kusu	Název - rozmer	Polotovar	Material konecny/v ýchozí	T.odp.	C.hmot.	Hr.hmot.	C. výkr. sestavy	Poz.
Quantity	Title - size	Blank	End material/Material		Weight	Raw weight	Drawing asm. No.	Pos.
Kreslil /DWN.	Datum	Jmeno/Name	Techno-log/ist	Datum	Name			
Prezk./CHK			Prezk./CHK					
Schval./APP			Schval./APP					
ZAPADOCESKA UNIVERZITA v Plzni			Index/No.	Schvalil/Aprpr.	popis zmeny/change	Datum	Podpis/Name	
Vsechna prava vyhrazena/All rights reserved			Poznamka/Note:					

Methode 1 ISO 128	TOLERANCE/ TOLEROVANI ISO 80015 ISO 2768mK	Soubor-model/PART-file KKS_BP_00_07_BLOKOVAC I_CEP	Meritko SCALE	C.sestavy / Assembly No. KKS.BP.00.00
		Soubor-vykres/DRW -file KKS_BP_00_07	2:1	Typ/Type
Název / Title BLOKOVAC I CEP			CISLO VYKRESU /DRAWING NO. KKS.BP.00.07	
			List/sheet 1	pocet listu/ no.sheets 1
			Format SIZE 4	