

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



Bakalářská práce

Historický vývoj spalovacích motorů

Roman Stehlík

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Roman Stehlík

Technika a technologie v dopravě a spojích
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Historický vývoj spalovacích motorů

Název anglicky

Historical evolution of internal combustion engines

Cíle práce

Cílem práce je literární rešerše zabývající se vývojem spalovacích motorů.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Přehled řešené problematiky
4. Závěr
5. Seznam použitých zdrojů
6. Přílohy

Doporučený rozsah práce

30-40 str. včetně obrázků, tabulek a grafů

Klíčová slova

spalovací motor, palivo, pracovní cyklus

Doporučené zdroje informací

HROMÁDKO, Jan. Spalovací motory: Komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol [online]. Praha: Grada, 2011 [cit. 2019-11-26]. ISBN 978-80-247-3475-0.

MACEK, Jan. Spalovací motory. 2. vydání. Praha: ČVUT Praha, 2012. ISBN 978-80-0105-015-6.

REMEK, Branko. Automobil a spalovací motor: Historický vývoj [online]. Praha: Grada, 2012 [cit. 2019-11-27]. ISBN 978-80-247-3538-2.

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2020

Ing. Martin Kotecký, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 09. 02. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Historický vývoj spalovacích motorů" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Jakobovi Maříkovi, Ph.D. za rady a konzultace při psaní této práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za velkou podporu při studiu.

Historický vývoj spalovacích motorů

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá historickým vývojem spalovacích motorů, jejich konstrukcí a použitým materiálem pro výrobu. V úvodu této práce je popsána historie vzniku spalovacích motorů, základní popis konstrukce a rozdělení. V druhé části této práce jsou popsány významné milníky pro spalovací motory, které ovlivnily jejich vývoj.

Klíčová slova: spalovací motor, palivo, pracovní cyklus, kliková hřídel, píst, ventil

Historical evolution of internal combustion engines

Abstract

The bachelor thesis deals with the historical development of internal combustion engines, their construction and the materials used for their production. In the introduction of this thesis, the history of the development of internal combustion engines is described, as well as a basic description of the design and distribution. The second part of this thesis describes the important milestones for internal combustion engines that influenced their development.

Keywords: internal combustion engine, fuel, crankshaft, piston, valve

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce a metodika.....	2
3	Přehled řešené problematiky	3
3.1	Definice spalovacího motoru	3
3.2	Konstrukce pístového spalovacího motoru.....	3
3.2.1	Pístní skupina.....	3
3.2.2	Kliková skupina.....	5
3.2.3	Kliková skříň a blok válců.....	6
3.2.4	Hlava válců.....	8
3.2.5	Rozvodový mechanismus	9
3.3	Funkce pístového spalovacího motoru.....	12
3.4	Základní rozdělení spalovacích motorů.....	14
3.4.1	Rozdělení pístových spalovacích motorů	14
4	Historie.....	16
4.1	Parní stroj.....	16
4.2	Ottův motor.....	17
4.3	Dieslův motor	17
5	Minulé století.....	18
5.1	Dvoutaktní motory	18
5.1.1	Zážehové.....	18
5.1.2	Vznětové.....	20
5.2	Čtyřtaktní	20
5.3	Chlazení	21
5.3.1	Přímé chlazení	21
5.3.2	Nepřímé chlazení.....	22
5.4	Příprava směsi.....	24
5.4.1	Zážehové motory	24
5.4.2	Vznětové motory	26
5.5	Wankelův motor	29
6	Současnost.....	31
6.1	Přímé vstřikování paliva	31
6.2	Přeplňování	32
6.2.1	Turbodmychadla.....	32
6.2.2	Mechanicky hnaná dmychadla	34
6.3	Vypínání válců.....	35

7 Závěr	36
8 Bibliografie	37
9 Seznam použitých obrázků	41

1 Úvod

Spalovací motory jsou dnes nedílnou součástí života každého z nás. Především nám usnadňují dopravu za svými nejbližšími, do zaměstnání nebo na dovolenou. Jedná se o jeden z nejrozšířenějších strojů a každý se s tímto strojem ve svém životě setkal ať například v podobě automobilu, prostředku hromadné dopravy nebo zahradní sekačky. Tato bakalářská práce se z počátku zabývá definicí, popisem a konstrukcí spalovacího motoru. Poté je rozebrána historie. V posledních dvou kapitolách jsou popsány z mého pohledu největší milníky, které ovlivnily vývoj spalovacího motoru.

Historicky si spalovací motor prošel dlouhou cestou. Od parního stroje, přes první pokusy o jeho sestavení, až po podobu, v jaké ho známe dnes. Čím se spalovací motor zdokonaloval, tím se otevíraly možnosti pro jeho využití. Z počátku nahradil parní stroj v průmyslovém použití a v lodní dopravě. Dalšími vynálezy a vývojem začal spalovací motor ovlivňovat osobní i nákladní přepravu až tento obor zcela pohltil.

2 Cíl práce a metodika

Cílem této bakalářské práce je popsat historický vývoj spalovacích motorů, jejich konstrukci a konstrukci prvků které zásadně ovlivnili jejich vývoj. V první řadě je popsána definice, konstrukce a samotné rozdělení spalovacích motorů. Dále se práce zabývá historií, prvních strojů, které byly sestrojeny a celkovým historickým vývojem, který sebou přinesl několik typů motorů jako dvoutaktní, čtyřtaktní. V poslední části jsou popsány jednotlivé technologie, které významně ovlivnily vývoj spalovacích motorů.

3 Přehled řešené problematiky

3.1 Definice spalovacího motoru

Spalovací motor je stroj, který mění chemickou energii obsaženou v palivu na mechanickou práci. Chemická energie obsažená v palivu může být přeměna na energii potenciální, nebo kinetickou. energii potenciální využíváme u pístových spalovacích motorů jako tlak spalin. Díky působení tlaku spalin na píst je píst uveden do pohybu a stroj vytváří mechanickou práci. Energie kinetická je zase využita u spalovacích turbín, kde využíváme rychlost proudu spalin. [1]

3.2 Konstrukce pístového spalovacího motoru

Konstrukce spalovacího motoru je velmi složitá. Obsahuje mnoho součástí, které mají vysoké nároky na výrobu. Tyto součásti pak spolu musí bezproblémově spolupracovat. Pokud by došlo u některé z těchto součástí k chybě ve výrobě, má to pak velmi negativní následky pro funkčnost celého stroje.

Základním prvkem konstrukce spalovacího motoru je neúplný klikový mechanismus. Klikový mechanismus je zvláštní případ čtyřčlenného kloubového mechanismu, kdy vahadlo je nekonečně dlouhé. Díky této skutečnosti klikový mechanismus dokáže přeměnit přímočarý vratný pohyb na pohyb rotační. Celková konstrukce spalovacího motoru se dělí do několika skupin.

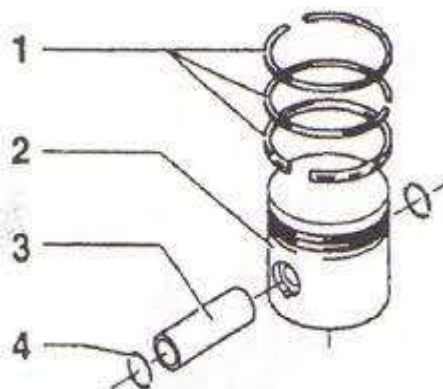
- Pístní skupina
- Kliková skupina
- Kliková skříň a blok válců
- Hlava válců
- Rozvodový mechanismus

3.2.1 Pístní skupina

Tato skupina je součástí klikového mechanismu a tvoří jeho nedílnou součást. Pístní skupina se skládá z pístu, pístních kroužků, pístního čepu a z pojistek pístního čepu. Hlavní úkol pístní skupiny je přenos tlakové síly od plynů na ojnici.

Na obr. 1. v jeho horní části můžeme vidět dva typy pístních kroužků. Horní dva jsou těsnící a slouží k dotěsnění spalovacího prostoru. Plyn tak nemohou unikat ze spalovacího prostoru například do klikové skříně. Přišli bychom tak o značnou část potenciální energie, která by už nemohla být přeměněna na mechanickou práci. Důležité je také zmínit, že těsnící pístní kroužky umožňují přestup tepla mezi pístem a stěnou válce. Jelikož mezi pístními kroužky a stěnou válce vzniká tření, musí tak být zajištěno dobré mazání těchto stykových

Obr. 1 – Pístní skupina; 1 – Pístní kroužky, 2 – Píst, 3 – Pístní čep, 4 – Pojištění pístního čepu [38]



ploch mazacím olejem. Z tohoto důvodu je jako poslední na pístu umístěn kroužek stírací, který má za úkol stírat ze stěny válce přebytečný mazací olej.

Pod pístními kroužky se na obr. 1. nachází samotný píst. Hlavní funkce pístu je uzavřít spalovací prostor a pomocí vhodně tvarovaného dna pístu zajistit správné promíchání vzduchu a paliva ve válci. Spalovací prostor je tvořen válcem, zhora tento prostor uzavírá hlava válců a ve spodní části uzavírá prostor píst. Právě píst je jednou z nejvíce tepelně namáhaných součástí v klikovém mechanismu. Přichází do přímého styku s horkými spalinami, které mají teplotu okolo 2500 °C. Zajímavostí je, že písty jsou převážně vyráběny z hliníkových slitin a teplota povrchu pístu by neměla překročit 320°C. Takto vysoké teploty se ve spalovacím motoru vyskytují pouze zlomek vteřiny a pokud je píst dobře chlazen, nedojde k porušení pevnosti materiálu, ze kterého je vyroben. [1]

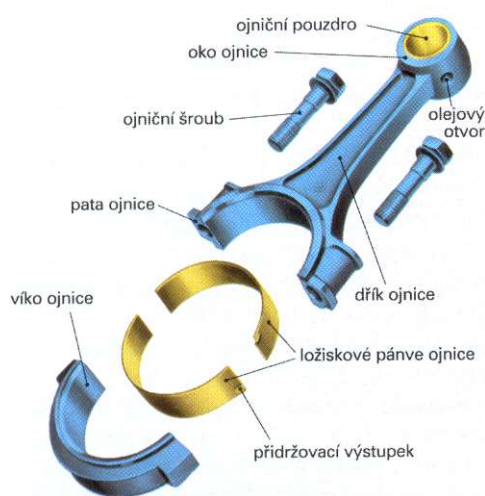
Poslední součástí této skupiny je pístní čep a jeho pojištění. Pístní čep má za úkol pevně spojit píst s ojnicí a zajistit tak přenos sil dál do mechanismu. Toto spojení je tvarové a rozebíratelné tzn. že můžeme bez poškození jakékoliv komponenty toto spojení demontovat a opět smontovat. Čep je pojištěn drátovými pojistkami proti pohybu ve své ose.

3.2.2 Kliková skupina

Součástí klikové skupiny je ojnice a klikový hřídel. Tato skupina obsahuje ještě další součásti, které jsou pomocí šroubových spojů přichyceny ke klikové hřídeli a plní další funkce spojené s chodem spalovacího motoru. Mezi tyto součásti můžeme zařadit setrvačnick s ozubeným věncem po obvodu. Ozubený věnec na setrvačnicku slouží k roztočení celého mechanismu elektrickým startérem, tedy ke startu spalovacího motoru.

Ojnice zajišťuje spojení mezi pístem a klikovou hřídelí. Na obr. 2 můžeme vidět popis jednotlivých částí ojnice s děleným ojničním okem pro klikový čep. Oko ojnice pro klikový čep může být i nedělné, potom ale musí být dělená kliková hřídel z důvodu montáže. Ojnice je namáhána na tah nebo tlak. U velkého zdvihu motoru může být ojnice namáhána i na vzpěr což je kombinace namáhání na tlak a na ohyb. Pro zmírnění účinku namáhání bývá pak klikový mechanismus doplněn i o křížák. V dřívku ojnice je vyvrtán mazací kanálek pro zajištění mazání kluzného ložiska v ojničním oku pro pístní čep. Kluzné ložisko v ojničním oku pro klikový čep je mazáno mazacím kanálkem v klikové hřídeli. Z pravidla ojnice

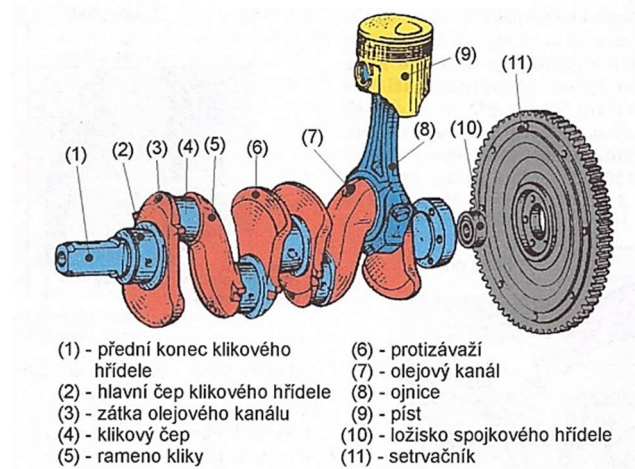
Obr. 2 – Ojnice [5]



s neděleným ojničním okem pro klikový čep je použita u dvoudobého motoru, kde je dělená kliková hřídel. V opačném případě je taková ojnice použita u čtyřdobého spalovacího motoru.

Kliková hřídel má jako hlavní funkci přeměnit přímočarý vratný pohyb na pohyb rotační. Je uložen v klikové skříni, radiální síly zachycují kluzná ložiska, sílu axiální

Obr. 3 – Kliková hřídel [6]



zachycuje kuličkové axiální ložisko. Klikový hřídel má dva konce, jeden slouží pro přenos kroutícího momentu dál do pohonného ústrojí (spojka, převodovka, diferenciál a kola), druhý konec slouží pro pohon rozvodového mechanismu a pomocných agregátů jako je alternátor nebo kompresor klimatizace. Jelikož se jedná o poměrně velkou strojní součást, musí být kliková hřídel vyvážená, aby nedošlo k rozkmitání. Vyvažování se provádí odebráním materiálu z protizávaží. Pro zajištění mazání jednotlivých součástí je kliková hřídel opatřena mazacími kanálky, které mají za úkol dopravit mazivo do všech míst uložení, aby nemohlo dojít k zadření mechanismu.

3.2.3 Kliková skříň a blok válců

Dříve kliková skříň a blok válců byly dvě součásti, které se sešroubovávali dohromady a tvořili tak blok spalovacího motoru. Dodnes tuto konstrukci můžeme vidět u dvoudobých spalovacích motorů, nebo u motorů které jsou chlazené vzduchem. Hlavním úkolem klikové skříně je uložení klikové hřídele. Blok válců tvoří jednu z částí spalovacího prostoru a má za úkol vést píst. S příchodem čtyřdobého spalovacího motoru se kliková skříň a blok válců začali vyrábět jako jedna součást.

U čtyřdobých spalovacích motorů chlazených vodou můžeme rozlišit dva typy bloků motoru. Jedním z typů je tzv. Open-deck. Tento blok motoru má otevřený chladicí prostor. Výhodou takového bloku je dokonalé chlazení válce proudící kapalinou. Nevýhodou je velké namáhání těsnění, které je umístěno mezi hlavou válce a blokem motoru a nízká tuhost

Obr. 4 – Closed-deck; 1 – kanály pro chladicí kapalinu, 2 – otvor pro připevnění hlavy válců, 3 – provedení bez vložky válce



uložení válců. Druhým typem bloku je tzv. Closed-deck. Na obr. 4 můžeme vidět, že válce jsou součástí bloku motoru a jsou obklopeny kanály na chladicí kapalinu. Tento typ bloku motoru může být proveden s vložkami válců, nebo bez nich. Výhodou takového bloku je vysoká tuhost. Nevýhodou je obtížnější přestup tepla ze stěn válce do chladicí kapaliny. [1]

V dnešní době jsou především používány dva typy materiálů na výrobu bloků motoru. Jedním z nich je šedá litina. Výhodou takového materiálu je nízká cena a možnost zhotovit stěny válce přímo z odlitého materiálu. Nevýhodou je vysoká hmotnost takového bloku. Druhým materiálem je hliníková slitina. Při použití takového materiálu je značná úspora v hmotnosti bloku a velmi dobrá tepelná vodivost. Nevýhodou je především cena a nemožnost použití bloku bez předchozích úprav válců. Ty se upravují buď vložkami válce, nebo nanesením vrstvy dalších prvků na stěny válce.

3.2.4 Hlava válců

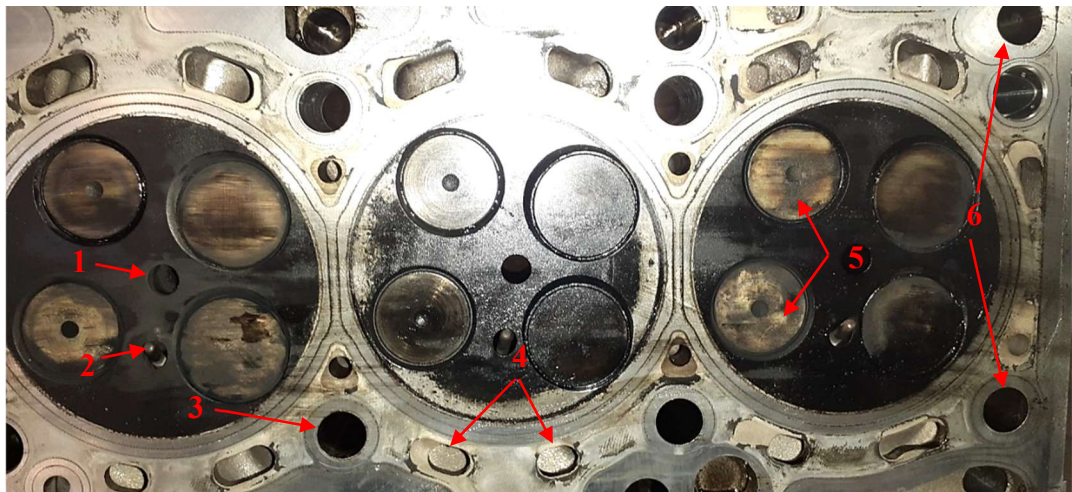
Blok válců, píst a hlava válců společně tvoří spalovací prostor motoru. U dvoudobého motoru v hlavě válců (obr. 5) najdeme pouze otvor se závitem pro zapalovací svíčku a otvory pro upevnění hlavy.

Obr. 5 – Hlava válce dvoutaktního motoru [39]



U čtyřdobého motoru hlava válců obsahuje více součástí. Sací a výfukové ventily s pružinami, které přes vahadla ovládá vačkový hřídel. Dále sací a výfukové kanály, otvor pro zapalovací svíčku, nebo vstřikovač paliva. Jednotlivé komponenty se samozřejmě liší podle toho, zda se jedná o spalovací motor zážehový nebo vznětový. Množství komponent také ovlivňuje typ rozvodů daného spalovacího motoru. Další důležitá funkce hlavy válců je

Obr. 6 – Hlava válců čtyřdobého motoru; 1 – otvor pro vstřikovač paliva, 2 – žhavicí svíčka, 3 – otvor pro upevnění hlavy válců, 4 – kanály pro chladící kapalinu, 5 – ventily, 6 – kanály pro mazací olej



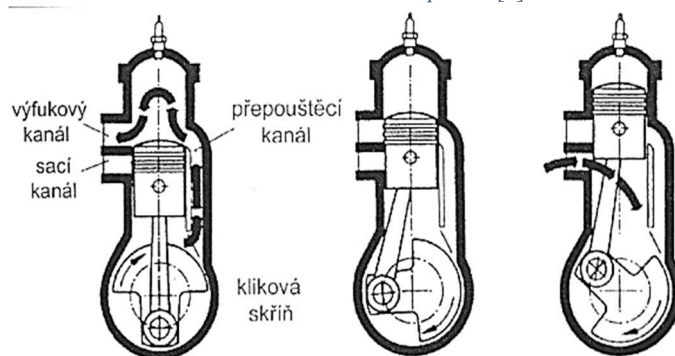
vhodně vytvarovat spalovací prostor spolu s dnem pístu, aby došlo k správnému promíchání paliva se vzduchem.

3.2.5 Rozvodový mechanismus

Rozvodový mechanismus má za úkol vyměnit náplň ve spalovacím prostoru. To znamená odvést spaliny a naplnit spalovací prostor novou směsí. Funkce rozvodového mechanismu ovlivňuje funkci celého spalovacího motoru, proto je zapotřebí aby rozvodový mechanismus měl co nejvyšší spolehlivost. Pokud se jedná o motor vznětový a nebo zážehový s přímým vstřikem paliva, přichází do spalovacího prostoru pouze vzduch bez paliva. U motorů zážehových s nepřímým vstřikem paliva (dvoutaktní i čtyřtaktní) přichází do válce směs vzduchu s benzínem. Tímto se vytvoří směs vhodná k zažehnutí zapalovací svíčkou.

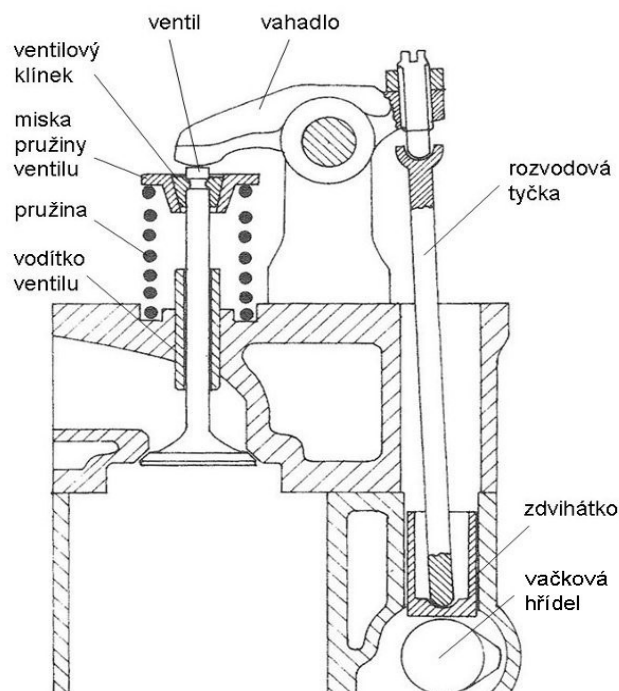
U dvoudobého motoru jsou dvě možnosti rozvodového mechanismu. První je konstrukčně jednoduchá, ale má své nevýhody. Rozvodným mechanismem je píst ve válci (obr. 7), který svým pohybem odkrývá a zakrývá sací a výfukový kanál ve stěně válce. Nevýhodou je, že píst uzavře sací kanál jako první a tím nám část nové směsi unikne do výfuku. Nespálená část směsi pak negativně ovlivňuje emise spalovacího motoru. Druhá možnost je konstrukčně složitější, ale dosáhneme díky ní lepšího plnění motoru. Sání se doplní buď o šoupátko nebo o automatický jazýčkový ventil (dnes nejčastěji). [2]

Obr. 7 – Rozvod pístem [7]



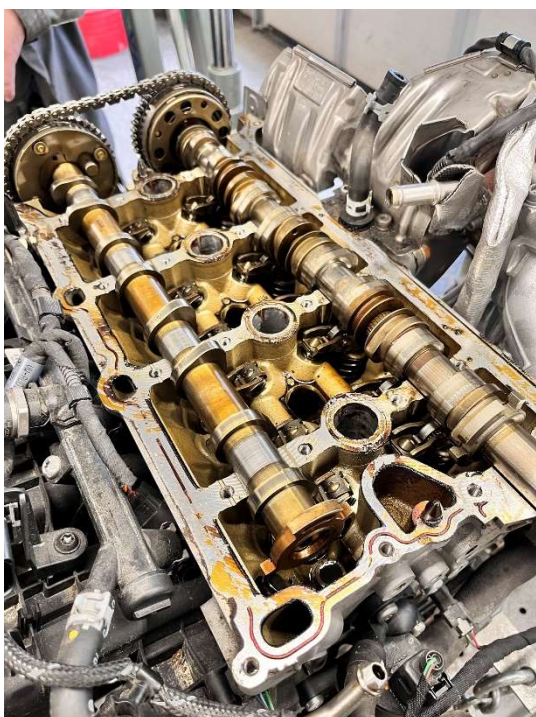
U čtyřdobého motoru rozeznáváme tři hlavní typy uspořádání rozvodového mechanismu. Všechny tyto typy mají společné, že musí být zajištěna přesná poloha mezi vačkovou a klikovou hřídelí. Pokud by došlo k vzájemnému pootočení mělo by to pro spalovací motor velké následky a pravděpodobně by došlo k jeho zničení. Prvním typem rozvodu je OHV z anglického overhead valve. Na obr. 8 můžeme vidět, že vačková hřídel je umístěna pod hlavou válců. Mechanismus rozvodu pak funguje tak, že od klikového hřídele je naháněná vačková hřídel. Ta nadzdvihne zdvihátko, to přes rozvodovou tyčku se opře do vahadla. Následně vahadlo zatlačí na dřík ventilu a ten otevře příslušný sací, nebo výfukový kanál. Uzavření příslušného kanálku pak obstará pružina na příslušném ventilu. Výhodou takového rozvodu je snadné provedení pohonu vačkového hřídele. Ten může být proveden například ozubenými koly. Takové spojení zaručuje přesnou polohu mezi hřídeli, a navíc je bezúdržbové. Nevýhodou je velké množství komponent a nemožnost použití u vysokootáčkových motorů.

Obr. 8 – Rozvod OHV [8]



Dalším typem rozvodu u čtyřdobého motoru je OHC z anglického overhead camshaft. To znamená, že ventily i vačkový hřídel jsou umístěny v hlavě válců. V dnešní době se také můžeme setkat se zkratkou DOHC (obr.9) z anglického double overhead camshaft. V takovém případě jedna vačková hřídel ovládá sací ventily a druhá vačková hřídel ventily výfukové. Díky umístění vačkového hřídele do hlavy válců se zmenšil počet součástí rozvodového mechanismu oproti rozvodu OHV. Klikový hřídel pohání vačkový, vačkový hřídel pak zatlačí přes vahadlo na dřík ventilu a otevře příslušný kanál. Uzavření kanálu pak

Obr. 9 – Rozvodový mechanismus DOHC



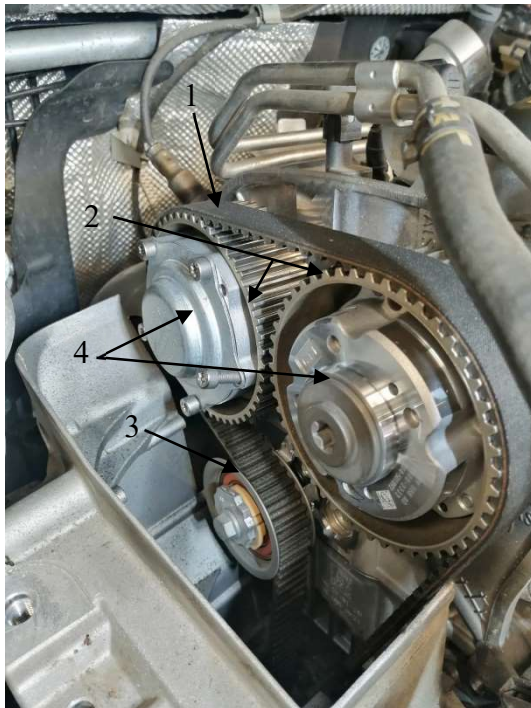
Obr. 10 - Rozvodový mechanismus DOHC pomocí řetězu



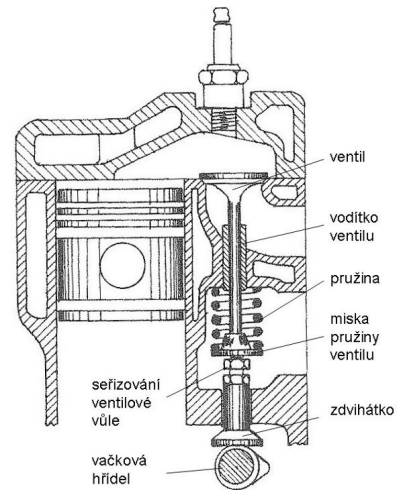
probíhá pominutím síly od vačkové hřídele a za pomoci pružiny. Nevýhodou rozvodu OHC je přenos otáček z klikového hřídele na vačkový hřídel. V průběhu času se vystřídal několik variant, jak tento přenos uskutečnit. V dnešní době jsou nejpoužívanější dvě varianty, rozvodový řetěz (obr. 10) nebo ozubený řemen (obr. 11). Rozvodový ozubený řemen je velmi levný na výrobu a splňuje všechny požadavky, bohužel je nutné řemen měnit v intervalech stanovených výrobcem. Rozvodový řetěz také splňuje všechny požadavky, bohužel po určitých intervalech je také třeba vyměnit z důvodu jeho opotřebení. Dříve byly použity další dvě varianty přenosu. Jednou byla soustava ozubených kol, která byla

bezúdržbová. Bohužel velmi zvyšovala hmotnost spalovacího motoru a také prodražila jeho výrobu. Druhou možností byla tzv. královská hřídel.

Obr. 11 – Rozvodový mechanismus poháněný ozubeným řemenem; 1 – ozubený řemen, 2 – ozubené řemenice, 3 – napínací kladka, 4 – vačkové hřídele s nastavovací časování ventilů



Obr. 12 – Rozvodový mechanismus SV [8]



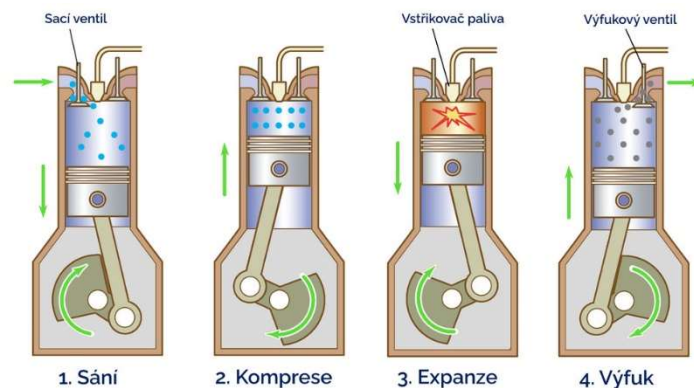
Posledním typem rozvodu je rozvod SV z anglického side valves. Z názvu můžeme odvodit, že ventily se nacházejí vedle válce (obr. 12). Dnes se tento typ v automobilovém průmyslu nepoužívá, ale našel si svoje místo u malých benzínových motorů použitých například u zahradních sekaček. Funkce mechanismu je taková, že vačkový hřídel je poháněn klikovým hřídelem přes ozubená kola. Vačkový hřídel zatlačí na zdvihátko, to zatlačí na dřík ventilu a ten otevře příslušný kanál. Hlavní výhodou takového rozvodového mechanismu je, že pokud dojde k poruše, nemůže se potkat píst s ventilem

3.3 Funkce pístového spalovacího motoru

Funkcí spalovacího motoru je přeměnit energii obsaženou v palivu na mechanickou práci v podobě rotačního pohybu. Chemická energie v palivu se spálením přemění na teplo a tlakovou energii. Klikový mechanismus pak tuto energii přemění na rotační pohyb.

Na obr. 13 můžeme vidět jednotlivé pracovní doby čtyřdobého vznětového spalovacího motoru. První pracovní dobou je sání. Vačkový hřídel zatlačí na ventil, který otevře sací kanál. Píst se začne pohybovat směrem dolů a ve válci vznikne mírný podtlak, tím si spalovací motor nasaje potřebný vzduch pro spálení paliva. Druhou pracovní dobou je komprese. Píst se pohybuje směrem vzhůru a stlačuje nasátý vzduch. Jak je vzduch stlačován, tak se mnohonásobně zvyšuje jeho teplota. Třetí pracovní dobou je expanze. Do horkého vzduchu,

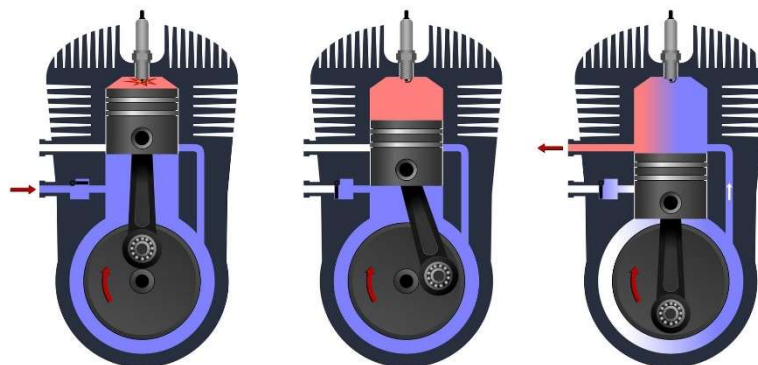
Obr. 13 – Funkce čtyřdobého vznětového motoru [9]



který má teplotu přibližně 570°C až 770°C , se vstříkne dávka paliva. Ta se vlivem teploty vznítí a dojde k expanzi a píst je vlivem tlaku plynů tlačěn směrem dolů. Poslední pracovní dobou je výfuk. Vačkový hřídel zatlačí na ventil, který otevře výfukový kanál. Spaliny pak píst vytlačí ze spalovacího prostoru a celý cyklus začne znovu. Rozdíl mezi zážehovým a vznětovým motorem je pouze v první a třetí pracovní době. Zážehový motor v první pracovní době nasává směs vzduchu a paliva, kterou pak následně stlačuje. Ve třetí pracovní době se palivo nevznítí, ale je zažehnuto zapalovací svíčkou.

Dvoudobý spalovací motor na rozdíl od čtyřdobého vykoná svůj pracovní cyklus za jednu otáčku klikového hřídele. Na obr. 14 můžeme vidět, že při pohybu pístu směrem dolů probíhá expanze a motor saje novou směs sacím kanálem pod píst do klikové skříně. Jak se píst

Obr. 14 – Funkce dvoudobého spalovacího motoru [10]



pohybuje směrem dolů uzavře sací kanál a dojde ke stlačení nové směsi. Když se píst dostane

do dolní úvratě otevře přepouštěcí a výfukový kanál. Dojde k výplachu spalovacího prostoru, spaliny odejdou do výfukového potrubí a spalovací prostor se naplní novou směsí. Při pohybu pístu vzhůru píst uzavře přepouštěcí a výfukový kanál a dojde ke kompresi nové směsi. Dalším rozdílem oproti čtyřdobým motorům je, že motor dvoudobý nasává vzduch s palivem, ve kterém je obsažen mazací olej. Ten má za úkol mazat celý klikový mechanismus.

3.4 Základní rozdělení spalovacích motorů

Základním rozdělením spalovacích motorů je, zda se jedná o spalovací motor s vnitřním, nebo s vnějším spalováním. Typickým spalovacím motorem s vnějším spalováním je parní stroj. Popis a vysvětlení jeho funkce je uvedeno v kapitole 4.1. U motorů s vnitřním spalováním probíhá spalování uvnitř spalovacího prostoru. Takové motory pak můžeme dále rozdělit na spalovací motory pístové, lopatkové a proudové. Spalovací motory lopatkové a proudové jsou nejvíce využívány v leteckém průmyslu. Svoje místo si našly i spalovací motory pístové, a to v automobilech. [2]

3.4.1 Rozdělení pístových spalovacích motorů

Pístové spalovací motory můžeme rozdělit podle mnoha hledisek. V dnešní době je nejpoužívanější rozdělení spalovacích motorů podle druhu paliva, které spalovací motor spaluje. Palivo rozdělujeme do dvou hlavních skupin, paliva kapalná a plynná. Kapalným palivem je například benzín nebo motorová nafta. Plynné palivo je například LPG (zkapalněný ropný plyn), nebo CNG (stlačený zemní plyn). Další možné rozdělení spalovacích motorů:

- Způsob tvoření hořlavé směsi
 - Přímé vstřikování do válců
 - Nepřímé vstřikování do válců
- Způsob výměny náplně válců
 - Dvoutaktní motory
 - Čtyřtaktní motory
- Konstrukční provedení
- Účel a použití motoru
 - Průmyslové motory pro pohon pracovních mechanismů (stacionární, mobilní)

- Dopravní motory (vozidlové, dráhové, lodní, letadlové)

Z konstrukčního hlediska můžeme spalovací motor rozřadit do mnoha dalších podskupin. Dnes nejpoužívanějšími podskupinami jsou počet válců (1 až 16 válců) a objem spalovacího prostoru (od desítek kubických centimetrů až po tisíce litrů). Každá tato informace nám pomáhá určit, jak vypadá konstrukce daného spalovacího motoru. Další podskupiny:

- Způsob chlazení
 - Vzduchem
 - Kapalinou
- Pohybu pístu
 - Zdvihové
 - Rotační
- Polohy a uspořádání válců
 - Řadové
 - Vidlicové
 - S protilehlými válci (stojaté, ležaté - boxer)
 - Hvězdicové
 - S protiběžnými písty
- Rychloběžnosti
 - Pomaloběžné motory
 - Rychloběžné motory
- Způsobu plnění válců
 - Atmosféricky plněné
 - Přepřňované (turbodmychadlem, kompresory)

Samozřejmě ještě existuje mnoho dalších kritérií, podle kterých lze spalovací motory rozdělit.

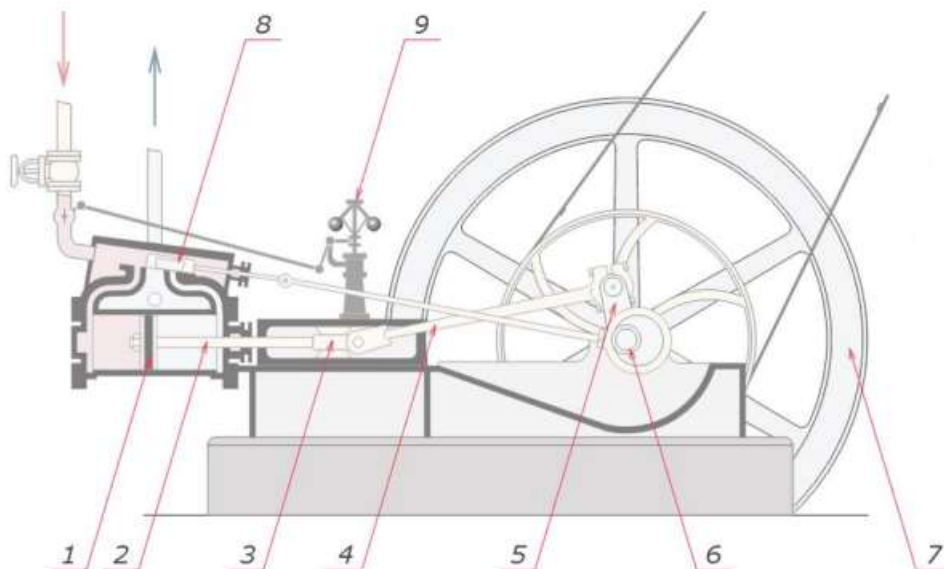
[2]

4 Historie

4.1 Parní stroj

Pokud se podíváme na spalovací motor a jeho historii, narazíme zcela určitě na parní stroj, který zásadně ovlivnil dopravu (osobní i nákladní) a průmysl. Vynález parního stroje si historicky připisuje James Watt, kterému se podařilo získat patent na parní stroj a výrazným způsobem jej zdokonalil a rozšířil. Do skupiny parních strojů patří parní stroje pístové a parní turbíny. Parní stroje pístové se používali především pro pohon lokomotiv. Postupem času pístový parní stroj z lokomotiv vytlačily spalovací motory. Parní turbíny se používají dodnes například v elektrárnách, kde je parní turbínou poháněn elektrický generátor. [1]

Obr. 15 - Parní stroj; 1 – Píst, 2 – Pístní tyč, 3 – Křížák, 4 – Ojnice, 5 – Kliková hřídel, 6 – Excentrický mechanismus, 7 – Setrvačnický, 8 – Šoupátko, 9 – Wattův odstředivý regulátor [11]



Parní stroj řadíme mezi spalovací motory s vnějším spalováním, kdy spalujeme palivo mimo válec. Na obr. 15 můžeme vidět konstrukci Wattova parního stroje, který je dvoudobý a dvojčinný. Dvoudobý, protože ve válci probíhá pouze expanze a výfuk. Dvojčinný znamená, že pára je střídavě vpouštěna na obě strany pístu. V parním kotli se ohřívá voda a vzniká tím pára. Jako palivo se používalo uhlí, nebo koks. Když je dosažen dostatečný tlak páry, je přes potrubí a šoupátkový rozvod pára vpouštěna do válce, kde tlačí na píst a tím stroj koná práci. U parního stroje je použitý úplný klikový mechanismus. Píst přenáší podélné zatížení a setrvačné síly. Křížák potom zachycuje síly příčné. [3]

4.2 Ottův motor

V roce 1859 si Joseph Etienne Lenoir nechal patentovat svůj první spalovací motor, který spaloval plyn. Tento motor se velice podobal konstrukci parního pístového motoru, s tím rozdílem, že spalování už probíhalo uvnitř válce. Později plány svého motoru prodal Němci Nikolausovi Ottovi, který spolupracoval s E. Langenem a spolu založili první továrnu na spalovací motory. Otto motor zdokonalil a na jeho základě vyrobil i první čtyřtákní zážehový

Obr. 16 – Ottův motor [1]



spalovací motor (obr. 16), který začali vyrábět sériově. Výkon tohoto motoru se pohyboval od 0,25 do 3 koňských sil, samozřejmě se výkon odvíjel od velikosti motoru. Zapalování plynu bylo řešeno odkrýváním plamínku šoupátkem ve správnou chvíli. Přímočarý vratný pohyb je zde přeměňován na rotační za pomoci neúplného klikového mechanismu. Při dalším zlepšování motoru se zvýšila jeho komprese, která pozitivně ovlivnila tepelnou účinnost stroje. Takto vylepšený motor položil základy pro další stavbu zážehových motorů. [1] [3]

4.3 Dieslův motor

Vynálezcem vznětového motoru je Rudolf Diesel, po kterém se tento motor následně i pojmenoval. Diesel vyrobil postupně tři prototypy svého motoru. První z nich sestrojil v roce 1893 a spaloval uhelný prach. V roce 1896 vyrobil Diesel další prototyp, který byl vodou

chlazený a vstříkoval do spalovacího prostoru benzín. Motor měl neklidný chod, tak probíhaly další experimenty a nahradily benzín čištěným petrolejovým olejem. Motor už měl klidný chod, ale to Dieslovi stále nestačilo, chtěl snížit spotřebu paliva. U třetího prototypu se to povedlo. V roce 1897 byl motor úspěšně odzkoušen a tento rok můžeme považovat za rok, kdy vznikl vznětový motor. Přibližný výkon motoru činil 14,7 kW při 170 otáčkách za minutu. Překvapivá byla účinnost motoru 26 %. Dieslův motor postupně nahradil parní stroj, pro jeho nízkou spotřebu paliva. Velkým problémem bylo vstřikování paliva do válce, které bylo prostorově náročné a mělo velkou hmotnost. Jednalo se vysokotlaký kompresor, který dopravoval palivo společně se vzduchem do válce. Z tohoto důvodu se Dieslův motor vyráběl jako stacionární, nebo pro použití v lodích. [1]

5 Minulé století

Od vynalezení a prvního sestrojení spalovacího motoru se nepřestalo pracovat na jeho zefektivnění a zvýšení výkonu. Při tomto procesu byly objeveny nové koncepce, technologie a postupy, které vedly k neustálému zlepšování. Postupem vývoje přicházely i nové technologie a materiály, které dovolily posouvat hranici možností zase o kousek dál. V této a následující kapitole budou probrány některé z technologií.

5.1 Dvoutaktní motory

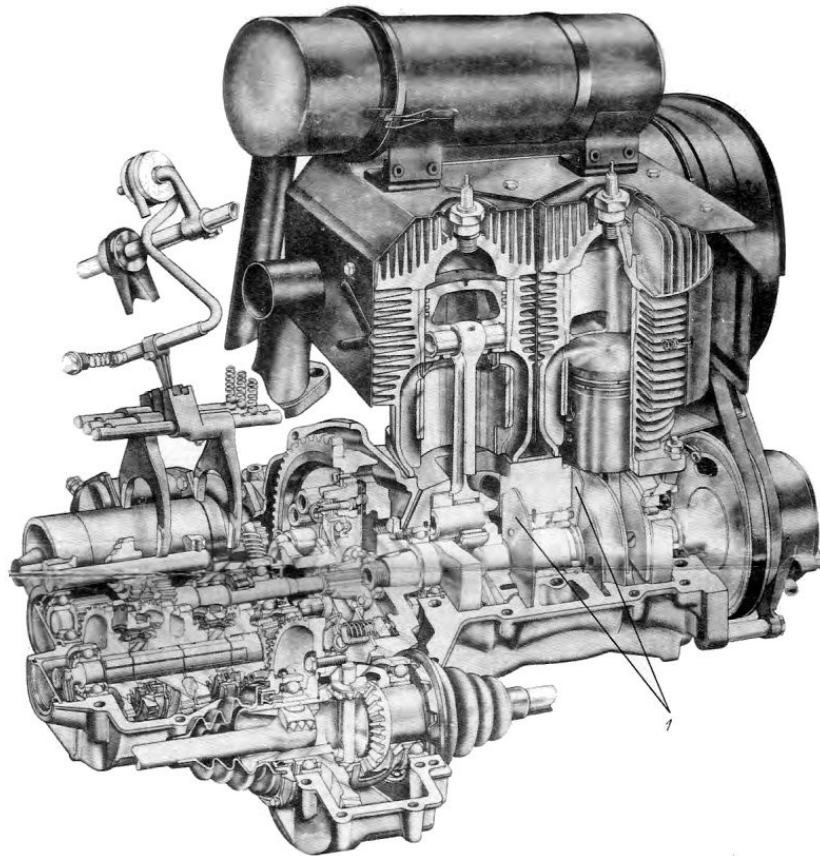
První spalovací motor byl vynalezen jako dvoudobý. Oproti motoru čtyřtaktnímu je jeho konstrukce výrazně jednodušší, má však svoje nevýhody. Velkou výhodou z pohledu konstrukce je, že dvoudobý motor nepotřebuje složité mechanismy pro výměnu náplně ve válci. Další výhodou vycházející z konstrukce je, že na jednu pracovní dobu motor potřebuje jednu otáčku klikové hřídele, kdežto motor čtyřdobý potřebuje otáčky dvě. Z tohoto faktu lze vyvodit, že k dosažení stejného výkonu teoreticky stačí poloviční objem u dvoutaktního motoru. Velmi velkou nevýhodou je vysoká spotřeba paliva a velké emise v porovnání s čtyřdobým motorem. Ačkoliv dvoutaktní motory v minulosti byly použity u osobních automobilů, nikdy tento segment neovládli. I přes všechna tato fakta si dvoutaktní motory na světě našly svoje místo a jsou používány dodnes.

5.1.1 Zážehové

Jak bylo řečeno v předchozí kapitole, v automobilovém průmyslu se dvoutaktní benzínový motor nikdy zcela neuchytil. Můžeme však v minulém století najít příklady jeho

použití, které se vepsali do historie a jsou povědomé i dnešním generacím. Němečtí inženýři se rozhodli potlačit nevýhody konstrukce a využít hlavních výhod jako byla jednoduchá konstrukce a velká pružnost motoru. Za hlavní nevýhodu považujeme spalování maziva spolu s palivem. Pro správnou funkci motoru je důležité, aby válec s pístem byli dostatečně mazány.

Obr. 17 – Řez motorem Trabantu 601 [20]



Mazání zajišťuje palivo smíchané s olejem, bohužel při jeho spalování vzniká karbon, který motor zanáší. Jedním z vozů s tímto typem spalovacího motoru, který se zapsal do historie byl automobil značky Trabant. Jeho sériová výroba začala v roce 1958 a automobil nesl označení P50. O šest let později došlo k modernizaci a přejmenování automobilu z P50 na 601. Tento model byl vyráběn až do začátku devadesátých let. O pohon se staral dvouválcový vzduchem chlazený motor o objemu cca 600 cm³ a výkonem 19,1 kW. Na obr. 17 můžeme vidět jednoduchou konstrukci motoru. Z důvodu nízké konkurence motor neprocházel velkým vývojem a inovacemi. Díky své jednoduchosti, snadné údržbě a nízké ceně se stal tento automobil jedním z nejrozšířenějších automobilů své doby. [4]

Na rozdíl od automobilů, svět motocyklů dvoutaktní zážehový motor na jistou dobu zcela ovládl. Příčinou toho byla jednoduchá konstrukce, nízká hmotnost a vyšší výkon při porovnání

stejně objemného čtyřtakového motoru, který měl mnohem složitější konstrukci. Později se i u motocyklů prosadil čtyřdobý spalovací motor. Dominantou dvoutakového motoru je dodnes malá zahradní technika, kde hlavní nevýhoda motoru (vysoké emise) nehraje tak velkou roli. Protože se jedná především o ruční stroje, je rozhodujícím faktorem dosáhnout co nejvyššího výkonu při zachování co nejnižší hmotnosti motoru.

5.1.2 Vznětové

Dvoutaktní vznětový motor je velmi podobný svou konstrukcí dvoutaktnímu zážehovému motoru s rozdílem že pro tvorbu směsi je použito vstřikování a vyráběly se zásadně přeplňované. Sdílí s ním jeho konstrukční výhody i nevýhody. Jednou z největších výhod je teoreticky dvojnásobný výkon oproti čtyřtakovému motoru. Nevýhodou je nízká účinnost a vysoká kouřivost těchto motorů. V minulosti se tyto motory používali pro pohon generátorů v lokomotivách. Například v Československu poháněl dvoutaktní vznětový dvanáctiválec jednu z nejsilnějších lokomotiv se spalovacím motorem. Bohužel pro svojí vysokou spotřebu a hlučnost, byly v lokomotivách tyto motory nahrazeny čtyřtakovými. V automobilovém průmyslu byly pokusy o použití dvoutakového vznětového motoru, ale nikdy se zcela neuchytil. [5]

Své místo si tato konstrukce spalovacího motoru našla v lodním průmyslu, kde pomaluběžné dvoutaktní motory jsou používány dodnes. Konstrukce je odlišná od běžného dvoutakového motoru, kdy klikový mechanismus je úplný. Velmi velkou výhodou je, že motor umí spalovat palivo s účinností okolo 50 %. Jako palivo se používá těžký topný olej, novější typy motorů umí spalovat i více druhů paliv. V roce 2006 finská firma Wärtsilä-Sulzer vyrobila nejvýkonnější vznětový motor na světě. Nese označení 14RT-Flex96c, jedná se o pomaluběžný dvoutaktní vznětový motor. Řadový přeplňovaný čtrnácti válec má zdvihový objem 25 340 litrů a dosahuje výkonu 80 080 kW při 102 otáčkách za minutu. [6]

5.2 Čtyřtakoví

Princip funkce čtyřtakových motorů se od jeho vynalezení nezměnil. Ovšem zásadním vývojem prošly jeho jednotlivé části, které jsou probírány v následujících kapitolách. Vývojem motorů došlo k jejich zásadnímu zmenšení, zvýšení efektivity, snížení hmotnosti. Velký důraz při vývoji byl také kladen na emise, které spalovací motory produkují a negativně ovlivňují životní prostředí.

5.3 Chlazení

Chlazení spalovacího motoru je důležitou součástí jeho správné funkce. Chladicí systém má za úkol udržet pracovní teplotu spalovacího motoru a přebytečné teplo (přibližně 30 % tepla získaného spálením paliva) rozptýlit do okolí. Vlivem poruchy může dojít ke zvýšení nebo snížení pracovní teploty, oba tyto případy mají negativní vliv na spalovací motor. Vyšší teplota způsobí ztrátu výkonu spalovacího motoru a může vést k jeho destrukci, kdy se vlivem teplotní roztažnosti motor zadře. Nízká pracovní teplota má za následek vyšší opotřebení pístní skupiny a vyšší spotřebu paliva. Dnes používáme dva typy chlazení, chlazení přímé a nepřímé. Výjimečně se můžeme setkat s kombinací obou typů chlazení, které bylo například použito u Porsche 959, kdy blok motoru využíval přímé chlazení a hlavy válce byly chlazeny nepřímě. [1]

5.3.1 Přímé chlazení

Přímé chlazení můžeme znát také pod pojmem chlazení vzduchem. Motor je tedy chlazen vzduchem za pomoci vhodně navržených teplosměnných ploch (obr. 18). Právě teplosměnné plochy jsou signifikantním znakem tohoto typu chlazení. Přímé chlazení můžeme dále rozdělit na chlazení náporové a nucené. Chlazení náporové využívá k chlazení motoru pouze pohyb stroje, ve kterém je umístěn. Pokud tedy stroj dlouho stojí na místě pravděpodobně dojde k přehřátí spalovacího motoru. Druhý problém může nastat například při dlouhé jízdě z kopce, kdy motor vlivem chlazení a malé zátěže můžeme podchladiť.

Chlazení nucené tyto nevýhody odstraňuje. Před motor je přidán ventilátor (obr. 19), který je poháněn od klikové hřídele a spalovací motor je vhodně zakrytován z důvodu co nejlepšího proudění vzduchu. Tento systém chlazení už je o něco složitější, protože vyžaduje

Obr.18 – Válec motoru Tatra s teplosměnnými plochami [23]



Obr. 19 – Vznětový motor Tatra chlazený vzduchem [24]



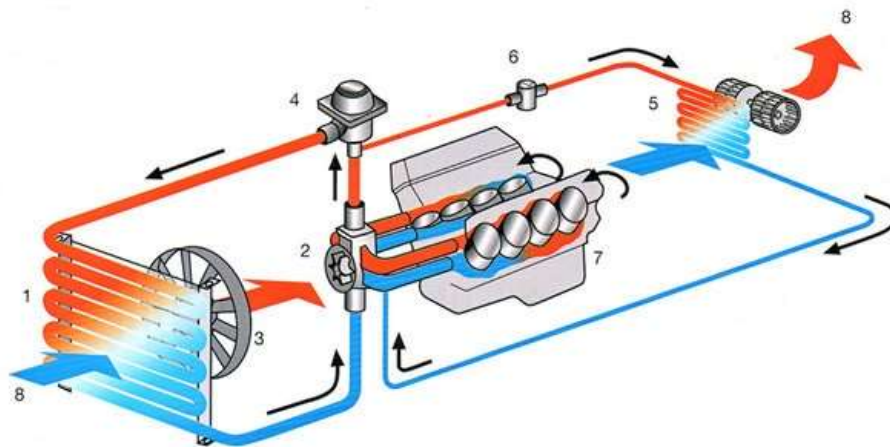
řízení ventilátoru. Řízení ventilátoru bylo nejčastěji zajištěno pomocí změny otáček ventilátoru, kdy změnu otáček zajišťovala spojka (elektromagnetická, hydraulická, viskózní). Dnes je chlazení vzduchem u čtyřdobých motorů na ústupu z důvodu obtížného plnění Euro norem.

Dříve se přímé chlazení hojně využívalo u spalovacích motorů pro jeho jednoduchou konstrukci a vysokou spolehlivost jednotlivých komponent. U malých spalovacích motorů je přímé chlazení používáno dodnes pro jeho velmi jednoduchou konstrukci a velmi nízkou náročnost na údržbu. [1]

5.3.2 Nepřímé chlazení

Nepřímé chlazení, které můžeme znát jako vodní chlazení, používá teplosměnné médium (chladící kapalina) pro absorbování tepla od horkých součástí motoru. K rozptýlení tepla do okolí je pak použit chladič (tepelný výměník), který je chlazen vzduchem (náporově i nuceně). Na obr. 20 můžeme vidět jednoduchý chladicí okruh, který bychom například našli u motoru K6S310DR, který byl vyráběn v letech 1964–1971. [7]

Obr. 20 – Chladicí okruh vozidla; 1 – Chladič, 2 – Vodní pumpa, 3 – Ventilátor, 4 – Termostat, 5 – Radiátor topení, 6 – Ventil radiátoru, 7 – Spalovací motor, 8 – Proud vzduchu [25]

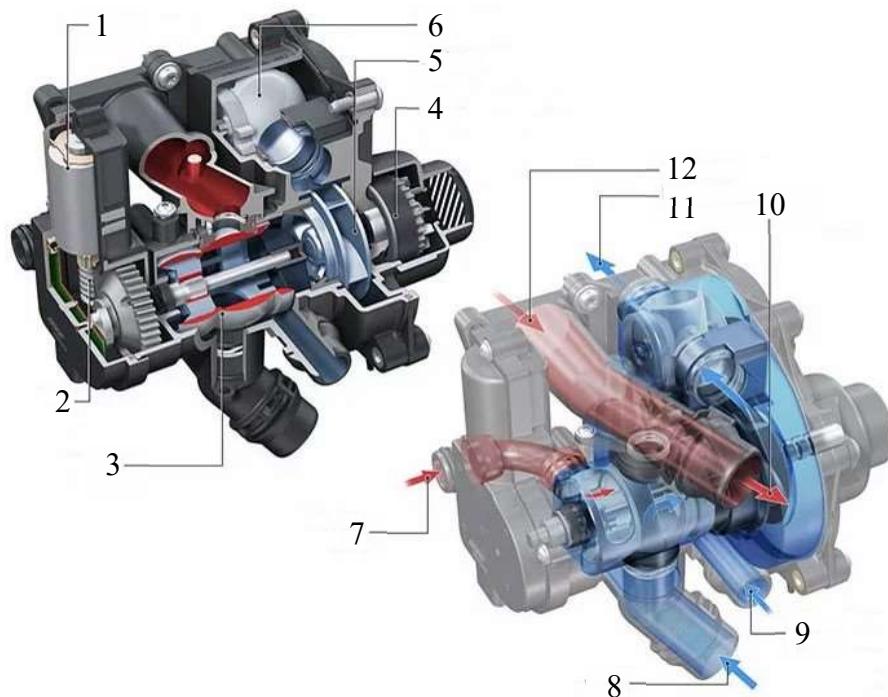


Oproti přímému chlazení je tento typ chlazení složitější, ke své funkci potřebuje mnohem více součástí a je taky dražší na výrobu. Co se týče údržby je také složitější a může u něj nastat k mnoha problémům (unik chladící kapaliny, porucha vodní pumpy), které negativně ovlivní jeho funkci. Oproti těmto všem nevýhodám má tento systém mnoho výhod. Přední výhodou je velmi vysoká stálost pracovní teploty motoru, díky které má motor stálý výkon. Dále umožňuje umístit jednotlivé válce blíž k sobě, tak ve výsledku je spalovací motor menší. Také jsou menší nároky u jednotlivých dílů na teplotní odolnost. Systém chlazení

funguje tak, že chladicí kapalina přijímá teplo od horkých částí spalovacího motoru. Vodní pumpa zajišťuje neustálou cirkulaci chladicí kapaliny a je poháněna klikovou hřídelí. Jedním z důležitých prvků systému je termostat. Při studeném startu motoru je termostat uzavřen a chladicí kapalina proudí pouze motorem (tzv. malý okruh). Když je dosaženo stanovené teploty, termostat se otevře a pustí horkou chladicí kapalinu do chladiče (tzv. velký okruh), kde dojde k jejímu ochlazení a kapalina se následně vrací zpátky do motoru. Jako chladicí kapalina se používá směs destilované vody s etylenglykolem, který posunuje bod tuhnutí kapaliny a zároveň maže vodní pumpu.

Dnešní chladicí systémy pracují na stejném principu. Jsou ovšem ještě složitější. Zásadní změny můžeme zaznamenat u vodní pumpy a termostatu. Vodní pumpa byla u jednoduchého systému hnaná tzv. natvrdo. Dnes se můžeme setkat s vodními pumpami odpojitelnými, nebo elektricky poháněnými. Například při studeném startu je vodní pumpa odpojená, aby došlo k co nejrychlejšímu ohřátí chladicí kapaliny. Dříve používaný pasivní termostat je dnes nahrazen aktivním termostatem a chladicí systém je vybaven čidlem teploty. Motory koncernu Volkswagen z řady EA 888 jsou vybaveny tzv. modulem termomanagmetu,

Obr. 21 – Modul termomanagmetu; 1 – Elektromotor, 2 – Šnekové soukolí, 3 – První vícecestný ventil, 4 – Pohon vodní pumpy ozubeným řemenem, 5 – Vodní pumpa, 6 – Druhý vícecestný ventil, 7 – Výstup chladiče oleje, 8 – Výstup chladiče, 9 – Výstup topení, turbodmychadla a převodovky, 10 – Vstup do chladiče, 11 – Vstup do motoru, 12 – Výstup z motoru [27]



který můžeme vidět na obr. 21. Tento modul obsahuje systém pro řízení teploty motoru a

vodní pumpu. Systém pro řízení teploty motoru je ovládán elektromotorem, který nastavuje přes šnekový pohon dva vícecestné ventily. Tyto ventily pak umožňují několik režimů chlazení, kdy například po studeném startu motoru je chlazena pouze hlava válců. [8]

Všechny tyto komponenty mají za úkol co nejrychlejší ohřátí motoru na provozní teplotu a následně tuto teplotu co nejefektivněji udržovat. Provozní teplota motoru má přímý vliv na emise spalovacího motoru.

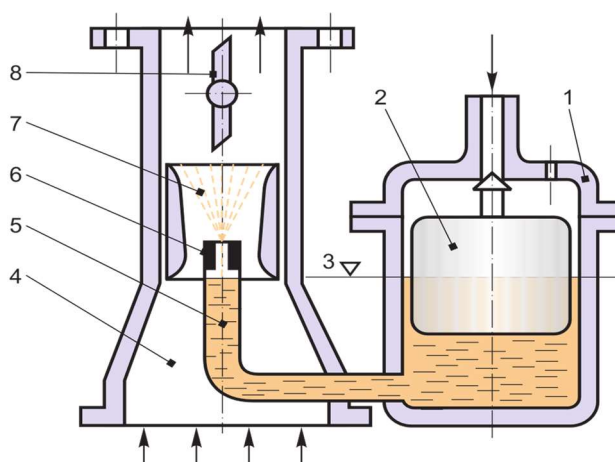
5.4 Příprava směsi

Příprava směsi pro spalovací motor prošla od vzniku spalovacího motoru velkým vývojem. V případě zážehových motorů jsme se dostali od jednoduchých zařízení fungujících na základě fyzikálních principů k zařízením, které jsou složité a elektricky ovládané. U vznětových motorů došlo k výraznému zmenšení vstřikovacích zařízení a zvýšení vstřikovacích tlaků. To vše nám umožnilo zvýšit efektivitu spalovacích motorů.

5.4.1 Zážehové motory

Jednoduchý karburátor (obr. 22) využívá fyzikálních principů k rozprášení paliva do proudícího vzduchu. Tento karburátor založený na funkci difuzoru zavedl poprvé Wilhelm Maybach v roce 1893. Vzduch vlivem podtlaku v motoru je nasáván do hrdla karburátoru. V místě difuzoru se vlivem podtlaku míchá palivo se vzduchem. Množství směsi je

Obr. 22 – Schéma jednoduchého karburátoru; 1 – Plováková komora, 2 – Plovák, 3 – Hladina paliva udržovaná plovákem, 4 – Hrdlo karburátoru, 5 – Trubička trysky, 6 – Tryska, 7 – Difuzor, 8 – Škrťací klapka [29]

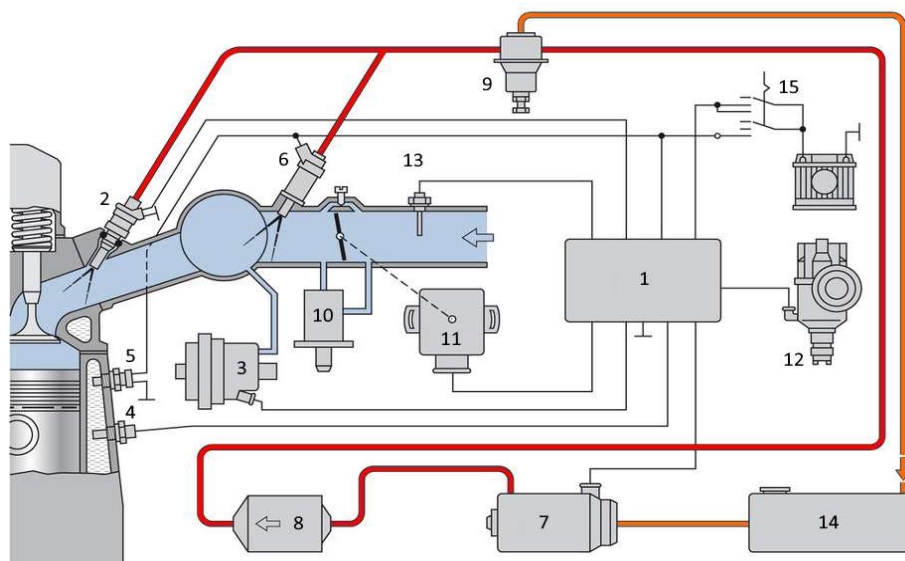


regulováno škrťací klapkou. Nevýhodou tohoto typu karburátoru je přímá úměrnost mezi nasávaným vzduchem a palivem. Čím více vzduchu je nasáváno tím více paliva směs obsahuje. Všechny následující typy karburátorů jsou založeny na principu funkce karburátoru

jednoduchého. Jsou poněkud složitější z důvodu, aby odstranili hlavní nevýhody jednoduchého karburátoru, a to především jeho nízkou ekonomiku provozu kterou zapříčiňuje velmi bohatá směs. Vrcholem karburátorů byly karburátory dvoustupňové, které používali dva difuzory. První byl určen pro malá zatížení a druhý pro maximální výkon spalovacího motoru. Dále byly vybaveny sytičem, který záměrně obohacoval směs k usnadnění studeného startu spalovacího motoru. [1]

Od karburátorů se příprava směsi přesunula ke vstřikování paliva, které nebylo žádnou novinkou. Používalo se už za druhé světové války u leteckých motorů, protože tento systém zvládal odolávat gravitaci i odstředivým silám působícím na motor při manévrování. Důvodem použití vstřikování paliva u automobilových motorů byl, že dokázal snížit spotřebu paliva a zároveň zvýšit výkon spalovacího motoru. Výrobě vstřikovacího systému dominovala firma Bosch, která v průběhu vývoje představila několik typů vstřikovacích zařízení. Vstřikování paliva můžeme rozdělit na nepřímé vstřikování a přímé vstřikování paliva do válce. Přímé vstřikování je rozebráno v kapitole 6.1. Nepřímé vstřikování paliva lze dále rozdělit na vstřikování paliva do sání a vstřikování paliva do sacího kanálu (před sací ventily). Prvním vstřikovací systémem od firmy Bosch byl použit v roce 1967 a nesl název D-Jetronic. Jednalo se o vstřikování do sacího kanálu, každý válec měl svůj vstřikovač paliva. Oproti karburátorům je vstřikování paliva daleko složitější systém viz. obr. 23, který ovšem umožňuje přesnější dávkování paliva a tím zvýšit ekonomiku provozu. Další vstřikovací systémy jako LH-Jetronic a KE-Jetronic jsou založeny na stejném principu funkce, s rozdílem

Obr. 23 – Schéma vstřikovacího systému D-Jetronic; 1 – řídicí jednotka, 2 – vstřikovač paliva, 3 – snímač tlaku, 4 – snímač teploty chladicí kapaliny, 5 – termo spínač, 6 – startovací ventil, 7 – palivová pumpa, 8 – palivový filtr, 9 – regulátor tlaku, 10 – přidavný vzduchový regulátor, 11 – snímač polohy škrtníci klapky, 12 – rozdělovač, 13 – čidlo teploty nasávaného vzduchu, 14 – palivová nádrž, 15 – ovládací relé [30]

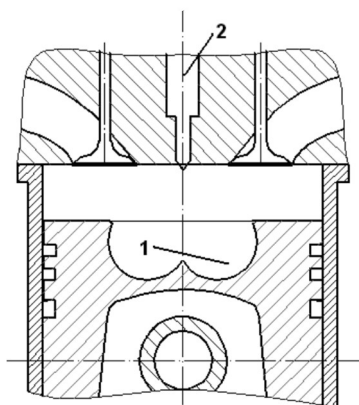


v ovládacích částech systémů a použitých vstříkovacích ventilů. Vstříkovací systém Mono Motronic využívá centrálního vstříkovaní paliva před škrťací klapku na rozdíl od předchozích systémů vstříkovaní. [1]

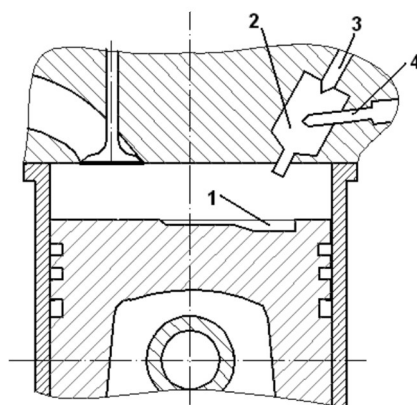
5.4.2 Vznětové motory

Vznětové motory používají přímé vstříkovaní paliva už počátku jejich prvního sestavení. Důvodem je funkce spalovacího motoru a charakteristika použitého paliva. U těchto vstříkovacích systému došlo také k ohromnému vývoji. První vstříkovací systémy bránily použití spalovacího motoru v automobilech z důvodu velkých rozměrů. Dnes

Obr. 24 – Nedělený spalovací prostor; 1 – spalovací prostor, 2 – vstříkovač paliva [31]



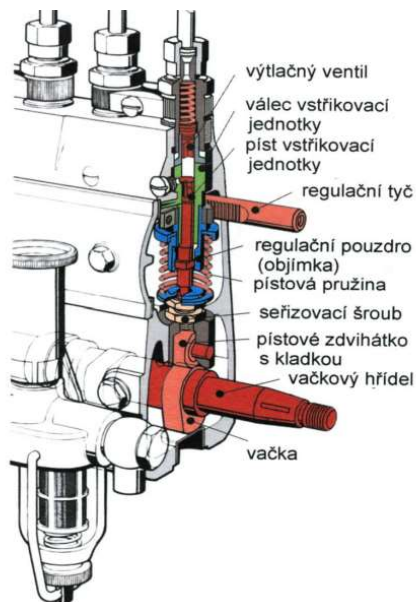
Obr. 25 – Dělený spalovací prostor; 1 – spalovací prostor, 2 – komůrka, 3 – vstříkovač paliva, 4 – žhavicí svíčka [31]



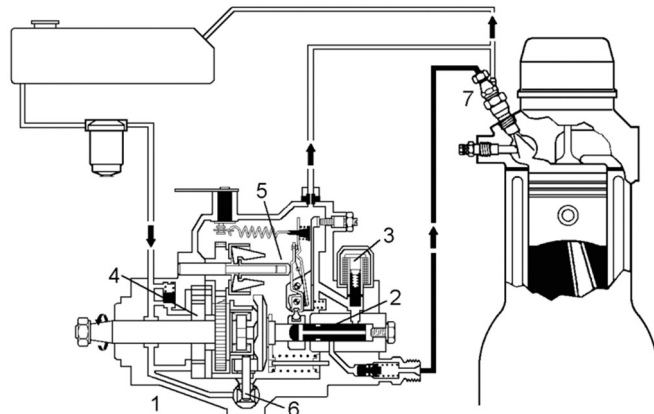
z pravidla rozeznáváme dva typy tvorby směsi. Prvním typem je objemové tvoření směsi, kdy se palivo vstříkuje více otvorovou tryskou do celého objemu spalovacího prostoru (obr. 24). Druhý typ je termické tvoření směsi, kdy používáme vstříkovač pouze s jedním otvorem. Palivo je vstříknuto do tzv. komůrky (obr. 25), kde se vlivem teploty odpařuje a dochází k smíchání paliva se vzduchem. Tím vzniká vhodná směs k vznícení. Spalovacím motorům s děleným spalovacím prostorem se přezdívalo komůrkové motory. Oproti vznětovému motoru s neděleným spalovacím prostorem mají vyšší spotřebu paliva. Na druhou stranu mají velmi měkký chod (důvodem je pomalu narůstající tlak ve spalovacím prostoru) a nepožadují tak velké nároky na vstříkovací soustavu. Dříve se komůrkové motory používali u osobních automobilů pro výše zmíněné výhody, dnes se už ale nevyrábějí. [1]

Hlavní součástí palivového systému pro vznětové motory je právě vstříkovací čerpadlo, které vytváří potřebný tlak pro rozprášení paliva ve spalovacím prostoru. V roce 1927 Robert Bosch způsobil přelom, když představil první řadové vstříkovací čerpadlo (obr. 26), které se vyznačuje velmi velkou spolehlivostí a nízkou údržbou. Každý válec motoru má svoji

Obr. 26 – Řez řadovým vstříkovacím čerpadlem [32]



Obr. 27 – Palivová soustava s rotačním čerpadlem; 1 – rotační čerpadlo, 2 – píst vysokotlaké části, 3 – regulační ventil, 4 – lopátkové podávací čerpadlo, 5 – regulátor, 6 – přesuvník vstříku, 7 – vstříkovač paliva [34]



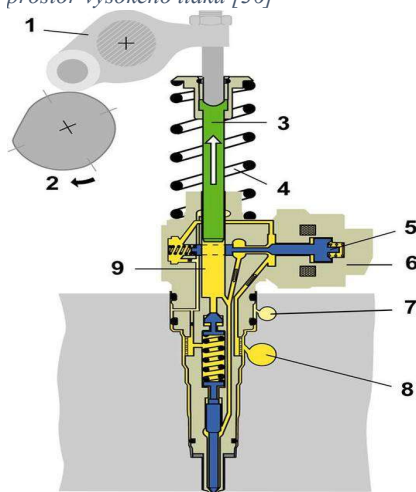
vstříkovací jednotku a čerpadlo je poháněno vačkovou hřídelí. Z dnešního pohledu čerpadlo dosahuje nízkého vstříkovacího tlaku přibližně 100 až 130 MPa. Právě vstříkovací tlak nám umožňuje rozpráshit palivo na menší částice, to je jeden ze způsobů jak dosáhnout čistších výfukových plynů. [9]

Dalším typem vstříkovacího čerpadla je čerpadlo rotační (obr. 27). Na rozdíl od řadového čerpadla, čerpadlo rotační má jednu vstříkovací jednotku pro všechny válce motoru. Rotační čerpadlo bylo poprvé použito v roce 1988 a vystřídalo čerpadla řadová. Bylo totiž schopno dosáhnout vyššího vstříkovacího tlaku (až 160 MPa). [10] [9]

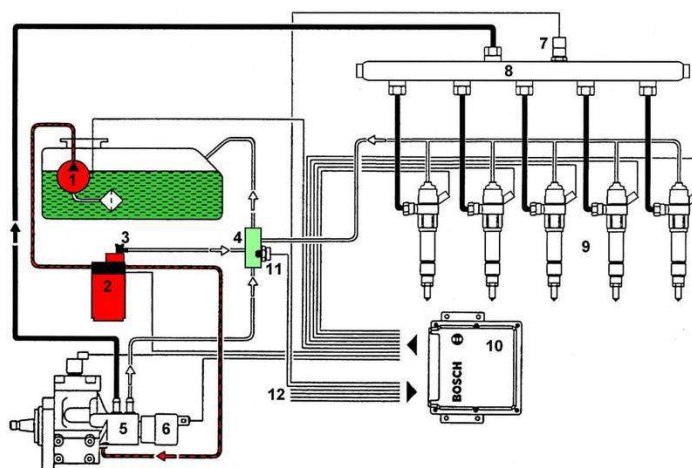
Dalším možným typem vstřikování je sdružená vstřikovací jednotka (obr. 28). Tento vstřikovací systém můžeme znát také pod názvem čerpadlo – tryska a byl použit u dnes jednoho z neznámějších vznětových motorů 1,9 TDI-PD. Výhodou je, že není potřeba žádné vstřikovací čerpadlo. Nevýhodou je velká hlučnost motoru vyplívající z nemožnosti dávku

Obr. 28 – Sdružená vstřikovací jednotka;

1 – vahadlo, 2 – vstřikovací vačka, 3 – píst čerpadla, 4 – pružina pístu, 5 – jehla ventilu, 6 – elektromagnetický ventil, 7 – zpětné vedení, 8 – přívod paliva, 9 – prostor vysokého tlaku [36]



Obr. 29 – Vstřikovací systém Common Rail; 1 – podávací čerpadlo, 2 – palivový filtr, 3 – pojistný ventil, 4 – sběrač zpětného vedení, 5 – vysokotlaké čerpadlo, 6 – regulační ventil, 7 – tlakový snímač, 8 – zásobník paliva, 9 – vstřikovače paliva, 10 – řídicí jednotka motoru [37]



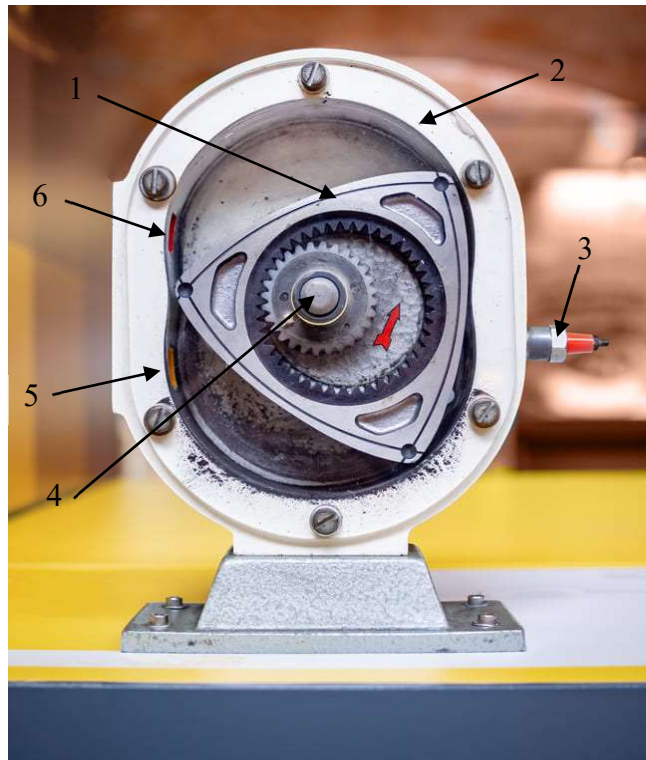
paliva rozdělit na několik částí. Každá jednotka si vytváří vstřikovací tlak sama a je poháněna vačkovým hřídelem umístěným v hlavě válců. V automobilovém průmyslu se začal tento systém vstřikování používat přibližně od roku 1995. Dosahoval tlaku od 160 do 220 MPa. [10]

Posledním vstřikovacím systémem, který je dnes nejpoužívanější je systém nazývaný Common Rail (společný zásobník). Schéma můžeme vidět na obr. 29. Tento systém používá podávací čerpadlo a jedno společné vysokotlaké čerpadlo, které dodává palivo pod tlakem do zásobníku (railu). Velkou výhodou systému je právě jeho tlakový zásobník paliva, kdy vstřikování není závislé na otáčkách motoru. Vstřikování si tak plně řídí řídicí jednotka motoru. Hlavním důvodem zavedení a rozšíření tohoto systému byla možnost řádově zvýšit vstřikovací tlak a možnost rozdělit vstřik paliva do několika částí. To přineslo čistší výfukové plyny, vyšší efektivitu a nižší hlučnost vznětových motorů. [10]

5.5 Wankelův motor

Felix Wankel si v roce 1929 nechal patentovat svůj nápad na konstrukci rotačního spalovacího motoru. Do dnes je tento typ spalovacího motoru jmenuje po jeho vynálezci. Z počátku se zdálo, že se jedná o převratný průlom ve spalovacích motorech. Na obr. 30 můžeme vidět konstrukci Wankelova motoru a na ní si popíšeme její výhody a nevýhody. [4]

Obr. 30 – Wankelův rotační motor; 1 – rotor, 2 – blok motoru, 3 – zapalovací svíčka, 4 – hnaný hřídel, 5 – sací kanál, 6 – výfukový kanál [16]



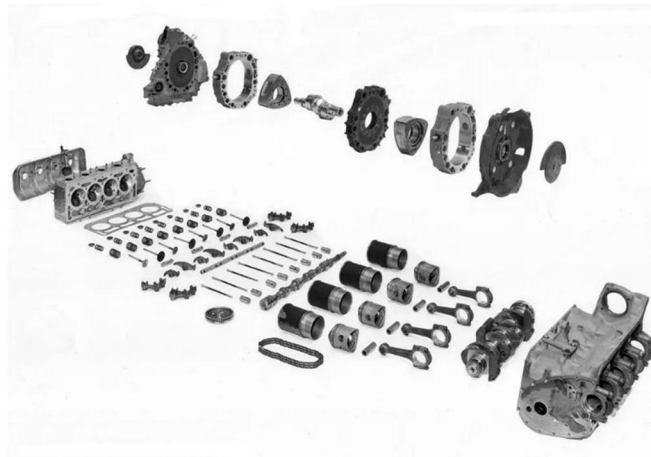
Jedná se o rotační zážehový spalovací motor s vnitřním spalováním. Základ konstrukce motoru tvoří blok a rotor (trojboký píst). Tvar těchto komponent je speciálně navržen tak, aby v každé poloze rotoru se jeho tři vrcholy dotýkaly bloku. Tímto se vytvořili tři oddělené prostory, které při rotaci mění svůj objem. Přenos rotačního pohybu z rotoru na výstupní hřídel je založen na funkci excentrického mechanismu. Pracovní cyklus rotačního motoru je čtyřdobý. Jedním z hlavních rozdílů oproti pístovému spalovacímu motoru je, že při rotaci rotoru probíhají jednotlivé pracovní doby najednou. Pokud první komora nasává, v druhé komoře je směs stlačována a ve třetí probíhá výfuk.

Hlavní výhodou rotačního motoru je v počtu použitých součástí, který oproti pístovému motoru je zásadně menší (obr. 31). Toto vede k významně menší hmotnosti motoru oproti pístovému, který by disponoval stejným výkonem. S touto skutečností můžeme spojit i

výhodu, že rotační motor oproti pístovému je mnohonásobně menší. Poslední výhodou je velmi klidný chod motoru bez vibrací. U pístového spalovacího motoru dochází k zastavení pístu a změně směru pohybu, což přináší vibrace, které je potřebné tlumit. Wankelův motor vykonává rotační pohyb bez změny směru a to přináší možnost používat motor ve velmi vysokých otáčkách.

S výhodami jsou samozřejmě spojeny i nevýhody. Hlavní nevýhodou je problém s utěsněním jednotlivých komor. Na toto těsnění působí vysoké teploty, tlak rozpínajícího plynu a velké tření. Tento problém výrazně snižoval životnost motoru a zvyšoval jeho provozní náklady. Další hlavní nevýhodou je nízká účinnost motoru a s tím spojená vysoká spotřeba paliva. Hlavními příčinami jsou nízký kompresní poměr a velká styčná plocha spalovacího prostoru. Nízký kompresní poměr vychází z konstrukce motoru a negativně ovlivňuje tepelnou účinnost motoru. Velká styčná plocha komory zapříčiňuje velký a rychlý

Obr. 31 – Porovnání počtu součástí pístového a Wankelova motoru [4]



přestup tepla plynů do okolního prostředí. Poslední nevýhodou je vstřikování oleje do motoru z důvodu jeho mazání. Olej, který je následně spalován negativně ovlivňuje emise. [5]

K prvnímu úspěšnému sestrojení došlo v roce 1957. Historický úspěch slavil Wankelův motor v roce 1968, kdy tento motor byl použit ve voze Ro80 pod značkou NSU. V tomto roce vůz vyhrál ocenění Evropské auto roku. Motor byl dvourotorový s výkonem 85 kW. O automobil jevila veřejnost veliký zájem, ale vzhledem k popsaným nevýhodám motor neměl dlouhou životnost. O motor jevili všichni velký zájem, jednalo se totiž o převratnou konstrukci. Nikdy se však nedočkal velkého rozšíření kvůli problémovému těsnění jednotlivých komor. Dnes tento typ spalovacího motoru známe především díky automobilce Mazda, která použila tento motor ve svých modelech RX. [6]

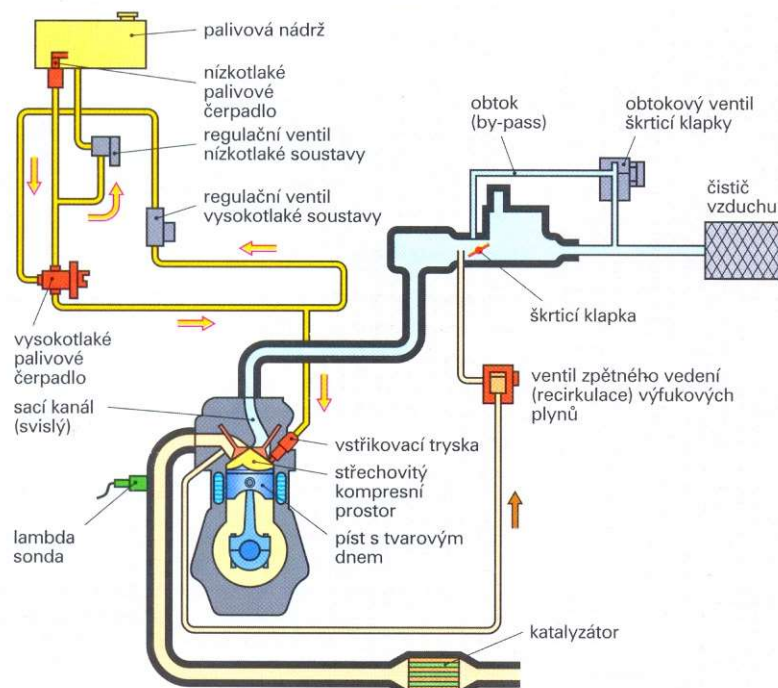
6 Současnost

6.1 Přímé vstřikování paliva

Přímé vstřikování paliva známe od počátku vzniku vznětového motoru, kdy způsob práce vznětového motoru neumožňuje jinou variantu. Použití přímého vstřikování paliva u zážehových motorů přišlo mnohem později. Důvodem bylo složité konstrukční řešení a velké nároky na řízení spalovacího motoru. Přelom nastal v roce 1996, kdy japonská automobilka Mitsubishi použila přímé vstřikování benzínu u motoru 1,8 GDI. Zkratka GDI pochází z anglického Gasoline Direct Injection, v překladu přímé vstřikování benzínu. Poté se přidávali další výrobci automobilů, avšak přímé vstřikování benzínu bylo stále okrajovou záležitostí. Postupně se zvyšující nároky na efektivitu spalovacích motorů zapříčinili, že dnes je přímé vstřikování benzínu rozšířené a je použito i malých spalovacích motorů. [4]

Na obr. 32 můžeme vidět schéma palivové soustavy spalovacího motoru s přímým vstřikováním benzínu GDI. Rozdílů mezi nepřímým a přímým vstřikováním můžeme najít

Obr. 32 – Přímé vstřikování benzínu GDI [5]



hned několik. Prvním rozdílem je, že přímé vstřikování používá dvě čerpadla. První čerpadlo je umístěno v nádrži a slouží jako podávací a funguje na nízkém tlaku. Benzín dále putuje do vysokotlakého čerpadla, které vytvoří dostatečný tlak (od 150 do 350 barů) pro rozprášení paliva ve spalovacím prostoru. Dalším rozdílem je použití jiného typu vstřikovače paliva. Ten musí být konstruován tak aby zvládl tepelné namáhání.

Tento systém vstřikování paliva sebou nese několik výhod i nevýhod. Velkým plusem je přesné řízení motoru s možností regulace směsi. Vystřikovací systém umí vytvořit ve válci jak homogenní směs, tak vrstvenou směs. Homogenní směs se používá ve vysokých otáčkách a potřebě výkonu. Vrstvená směs, která je velmi chudá se pak používá při nízké zátěži a nízkých otáčkách. Ve vrstvené směsi je právě největší výhoda, kdy dochází k velmi velké úspoře paliva. Nevýhodou je že nedochází k oplachu ventilů benzínem a ty se následně zanášejí karbonovými úsadami. Dalším problémem je zvýšení emisí a tvorba pevných částic NO_x , díky kterým bylo třeba zavést katalyzátor NO_x . Dnes nejnovějším systémem pro přípravu směsi je kombinace přímého a nepřímého vstřikování paliva. Jednotliví výrobci různě kombinují funkci těchto dvou systémů vstřikování.

6.2 Přepřňování

Postupem vývoje spalovacího motoru byly a jsou kladeny nároky na zvyšování jeho výkonu a efektivity. Zvýšení výkonu spalovacího motoru lze dosáhnout několika způsoby. Jedním ze způsobů je přepřňování spalovacího motoru. U spalování platí, kolik vzduchu, tolik paliva. Pokud bychom u atmosféricky plněného motoru zvýšili dávku paliva, nedosáhli bychom kýženého zvýšení výkonu, protože celá dávka paliva by se nespálila z důvodu nedostatku vzduchu. Tento problém, lze vyřešit stlačením nasávaného vzduchu pomocí turbodmychadel, kompresorů, nebo jejich vzájemnou kombinací.

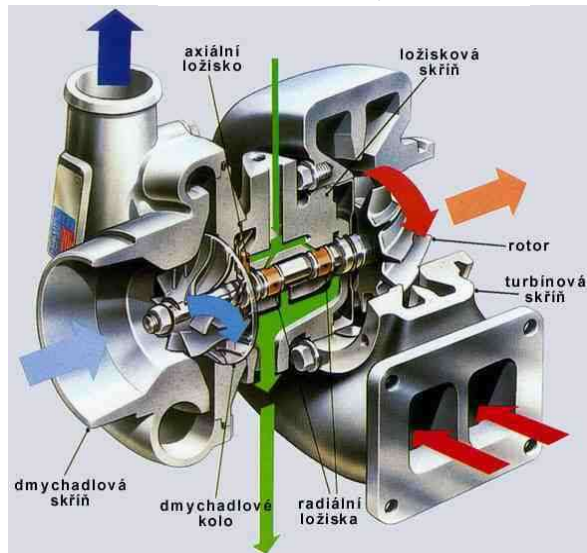
6.2.1 Turbodmychadla

V dnešní době je turbodmychadlo nejpoužívanějším způsobem přepřňování spalovacího motoru. Jeho výhodou je poměrně jednoduchá konstrukce a malá zástavba. Dalším aspektem je zvýšení efektivity motoru, protože turbodmychadlo umí využít část energie (ve formě odpadního tepla) a vrátit jí zpět. Na obr. 33 můžeme vidět princip funkce turbodmychadla. Spaliny, které opustí spalovací prostor jsou svedeny výfukovým potrubím do turbínové skříně, kde vlivem dynamických účinků plynů roztočí rotor. Dále spaliny pokračují do výfukového potrubí. Rotor je na hřídeli pevně spojen s dmychadlovým kolem. Energie získaná od spalin je pak použita na stlačení nasávaného vzduchu. Hřídel dmychadla je uložena v ložiskové skříně za pomoci dvou radiálních kluzných a jednoho axiálního ložiska. Velmi důležité u turbodmychadla je jeho mazání a chlazení z důvodu velmi vysokých provozních otáček (cca $150\,000\text{ min}^{-1}$) a teplot (až $800\text{ }^\circ\text{C}$). Pokud turbodmychadlo není

dobře mazané a chlazené dojde vlivem tepla ke zvětšení vůle v uložení, která následně způsobí mechanické poškození lopatek obou částí dmychadla.

Dnes se stále můžeme setkat se dvěma nepoužívanějšími typy turbodmychadel, kdy je rozlišujeme podle způsobu regulace. Jedním typem je regulace obtokovým ventilem a druhým typem je použití variabilní geometrie rozváděcích lopatek. Regulace turbodmychadla má za

Obr. 33 – Řez turbodmychadlem [12]



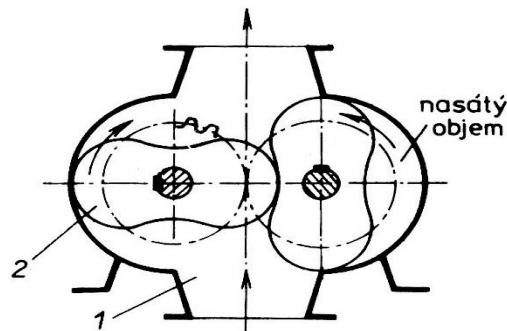
úkol regulovat přísun spalin do turbínové skříně. V nízkých otáčkách motoru potřebujeme dostatečné množství stlačeného vzduchu, aby byl zajištěn výkon motoru. Pokud je turbodmychadlo takto navrženo ve vysokých otáčkách motoru by došlo vlivem velkého množství spalin ke škrcení výfukové části, což by mělo negativní vliv na chod motoru. V tuto chvíli zasáhne obtokový ventil, který přemostňuje turbínovou skříň a pustí část spalin přímo do výfukového potrubí. Při použití regulace pomocí variabilní geometrie lopatek je v nízkých otáčkách zúžen průřez a lopatky rotoru se snáze roztočí. Při vysokých otáčkách je vstupní průřez zvětšen a tím se nepřekročí plnicí tlak. [1]

Spalovací motor není omezen na použití pouze jednoho turbodmychadla. U spalovacích motorů s vidlicovým uspořádáním válců (V6, V8) lze použít pro každou řadu válců jedno turbodmychadlo. Turbodmychadla lze také uspořádat sériově za sebe, kdy například jedno turbodmychadlo je konstruováno na malý objem spalin a druhé na velký objem spalin, tím se sníží prodleva na stlačení plynového pedálu.

6.2.2 Mechanicky hnaná dmyhadla

Kompresory na rozdíl od turbodmychadel jsou poháněny od klikového hřídele. Nevýhodou je, že přicházíme o jistou část výkonu. Výhodou je absence tzv. turboefektu kdy u turbodmychadel po sešlápnutí plynového pedálu nastává prodleva, než je dosažen dostatečný plnicí tlak. Pohon dmyhadla může být zajištěn ozubenými koly, nebo ozubeným řemenem. V dnešní době se kompresory používají nejčastěji u zážehových vidlicových osmiválců.

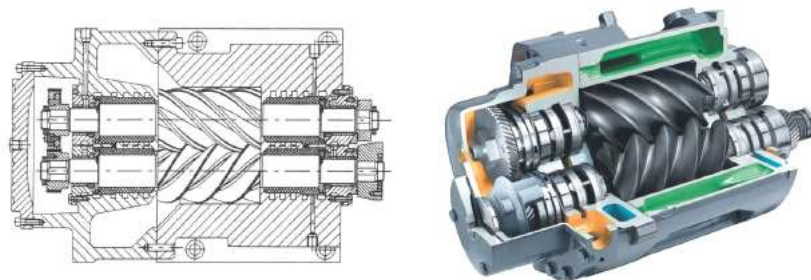
Obr. 34 – Rootsovo dmyhadlo; 1 – stator, 2 rotor [13]



Jedním z kompresorů je tzv. Rootsovo dmyhadlo. Na obr. 34 můžeme vidět konstrukci dmyhadla, kde stlačení vzduchu neprobíhá v dmyhadle, ale za ním. Dmyhadlo má vždy dva rotory a počet zubů na rotoru může být upraven dle potřeby. V podstatě se jedná o zubové čerpadlo se dvěma zuby.

Dalším dmyhadlem je tzv. šroubový kompresor, který už stlačuje vzduch v pracovním prostoru a nikoliv za ním. V dnešní době se tento typ kompresoru používá především na americkém trhu s automobily.

Obr. 35 – Šroubový kompresor [14]



6.3 Vypínání válců

Technologie vypínání válců je v jisté podobě známa už dlouhou dobu. Používala se na začátku 20. století u stacionárních motorů, které poháněly jiná strojí zařízení. U těchto motorů se záměrně vynechával zážeh za účelem regulace chodu motoru. Jednalo se o jednoválcové motory s velkým setrvačником, takže když došlo k vynechání zážehu motor zpomalil, ale nedošlo k jeho zastavení. Dnes se tato technologie používá za účelem snížení spotřeby a emisí u spalovacích motorů. Hlavní opodstatnění má u velkoobjemových motorů, které dosahují v zátěži velkých výkonů. Pokud je motor provozován v částečném zatížení je nutné ho regulovat škrtící klapkou. Z tohoto důvodu pak vznikají v sání velké ztráty, protože motor musí škrcení přemáhat. Odpojením válců z pracovního cyklu je jedna z možností, jak tyto ztráty snížit a docílit tak úspory paliva. Při odpojení válce nedojde k otevření sacího ventilu a válec se chová jako vzduchová pružina. [5]

První zlom tato technologie zaznamenala až v roce 1981, kdy se poprvé dostala do sériové výroby. Automobilka Cadillac vypínání válců použila u svého zážehového osmiválce o objemu 6 litrů, kdy systém byl schopen vypínat dva nebo čtyři válce. Vypínání zajišťoval elektronický počítač, který u rozvodu OHV mechanicky přerušil kontakt mezi zdvihátkem a vahadlem. Velkého úspěchu se tento systém nedočkal z důvodu poruchové elektroniky. V roce 2004 automobilka Chrysler nabídla zákazníkům vylepšený systém odpojování válců u motoru 5,7 V8 HEMI s rozvodem OHV, který vyrábí dodnes. Systém vypínání odpojuje čtyři válce z osmi při vhodných provozních podmínkách. Je ovládán plně hydraulicky a samotné vypnutí válce obstarává solenoid na zdvihátkách. [5]

Vypínání válců se používalo především v Americe. V roce 2012 automobilový výrobce Audi poprvé zavedl do sériové výroby vypínání válců. Technologie byla založena na systému variabilního zdvihu ventilů, při potřebě vypnout válec se nastavil nulový zdvih na sacím ventilu. Poprvé byla tato technologie použita u motorů 4,0 TFSI a 1,4 TFSI. [5]

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit přehled o historickém vývoji spalovacích motorů a jednotlivých technologiích, které tento vývoj ovlivnily. Od prvního sestrojení spalovacího motoru po dnešní podobu urazil tento stroj velký kus cesty. V počátcích bylo potřeba několik spalovacích motorů pro vytvoření výkonu 2000 koňských sil. Dnes máme spalovací motory, které jsou schopny vyvinout výkon až 100 000 koňských sil. Dále spalovací motory prošly zásadním vývojem co se týče ovlivňování životního prostředí, kdy je kladen hlavní důraz na co nejvyšší snížení emisí u spalovacích motorů, které negativně ovlivňují životní prostředí.

8 Bibliografie

- [1] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol* [online]. První vydání. Praha: Grada, 2011 [cit. 2023-02-19]. ISBN 978-80-247-3475-0. Dostupné z: <https://www.grada.cz/spalovaci-motory-6259/>
- [2] MACEK, Jan. *Spalovací motory*. 2. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-01-05015-6.
- [3] REMEK, Branko. *Automobil a spalovací motor: historický vývoj*. 1. vydání. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3538-2.
- [4] Legendy východního bloku: Dvoutakty z NDR. *Auto.cz* [online]. 2016 [cit. 2023-03-24]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/legendy-vychodniho-bloku-dvoutakty-z-ndr-94958>
- [5] Dvoudobé a čtyřdobé spalovací motory a proces spalování. *Autonorma* [online]. 2021 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.autonorma.cz/blog/post/46-dvoudobe-a-ctyrdobe-spalovaci-motory-a-proces-spalovani>
- [6] Motor kontejnerové lodi spotřebuje tisíce litrů paliva. Přesto je ekologičtější než kamiony. *Garáž.cz* [online]. 2022 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/blog-motor-kontejnerove-lodi-spotrebuje-tisice-litru-paliva-presto-je-ekologictejsi-nez-kamiony-21008812>
- [7] Lokomotiva 751. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Lokomotiva_751
- [8] Chlazení moderních motorů: Princip je podobný jako kdysi, tím to ale končí. *Auto.cz* [online]. 2019 [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/chlazení-moderních-motoru-princip-je-podobný-jako-kdysi-tím-to-ale-končí-128213>
- [9] Technologie vstřikování nafty - druhy vstřikovacích čerpadel. *Autonorma* [online]. 2021 [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.autonorma.cz/blog/post/27-technologie-vstrikovani-nafty-druhy-vstrikovacich-cerpadel>

- [10] *Vstřikování dieselů včera a dnes: Proč máme common-rail a čerpadlo-tryska je mrtvé?* [online]. 2017 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/vstrikovani-dieselu-vcera-a-dnes-proc-mame-common-rail-a-cerpadlo-tryska-je-mrtve-105083>
- [11] Vynález Felixe Wankela aneb Svět rotujících trojúhelníků. *Garáž.cz* [online]. 2019 [cit. 2023-03-23]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/vynalez-felixe-wankela-aneb-svet-rotujicich-trojuhelniku-21002136>
- [12] Jak funguje rotační motor. *Autodoc* [online]. 2022 [cit. 2023-03-23]. Dostupné z: <https://club.autodoc.cz/magazin/jak-funguje-rotacni-motor>
- [13] Wankelův rotační motor: Nepoháněl pouze Mazdy. Kde všude se objevil?. *Auto.cz* [online]. 2010 [cit. 2023-03-23]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/wankeluv-rotacni-motor-nepohanel-pouze-mazdy-kde-vsude-se-objevil-110591>
- [14] MAZAL, Mirek. Co dalo autům přímé vstřikování paliva? A jak s ním zacházet, aby nezničilo motor?. *Auto forum* [online]. 2018 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://www.autoforum.cz/nahled/co-dalo-autum-prime-vstrikovani-paliva-a-jak-s-nim-zachazet-aby-neznicilo-motor>
- [15] Technika: Vypínání válců včera a dnes. *Auto.cz* [online]. 2012 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/technika-vypinani-valcu-vcera-a-dnes-64657>
- [16] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. 1. vydání. Praha: Sobotáles, 2001. ISBN 80-859-2076-X.
- [17] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily*. 6. vyd. Brno: AVID, 2010. ISBN 978-80-87143-15-5.
- [18] Rozvod pístem. In: *Teorie a konstrukce motocyklů*. 1. vydání. Brno: František Vlk, 2004, s. 355. ISBN 80-239-1601-7.
- [19] ŠIKA, Michal. Ventilové rozvody. In: *Kutilův zápisník* [online]. 2015 [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <https://kutiluv-zapisnik.cz/ventilove-rozvody/>
- [20] Čtyřdobý motor. In: *Cebia* [online]. 2022 [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://www.cebia.cz/novinky/rady-a-tipy/vznetovy-motor-je-s-nami-uz-125-let-vite-jak-funguje>
- [21] Dvoudobý motor. In: *Portál řidiče* [online]. 2021 [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://www.portalridice.cz/clanek/jak-funguje-dvoutaktni-motor-a-jake-jsou-jeho-vyhody-nevyhody>

- [22] PELCÁK, Jan. *Parní kotle a stroje: konstrukce všech hlavních druhů parních kotlů - strojů i turbin s popisem obsluhy a topičských i strojnických zkoušek ...* [1. vyd.]. V Praze: Josef Hokr, 1941. Hokrovy technické a dílenské příručky.
- [23] Řez turbodmychadlem [online]. In: . 2015 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://autotrip.cz/turbo-tady-turbo-tam/>
- [24] Rootsovo dmychadlo. In: *Strojnictví II: pro střední odborná učiliště*. 3., nezměn. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989, s. 165. ISBN 80-03-00036-x.
- [25] Šroubový kompresor [online]. In: . [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.dum-dilna.cz/jak-kompresory-funguji/>
- [26] Řez motorem Trabantu 601 [online]. In: . [cit. 2023-03-24]. Dostupné z: https://auta5p.eu/zkusenosti/trabant_601/trabant_601_03.php
- [27] Válec motoru Tatra 815 [online]. In: . [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.ath-tatra.cz/valec-motoru-t-815-e2/>
- [28] Vznětový motor Tatra chlazený vzduchem [online]. In: . [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.tatra.cz/proc-tatru/technicka-koncepce-tatra/motory/>
- [29] Chladicí okruh vozidla. In: *Autosalon.tv* [online]. 2014 [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.autosalon.tv/novinky/archiv/je-treba-menit-chladici-kapalinu-ano>
- [30] Chlazení moderních motorů: Zapomíná se na něj, přesto může způsobit fatální závady [online]. In: . [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/galerie/technika/58164/chlazení-moderních-motoru-zapomina-se-na-nej-presto-muze-zpusobit-fatalni-zavady?foto=2>
- [31] Karburátor [online]. In: . [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://beliana.sav.sk/heslo/karburator>
- [32] Princip funkce vstřikovacího systému D-Jetronic [online]. In: . [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://volvo-gruk.ch/en/d-jetronic/function-of-components/>
- [33] In: *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. První vydání. Praha: Grada, 2011, s. 149. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [34] Řez řadovým vstřikovacím čerpadlem. In: JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily 4 - Příslušenství*. 3. vyd. Brno: AVID, 2010, s. 313. ISBN 978-80-87143-16-2.

- [35] *Rotační vstřikovací čerpadla* [online]. In: . [cit. 2023-03-30]. Dostupné z:
<https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1467>
- [36] *Vstřikovací systém čerpadlo-tryska* [online]. In: . [cit. 2023-03-31]. Dostupné z:
<https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1468>
- [37] *Vstřikovací systém Common Rail* [online]. In: . [cit. 2023-03-31]. Dostupné z:
<https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1469>

9 Seznam použitých obrázků

Obr. 1 – Pístní skupina; 1 – Pístní kroužky, 2 – Píst, 3 – Pístní čep, 4 – Pojištění pístního čepu [38]....	3
Obr. 2 – Ojnice [5].....	4
Obr. 3 – Kliková hřídel [6].....	6
Obr. 4 – Closed-deck; 1 – kanály pro chladící kapalinu, 2 – otvor pro připevnění hlavy válců, 3 – provedení bez vložky válce.....	7
Obr. 5 – Hlava válce dvoutaktního motoru [39].....	8
Obr. 6 – Hlava válců čtyřdobého motoru; 1 – otvor pro vstřikovač paliva, 2 – žhavicí svíčka, 3 – otvor pro upevnění hlavy válců, 4 – kanály pro chladící kapalinu, 5 – ventily, 6 – kanály pro mazací olej.....	8
Obr. 7 – Rozvod pístem [7].....	9
Obr. 8 – Rozvod OHV [8].....	10
Obr. 9 – Rozvodový mechanismus DOHC.....	11
Obr. 10 – Rozvodový mechanismus DOHC pomocí řetězu.....	11
Obr. 11 – Rozvodový mechanismus poháněný ozubeným řemenem; 1 – ozubený řemen, 2 – ozubené řemenice, 3 – napínací kladka, 4 – vačkové hřídele s nastavovači časování ventilů.....	12
Obr. 12 – Rozvodový mechanismus SV [8].....	12
Obr. 13 – Funkce čtyřdobého vznětového motoru [9].....	13
Obr. 14 – Funkce dvoudobého spalovacího motoru [10].....	13
Obr. 15 – Parní stroj; 1 – Píst, 2 – Pístní tyč, 3 – Křížák, 4 – Ojnice, 5 – Kliková hřídel, 6 – Excentrický mechanismus, 7 - Setrvačnick, 8 – Šoupátko, 9 - Wattův odstředivý regulátor [11].....	16
Obr. 16 – Ottův motor [1].....	17
Obr. 17 – Řez motorem Trabantu 601 [20].....	19
Obr.18 – Válec motoru Tatra s teplosměnnými plochami [23].....	21
Obr. 19 – Vznětový motor Tatra chlazený vzduchem [24].....	21
Obr. 20 – Chladicí okruh vozidla; 1 – Chladič, 2 – Vodní pumpa, 3 – Ventilátor, 4 – Termostat, 5 – Radiátor topení, 6 – Ventil radiátoru, 7 – Spalovací motor, 8 – Proud vzduchu [25].....	22

Obr. 21 – Modul termomanagmetu; 1 – Elektromotor, 2 – Šnekové soukolí, 3 – První vícecestný ventil, 4 – Pohon vodní pumpy ozubeným řemenem, 5 – Vodní pumpa, 6 – Druhý vícecestný ventil, 7 – Výstup chladiče oleje, 8 – Výstup chladiče, 9 – Výstup topení, turbodmyhadla a převodovky, 10 – Vstup do chladiče, 11 – Vstup do motoru, 12 – Výstup z motoru [27].....	23
Obr. 22 – Schéma jednoduchého karburátoru; 1 – Plováková komora, 2 – Plovák, 3 – Hladina paliva udržovaná plovákem, 4 – Hrdlo karburátoru, 5 – Trubička trysky, 6 – Tryska, 7 – Difuzor, 8 – Škrtkící klapka [29].....	24
Obr. 23 – Schéma vstřikovacího systému D-Jetronic; 1 - řídicí jednotka, 2 – vstřikovač paliva, 3 – snímač tlaku, 4 – snímač teploty chladící kapaliny, 5 – termo spínač, 6 – startovací ventil, 7 – palivová pumpa, 8 – palivový filtr, 9 – regulátor tlaku, 10 – přídavný vzduchový regulátor, 11 – snímač polohy škrtkící klapky, 12 – rozdělovač, 13 – čidlo teploty nasávaného vzduchu, 14 – palivová nádrž, 15 – ovládací relé [30].....	25
Obr. 24 – Nedělený spalovací prostor; 1 – spalovací prostor, 2 – vstřikovač paliva [31].....	26
Obr. 25 – Dělený spalovací prostor; 1 – spalovací prostor, 2 – komůrka, 3 – vstřikovač paliva, 4 – žhavicí svíčka [31].....	26
Obr. 26 – Řez řadovým vstřikovacím čerpadlem [32].....	27
Obr. 27 – Palivová soustava s rotačním čerpadlem; 1 – rotační čerpadlo, 2 – píst vysokotlaké části, 3 – regulační ventil, 4 – lopatkové podávací čerpadlo, 5 – regulátor, 6 – přesuvník vstřiku, 7 – vstřikovač paliva [34].....	27
Obr. 28 – Sdružená vstřikovací jednotka; 1 – vahadlo, 2 – vstřikovací vačka, 3 – píst čerpadla, 4 – pružina pístu, 5 – jehla ventilu, 6 – elektromagnetický ventil, 7 – zpětné vedení, 8 – přívod paliva, 9 – prostor vysokého tlaku [36].....	28
Obr. 29 – Vstřikovací systém Common Rail; 1 – podávací čerpadlo, 2 – palivový filtr, 3 – pojistný ventil, 4 – sběrač zpětného vedení, 5 – vysokotlaké čerpadlo, 6 – regulační ventil, 7 – tlakový snímač, 8 – zásobník paliva, 9 – vstřikovače paliva, 10 – řídicí jednotka motoru [37].....	28
Obr. 30 – Wankelův rotační motor; 1 – rotor, 2 – blok motoru, 3 – zapalovací svíčka, 4 – hnaný hřídel, 5 – sací kanál, 6 – výfukový kanál [16].....	29
Obr. 31 – Porovnání počtu součástí pístového a Wankelova motoru [4].....	30
Obr. 32 – Přímé vstřikování benzínu GDI [5].....	31
Obr. 33 – Řez turbodmyhadlem [12].....	33

Obr. 34 – Rootsovo dmyhadlo; 1 – stator, 2 rotor [13].....	34
Obr. 35 – Šroubový kompresor [14].....	34