

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Spalovací motory – rozbor konstrukce spalovacích motorů

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Zdeněk Kvíz, Ph.D.

Vypracoval: Eduard Wellner

PRAHA 2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Eduard Wellner

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Spalovací motory – rozbor konstrukce spalovacích motorů

Název anglicky

Combustion Engines – design analysis

Cíle práce

Na základě studia odborné literatury, týkající se konstrukce spalovacích motorů vozidel, vypracovat literární rešerši zaměřenou na jejich možná různá konstrukční řešení.

Metodika

Student se seznámí s literaturou zaměřenou na problematiku konstrukce spalovacích motorů s důrazem na nejvíce používané motory pístové. Popíše různá technická řešení, základní charakteristiky hodnocení spalovacích motorů, vývoj v jejich konstrukci a moderní trendy.

Student práci vypracuje v souladu s následující osnovou:

1. Úvod.
2. Historie a vývoj spalovacích motorů.
3. Typy a konstrukce spalovacích motorů.
4. Základní charakteristiky pístových spalovacích motorů, výhody a nevýhody.
5. Moderní trendy v konstrukci pístových spalovacích motorů.
6. Závěr – shrnutí práce.

Doporučený rozsah práce

30 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

spalovací motor, konstrukce, výkon, emise, spotřeba PHM

Doporučené zdroje informací

HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony. Praha: Grada Publishing a.s. 2012., 160 s. ISBN 978-80-247-4455-1.

HROMÁDKO Jiří, HROMÁDKO Jan, HÖNIG Vladimír, MILER Petr. Spalovací motory. Praha: Grada Publishing, a.s., 2011, 296s. ISBN 978-80-247-3475-0.

REMEK, Branko. Automobil a spalovací motor: historický vývoj. 1. vyd. Praha : Grada Publishing a.s., 2012. 159 s. ISBN 978-80-247-3538-2.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Zdeněk Kvíz, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2016

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 18. 02. 2017

PROHLÁŠENÍ O AUTORSTVÍ

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Spalovací motory – Rozbor konstrukce spalovacích motorů vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

dne.....

podpis studenta.....

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Zdeňku Kvízovi, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnost a cenné rady, které mi pomohly při zpracování této práce.

Eduard Wellner

Abstrakt: Bakalářská práce se zabývá různými typy konstrukcí spalovacích motorů. Motory jsou rozděleny do kategorií dle způsobu přeměny tepelné energie na mechanickou práci, způsobu přívodu tepelné energie, typu pohybu pístu, použitého paliva, počtu dob v pracovním cyklu, způsobu plnění, způsobu zažehnutí směsi, způsobu přenosu síly od pístu, způsobu činnosti, počtu a uspořádání válců, typu chlazení a typu použitého rozvodového mechanismu. Po rozdělení a popsání různých typů konstrukcí je práce zaměřena na charakteristiky spalovacích motorů s uvedením jejich zásadních výhod a nevýhod. Následně se práce zabývá problematikou budoucnosti spalovacích motorů a směrem jejich budoucího vývoje.

Klíčová slova: spalovací motor, konstrukce, výkon, emise, spotřeba PHM

Combustion Engines – design analysis

Summary: This thesis is dealing with different types of internal combustion engines. They are divided into categories according to the method of converting thermal energy into mechanical work, type of movement of the piston, used fuel, working cycle, method of ignition of the mixture, power transmission from the piston, mode of operation, number and arrangement of cylinders, cooling type and type of cam mechanism. Then it's focused on the characteristics of internal combustion engines, their advantages and disadvantages. Finally, It deals with the issue of future of internal combustion engines and which direction the trend is.

Key words: internal combustion engine, engine design, performance, exhaust emissions, fuel consumption

OBSAH

1	ÚVOD.....	1
2	HISTORIE A VÝVOJ SPALOVACÍCH MOTORŮ	2
3	TYPY A KONSTRUKCE SPALOVACÍCH MOTORŮ	5
3.1	Rozdělení dle způsobu přeměny tepelné energie na mechanickou práci	5
3.2	Rozdělení dle způsobu přívodu tepelné energie	6
3.3	Rozdělení dle typu pohybu pístu.....	6
3.4	Rozdělení dle skupenství použitého paliva	7
3.5	Rozdělení dle počtu dob v pracovním cyklu	8
3.6	Rozdělení dle způsobu plnění válce směsí	10
3.7	Rozdělení dle způsobu zažehnutí směsi.....	10
3.8	Rozdělení dle způsobu přenosu síly od pístu	12
3.9	Rozdělení dle způsobu činnosti.....	14
3.10	Rozdělení dle uspořádání a počtu válců v motoru	14
3.11	Rozdělení dle typu chlazení motoru	17
3.12	Rozdělení dle použitého typu rozvodového mechanismu	18
4	ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY PÍSTOVÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ, VÝHODY A NEVÝHODY.....	23
5	MODERNÍ TRENDY V KONSTRUKCI PÍSTOVÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ	27
5.1	Přepřehování motorů	28
5.2	Biopaliva	29
5.3	Snižování obsahu škodlivých látek ve výfukových plynech.....	30
6	ZÁVĚR	34
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	36
8	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	37
9	SEZNAM ZKRATEK	38

1 ÚVOD

V této bakalářské práci s názvem „Spalovací motory – rozbor konstrukce spalovacích motorů“ je text rozdělen do následujících čtyř kapitol. Struktura práce je sestavena tak, aby odpovídala zadání bakalářské práce.

Úvodní část bakalářské práce je zaměřena na historický vývoj spalovacího motoru, který konstrukčně vychází z parního stroje. Jsou zde popsány skutečnosti, které vedly k jeho vylepšování a následnému vzniku prvních motorů, spalujících palivo uvnitř pracovního prostoru, a jejich další vývoj.

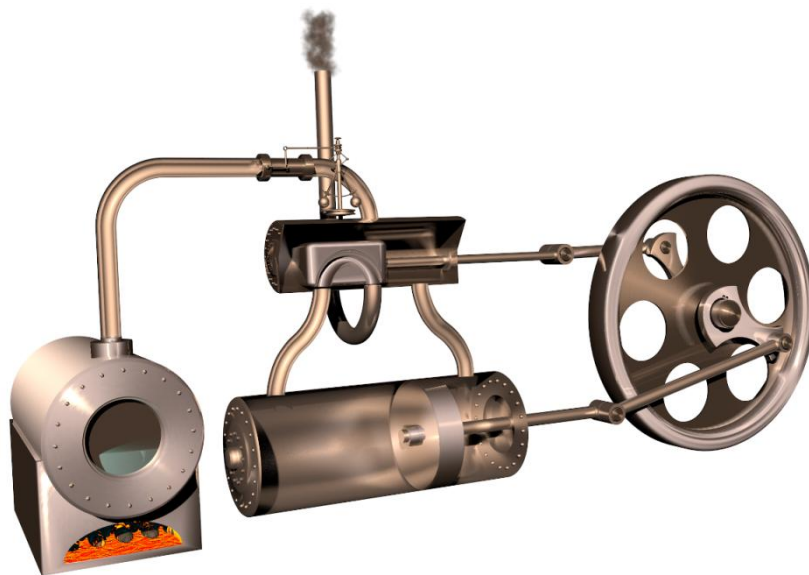
Druhá a zároveň hlavní část této práce spočívá v důkladném rozdělení a následném rozboru základních částí motoru. Ty jsou postupně rozděleny do kategorií a podkategorií, následně je potom vysvětlena jejich funkce. Tato část je analyzována nejpodrobněji, neboť jde o nejdůležitější část práce, jak již vyplývá z názvu.

Třetí kapitola je zaměřena na charakteristiky spalovacího motoru jako celku. Jsou zde zmíněny hlavní přednosti a nedostatky spalovacích motorů a jejich obecná definice. Kapitola dále pokračuje popisem nejdůležitějších diagramů, pomocí kterých lze popsat a charakterizovat spalovací motor. Jedná se o teoretický oběh nepřepřítaných zážehových a vznětových motorů a otáčkovou charakteristiku.

Poslední, čtvrtá kapitola je zaměřena na moderní trendy spalovacích motorů. Jedná se zejména o ekologické aspekty, které nutí výrobce motorů dodržovat emisní normy, následovanými snahou u zvýšení účinnosti a tím i hospodárnosti. Jsou zde zmíněny technologie, které vedou ke snížení nežádoucích látek ve výfukových plynech či je odstraňují, dále také technologie, zajišťující zvyšování výkonu či snižování spotřeby paliv.

2 HISTORIE A VÝVOJ SPALOVACÍCH MOTORŮ

Za předchůdce prvního spalovacího motoru můžeme považovat parní stroj. Vynález parního stroje je obvykle přisuzován Jamesi Wattovi, který ho vynalezl roku 1765. Watt však spíše významně zdokonalil původní koncepci parního stroje. Svůj parní stroj začal pohánět párou o vyšším tlaku, než je tlak atmosférický, čímž dosáhl vyšší účinnosti. Dále parní stroj přestavěl na dvojčinný. Princip spočívá v přívodu páry z obou stran pístu. Pára je rozváděna před píst a za píst pomocí pohyblivého šoupátka, které je ovládáno klikovou hřídelí (obrázek č. 1). Díky tomuto mechanismu dosáhl stavu, při kterém se stroj chová jako jednočinný s dvojnásobným počtem válců. Kromě pravidelnějšího chodu Watt dosáhl také většího výkonu bez nutnosti zvětšit pracovní prostor válce.



Obrázek č. 1 Dvojčinný parní stroj

Zdroj: autor

Dalším z Wattových vynálezů byl odstředivý regulátor, pomocí něhož bylo možné udržovat konstantní otáčky velmi výkonného parního stroje s vynaložením malých sil. Odstředivý regulátor se skládá ze dvou rotujících závaží poháněných parním strojem. S měnícími se otáčkami parního stroje se mění i otáčky regulátoru. S rostoucími otáčkami regulátoru působí na rotující závaží větší odstředivé síly, které zvyšují jejich vzdálenost od

svislé osy rotace. Zvýšená vzdálenost od svislé osy se převádí na pohyb, kterým je otevírán ventil přivádějící páru do stroje (obrázek č. 2). Tímto způsobem se stroj sám reguluje a udržuje si konstantní otáčky. Při poklesu otáček se pomocí odstředivého regulátoru otevře ventil, který umožní průchod většímu množství páry, což zapříčiní zvýšení otáček. Na zvýšení otáček regulátor reaguje přiškrcením ventilu a snížením průtoku páry. Tento proces udržuje otáčky konstantní, což umožňuje stroji pracovat samostatně bez strojíka.



Obrázek č. 2 Wattův odstředivý regulátor

Zdroj: autor

V roce 1807 získal Švýcar Isaac de Rivaz patent na motor poháněný plyným vodíkem či svítiplynem. Jako základ motoru použil svislou dělovou hlaveň, ve které zapaloval směs plynu a vzduchu, jež tlačila píst směrem vzhůru. Pohyb pístu dolů byl obstarán jeho vlastní vahou. Motor byl ovládán strojíkem a neměl příliš praktické využití.

Za skutečného tvůrce výbušných spalovacích motorů je považován Francouz Jean Joseph Etienne Lenoir, který roku 1859 obdržel patent na dvojčinný dvoudobý motor na plyn se šoupátkovým rozvodem. Ten využíval úplného klikového mechanismu jako parní stroj. Tedy píst, pístní tyč, křížák, ojníci a klikový hřídel. Motor již bylo možné v praxi skutečně využít a bylo jich vyrobeno více než čtyři sta. Lenoir své plány motoru následně prodal

německému vynálezci N. A. Ottovi, který nejprve jeho dvoudobý motor vylepšoval, aby následně jím inspirovaný vyrobil v roce 1867 první čtyřdobý motor. Ten měl až o dvě třetiny nižší spotřebu paliva než motor Lenoirův. Sériově se tento motor začal vyrábět v roce 1872. O čtyři roky později vyrobil Otto verzi motoru se zvýšeným kompresním poměrem, který si nechal patentovat v roce 1877. Tento typ motoru je dodnes označován jako „Ottův motor“. Dalším Ottovým vynálezem bylo elektrické zapalování, které nahradilo starší zapalování směsi pomocí plamene. To umožnilo spalování paliva v kapalně formě, což činilo motor mnohem více mobilním.

Za dalším vylepšením motoru stojí německý vynálezce Gottlieb Daimler. Usiloval o zvýšení výkonu motorů, čehož dosáhl zvýšením maximálních otáček až na 900 min^{-1} . Díky tomu v roce 1884 postavil první rychloběžný motor své doby. Toho docílil výměnou nízkonapětového zapalování za žhavicí trubičku. Šlo o trubičku, která byla před startem motoru zahřívána plamenem až na teplotu, při níž se palivo při styku s trubičkou vznítilo. Trubička procházela skrz hlavu válce a bylo ji tedy možné z vnější strany motoru zahřívát. Po nastartování motoru již byla trubička zahřívána samotným spalováním směsi a ohřev plamínkem nebyl pro další běh motoru nutný.

V průběhu let 1893 až 1897 v Německu se Rudolf Diesel začal zabývat motorem, který měl mít mnohonásobně větší účinnost a menší spotřebu paliva než motor Ottův. Hlavním rozdílem odlišujícím Dieselův motor od Ottova motoru byl princip zažehnutí směsi. Místo zapalovací soustavy byla směs zažehnuta vysokou teplotou stlačeného vzduchu uvnitř válce. První exemplář motoru z roku 1893 spaloval uhelný prach. Ten byl roku 1896 nahrazen benzínem vstřikovaným do válce a krátce nato petrolejem, s nímž měl motor klidnější a pravidelnější chod. Roku 1897 si Rudolf Diesel nechal patentovat stroj spalující palivo při konstantním tlaku, kterému se po jeho tvůrci přezdívá Dieselův motor. Ten pracoval s účinností až 26%, což byla v té době revoluční hodnota. Motor našel uplatnění na lodích a lokomotivách, kde postupně začal nahrazovat parní stroj.

3 TYPY A KONSTRUKCE SPALOVACÍCH MOTORŮ

Rozlišuje se mnoho variant spalovacích motorů. Od čtyřdobých pístových motorů, nejčastěji používaných v automobilech, přes proudové motory, používané v letadlech, až po motory s krouživým pohybem pístu. Postupně zde budou uvedeny kategorie, podle kterých je možné spalovací motory rozdělit.

3.1 Rozdělení dle způsobu přeměny tepelné energie na mechanickou práci

Pístové spalovací motory přeměňují tlakovou energii, která vzniká spalováním paliva a působí na píst, na mechanickou rotační energii. K přeměně dochází pomocí klikového mechanismu, který se obvykle skládá z pístu, ojnice a klikového hřídele, případně také z pístní tyče a z křížáku. Klikový mechanismus tedy přeměňuje přímočarý pohyb pístu na rotační pohyb klikového hřídele.

Turbínové spalovací motory získávají mechanickou energii spalováním paliva, jehož spaliny roztáčejí turbínu. Ta je na jedné hřídeli společně s kompresorem, který stlačuje nasávaný vzduch. Ve spalovací komoře je do stlačeného vzduchu vstříknuto palivo a dochází ke spalování směsi.

Proudové spalovací motory využívají reakční energie spalin, které ohromnou rychlostí proudí ven z motoru a tlačí ho vpřed. Vysoká energie spalin je dosažena vstřikováním paliva do stlačeného vzduchu. Ten je stlačen kompresorem ve vstupní části motoru. Samotný kompresor je poháněn turbínou, které je roztáčena spalinami ještě před tím, než opustí motor výstupní tryskou.

3.2 Rozdělení dle způsobu přívodu tepelné energie

Rozlišuje se, zda se tepelná energie získává přímo v pracovním prostoru válce spalováním směsi paliva a vzduchu, či zda probíhá spalování mimo pracovní prostor a tepelná energie je do válce dopravena pomocí vhodného transportního média.

Motory s vnějším spalováním - parní stroj, Stirlingův motor

U motorů s vnějším spalováním probíhá spalování paliva a přeměna chemické energie na tepelnou mimo pracovní prostor válce, přenos energie obstarává vodní pára nebo vzduch. Typický zástupce motorů s vnějším spalováním je parní stroj, u kterého probíhá přeměna chemické energie na tepelnou v parním kotli. Zde je spalováním paliva (např. uhlí) ohřívána voda v kotli, která se vlivem vysoké teploty přeměňuje na páru. Ta je pomocí parovodů vedena do pracovního prostoru válce, kde odevzdává část své tepelné energie. Ta je pomocí klikového mechanismu převáděna na mechanickou energii. Poté pára vstupuje zpět do parního kotle, kde je znovu ohřívána, a cyklus se opakuje.

Motory s vnitřním spalováním - zážehový a vznětový motor

U motorů s vnitřním spalováním dochází ke spalování paliva a k přeměně chemické energie na tepelnou přímo v pracovním prostoru. Médium pro přenos energie jako u motorů s vnějším spalováním není nutné, produkty spalování jsou pracovní látkou, která působí na píst či turbínu. Zástupci motorů s vnitřním spalováním jsou zážehový a vznětový motor, případně turbínové a proudové motory.

3.3 Rozdělení dle typu pohybu pístu

Motory s přímočarým vratným pohybem pístu popisují Jan a Ždánský [2007] slovy: *“Píst klasického pístového motoru vykonává přímočarý vratný pohyb, který musí být pomocí*

ojnice a klikového hřídele převáděn na pohyb rotační. Kmitavý pohyb pístu je zdrojem zrychlujících sil a nepříjemných vibrací motoru.“

Motory s krouživým pohybem pístu pracují bez klikového mechanismu s ojnící. Díky tomu u nich dochází k eliminaci sil nutných k neustálému zrychlování a zpomalování pístu, které jsou přítomny u motorů s přímočarým vratným pohybem. Pohyb pístu je realizován způsobem, který zajišťuje cyklické zvětšování a zmenšování pracovního prostoru bez nutnosti zastavování a změny směru pohybu pístu. Motor s krouživým pohybem pístu je nazýván Wankelův motor.

3.4 Rozdělení dle skupenství použitého paliva

Motory spalující plynná paliva – jedná se nejčastěji o motory, spalující LPG (Propan butan ve zkapalněné formě), CNG (Zemní plyn ve stlačené formě) a LNG (Zemní plyn ve zkapalněné formě). Méně často jde o motory spalující svítiplyn, kychtový plyn, generátorový plyn, kalový plyn či bioplyn. O plynných palivech se zmiňuje Hromádka [2012] takto: *“Plynná paliva jsou z hlediska přípravy směsi výhodnější než paliva kapalná. Umožňují lepší promísení a snadnější dodržení směšovacího poměru paliva se vzduchem, a tím i menší obsah škodlivin ve výfukových plynech. Nesmývají palivový film ze stěn válce a neředí olej v klikové skříni motoru. Nezpůsobují vznik karbonových úsad ve spalovacím prostoru. Mají i lepší antidetonační vlastnosti než kapalná paliva.“*

Motory spalující kapalná paliva jsou v současné době nejrozšířenější. Největší výhodou kapalných paliv je totiž jejich skladovatelnost a snadná manipulace. Doplnění paliva je realizováno prostým nalitím paliva do nádrže, není potřeba žádný tlakový systém jako u plynných paliv. Oproti plynným palivům se však směs se vzduchem netvoří tak snadno. Kapalná paliva rozdělujeme na lehká a těžká. Lehká paliva představují snadno odpařitelnou frakci ropy. Jsou z ní získávány pomocí destilace, jde nejčastěji o benzín

či petrolej. Těžká paliva získáváme také z ropy, jedná se však o těžší frakce, které se vypařují při vyšších teplotách. Nejčastěji se jedná o naftu, mazut či topný olej.

3.5 Rozdělení dle počtu dob v pracovním cyklu

Spalovací motory lze rozdělit podle počtu zdvihů válce, po kterých se cyklus znovu opakuje. Rozlišují se dva typy, dvoudobé a čtyřdobé. Cyklus dvoudobého motoru se skládá ze dvou zdvihů pístu a opakuje se každou otáčku klikového hřídele. Cyklus čtyřdobého motoru se skládá ze čtyř zdvihů pístu a opakuje se každou druhou otáčku klikového hřídele.

Čtyřdobé motory jsou nejrozšířenější motory používané v osobních automobilech. Pracovní cyklus se skládá ze čtyř dob - sání, komprese, expanze a výfuk. O otevírání a zavírání sacích i výfukových kanálů se starají ventily. Jejich pohyb je přesně řízen pomocí vačkového hřídele, který je mechanicky propojen s klikovým hřídelem. Otáčí se poloviční rychlostí než klikový hřídel, tedy jedno otočení každý pracovní cyklus. V první době se otevírá sací ventil a píst se pohybuje směrem od horní úvrati k dolní úvrati. Pohybem pístu vzniká ve válci podtlak, kterým je nasáván vzduch či palivová směs do pracovního prostoru válce. V druhé době se sací ventil uzavře, píst se pohybuje od dolní úvrati směrem k horní úvrati a stlačuje obsah válce. U motorů s karburátorem či nepřímým vstřikováním paliva jde o směs vzduchu a paliva připravenou k zapálení, u motorů s přímým vstřikováním jde pouze o vzduch. Palivo je do pracovního prostoru vstříknuto během kompresního zdvihu, tedy před tím, než píst dosáhne horní úvrati. Ve třetí době dochází k zažehnutí směsi vzduchu a paliva. V případě zážehových motorů je palivo zažehnuto jiskrou od zapalovací svíčky, v případě vznětových motorů vysoká teplota stlačeného vzduchu zapaluje směs sama. Ve válci prudce roste teplota a tlak, rozpínající se hořící směs uvolňuje velké množství energie, která silou tlačí píst od horní úvrati k dolní úvrati. Jedná se o jedinou část pracovního cyklu, při které je získávána mechanická energie. V poslední čtvrté době se píst opět pohybuje od dolní úvrati směrem k horní úvrati, zároveň se otevírá výfukový

ventil a výfukové plyny jsou přetlakem ve válci vytlačovány pryč z pracovního prostoru. Následně se celý cyklus znovu opakuje.

Dvoudobé motory bývají konstrukčně jednodušší, lehčí a méně náročné na výrobu než motory čtyřdobé. Ve většině případů neobsahují ventilový rozvod, nýbrž rozvod šoupátkový. Funkci šoupátka často zastává píst, který svým pohybem otevírá a uzavírá sací, výfukové a přepouštěcí kanály motoru. Motor pracuje ve dvou dobách, pracovní cyklus se opakuje každou otáčku klikové hřídele. V první době probíhá zároveň sání a komprese. Píst se pohybuje od dolní úvrati směrem k horní úvrati. Tím vzniká v prostoru pod pístem podtlak, který nasává směs vzduchu a paliva do prostoru klikové skříně. Zároveň probíhá komprese paliva ve spalovacím prostoru nad pístem. V druhé době dochází k zažehnutí palivové směsi, píst je stlačován od horní úvrati směrem k dolní úvrati. Při tomto pohybu píst odkrývá přepouštěcí a výfukový kanál. Výfukovým kanálem odcházejí výfukové plyny pryč z pracovního prostoru válce, přepouštěcím kanálem se dostává palivo z prostoru pod pístem nad píst a zároveň napomáhá výměně obsahu válce tím, že vytlačuje výfukové plyny ven z pracovního prostoru. Při tomto procesu musí nevyhnutelně docházet k tomu, že spolu s výfukovými plyny odchází z motoru i část čerstvé směsi, která před uzavřením výfukového kanálu pístem stihla opustit pracovní prostor válce a odchází tak do výfuku nespálená. Tento jev lze částečně eliminovat správně naladěným výfukovým potrubím, které působí proti pohybu výfukových plynů. Hlavní přednost dvoudobých motorů oproti čtyřdobým spočívá v jejich rozměrech, nízké hmotnosti a jednoduchosti. Dvoudobé motory bývají chlazeny vzduchem, takže jsou lehčí, jednodušší a kompaktnější. Také nepotřebují oddělený tlakový mazací systém s čerpadlem, který používají čtyřdobé motory, protože olej je přimícháván do paliva již v nádrži. Motor je tak mazán pouze palivem, které motorem prochází. Dvoudobé motory se stále využívají v malých motocyklech a skútrech, či v motorových pilách, křovinořezech a sekačkách na trávu, kde se uplatňují tyto jejich přednosti. Mezi největší nevýhody dvoudobých motorů patří zvýšené zatěžování životního prostředí z důvodu obsahu nespáleného paliva a oleje ve výfukových plynech. Dvoudobé motory také mají nižší účinnost oproti čtyřdobým motorům, která je zapříčiněna malým kompresním tlakem. Ten je limitován způsobem výměny obsahu válce.

3.6 Rozdělení dle způsobu plnění válce směsí

Podtlakem plněné motory neboli motory s atmosférickým plněním jsou všechny typy čtyřdobých motorů bez přeplňování. Při pohybu pístu z horní úvrati směrem k dolní úvrati vzniká v pracovním prostoru válce podtlak, kterým je do válce nasávána směs vzduchu a paliva, u motorů s přímým vstřikováním paliva je nasáván pouze vzduch a palivo je následně vstříknuto během kompresního zdvihu.

Přetlakem plněné motory mají pracovní prostor plněný vzduchem či směsí paliva o vyšším než atmosférickém tlaku. Vyššího tlaku je dosaženo buď konstrukčním řešením motoru (dvoudobé motory či čtyřdobé motory s rezonančním sacím potrubím), nebo za použití turbokompresoru či turbodmychadla. Výsledkem je zvýšení účinnosti motoru v důsledku většího množství nasátého vzduchu. Větší množství vzduchu umožňuje spalování většího množství paliva při zachování optimálního stechiometrického poměru paliva a vzduchu.

Motory, dosahující přetlaku za pomoci rezonančního sacího potrubí, definuje Rauscher [2004] slovy: *“Základním zdrojem energie využívané pro další naplnění válce motoru je energie infinitesimální podtlakové vlny, která je vyvolána sacím pohybem pístu a šíří se rychlostí zvuku do sacího potrubí. Na volném konci potrubí se tato vlna odráží jako vlna přetlaková a pohybuje se rychlostí šíření zvuku v daném prostředí zpět do válce motoru. Vhodná rezonanční délka a objem potrubí způsobí, že tato vlna dospěje do válce motoru před uzavřením sacího ventilu a zvýší tak hmotnostní naplnění válce motoru.”*

3.7 Rozdělení dle způsobu zažehnutí směsi

Rozlišuje se, jakým způsobem je směs ve válci zažehnuta. Může to být za pomoci jiskry ze zapalovací svíčky či samovznícením, zapříčiněným vlivem vysoké teploty vzduchu.

Zážehové motory

U zážehových motorů dochází k zažehnutí směsi v přesně daný okamžik pomocí zapalovací svíčky. Nastavení optimálního momentu pro zapálení směsi se nazývá předstih zážehu. Hodnota předstihu zážehu se udává v milimetrech, které určují vzdálenost pístu od horní úvrati, nebo ve stupních, které reprezentují úhel natočení klikové hřídele od místa, ve kterém je píst v horní úvrati. Nastavení předstihu může být dáno nastavením rozdělovače, nebo řídicí jednotkou. V zážehových motorech se používají lehká plynná či kapalná paliva (např. benzín). Zážehové motory jsou regulovány kvantitativně, pomocí škrtící klapky, která otevírá či uzavírá sací potrubí motoru, čímž je regulováno množství vzduchu, které motor nasává. V závislosti na množství nasávaného vzduchu je přidáno odpovídající množství paliva pro zachování stechiometrického poměru směsi.

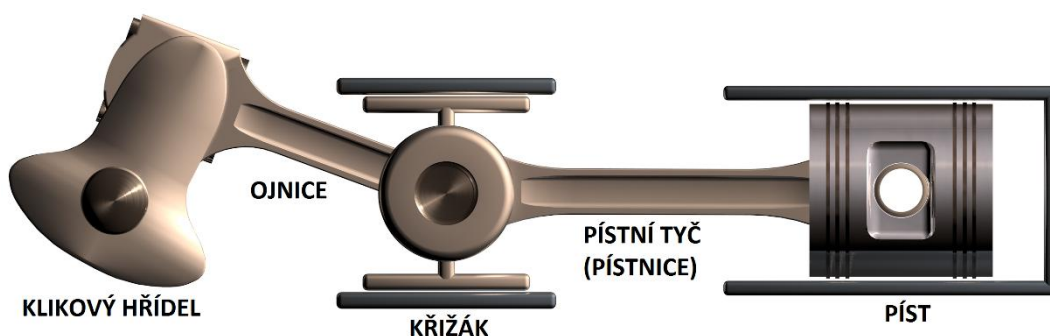
Ideální poměr směsi, při kterém se veškeré palivo spojí se vzduchem se dle Jamese D. Haldermana nazývá stechiometrický poměr – chemicky perfektní složení. Teoreticky jde o směs vzduchu a paliva v poměru 14,7 ku 1. Ve skutečnosti však přesný poměr perfektního smíchání a dokonalého spálení závisí na molekulární struktuře benzínu, která se může lišit. Stechiometrická směs je kompromisem mezi maximálním výkonem a maximální hospodárností. [10]

Vznětové motory

U vznětových motorů je zažehnutí paliva dosaženo bez použití zapalovací svíčky. Palivo je vstřikovačem vstříknuto do válce na konci kompresního zdvihu. Zde dochází k jeho samovznícení vlivem vysoké teploty okolního vzduchu. Vzduch se ve válci ohřívá stlačováním během kompresního zdvihu. Vznětové motory na rozdíl od zážehových neobsahují škrtící klapku. Otáčky motoru jsou regulovány pouze množstvím vstřikovaného paliva, které je vstřikováno přímo do pracovního prostoru válce. Vznětové motory jsou tedy regulovány kvalitativně. Množství nasávaného vzduchu je pořád stejné, mění se pouze poměr vzduchu a paliva od velmi chudé směsi až po směs stechiometrickou. Vznětové motory nejčastěji spalují těžká kapalná paliva (např. motorovou naftu).

3.8 Rozdělení dle způsobu přenosu síly od pístu

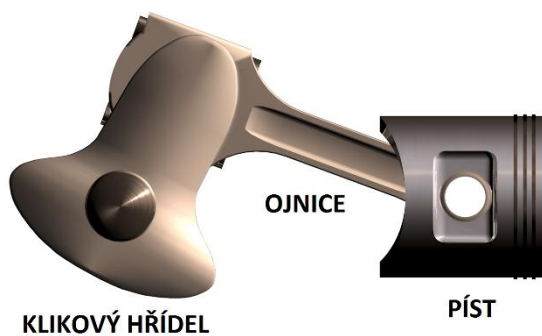
Motory s úplným klikovým mechanismem neboli křížákové motory se skládají z pístu, pístní tyče (pístnice), křížáku, ojnice a klikové hřídele (obrázek č. 3). Křížák zachycuje působení axiálních sil od klikové hřídele, které se díky tomu nepřenáší na píst. Motory s úplným klikovým mechanismem mohou být dvojčinné (např. parní stroj), je však třeba dobře utěsnit prostor kolem pístní tyče. Jejich hlavní nevýhodou jsou velké rozměry.



Obrázek č. 3 Úplný klikový mechanismus

Zdroj: autor

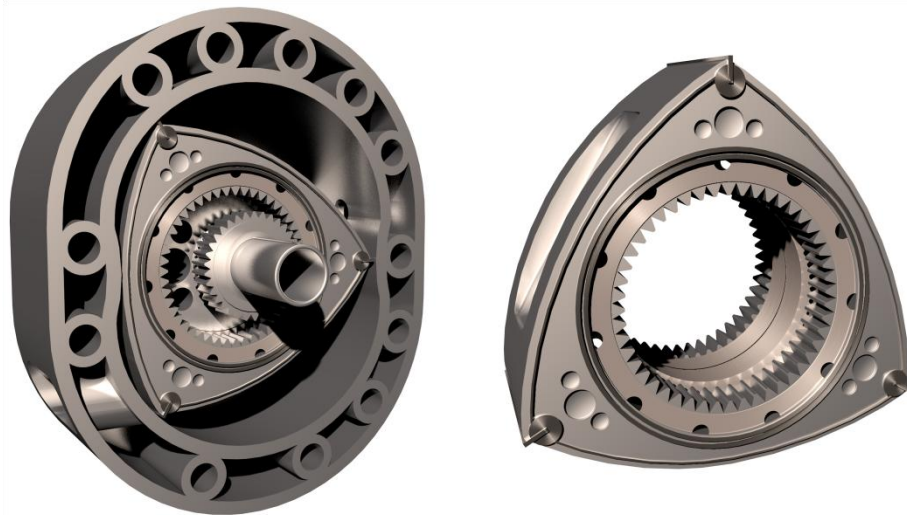
Motory se zkráceným klikovým mechanismem neobsahují ani křížák, ani pístní tyč. Píst je přímo spojen s ojnící a ta s klikovým hřídelem (obrázek č. 4). Axiální síly způsobené klikovým hřídelem se přenášejí přímo na píst a skrze něj na stěny válce. Motory se zkráceným klikovým mechanismem nemohou být dvojčinné, ale jsou mnohem více kompaktní a díky svým minimálním možným rozměrům se lépe hodí do automobilů.



Obrázek č. 4 Zkrácený klikový mechanismus

Zdroj: autor

Motory bez klikového mechanismu – jedná se o motory speciální konstrukce, např. Wankelův rotační motor (obrázek č. 5). Jeho výhodou je eliminace vratného pohybu pístu, který je jednou z největších nevýhod pístových spalovacích motorů, jelikož při každém pohybu pístu je nutné vynaložit energii na jeho zrychlení a následné zastavení. Wankelův motor je osazen speciálním trojbokým pístem, který vykonává rotační pohyb namísto vratného. Motor také neobsahuje klikový mechanismus, je místo něj osazen výstředníkovým hřídelem. S ním je spojený rotor poháněný trojbokým pístem, pohybujícím se spalovacím prostorem, jehož vnitřní stěny mají tvar epitrochoidy. Píst během pohybu spalovacím prostorem střídavě odkrývá a zakrývá sací a výfukové kanály, čímž řídí rozvod motoru, který díky tomu nepotřebuje vačkový hřídel a ventily. To umožňuje provozovat motor ve značně vyšším spektru otáček než motory s klikovým mechanismem. Slabinou rotačních motorů jsou značně rozdílné teploty na opačných stranách bloku motoru. Jelikož na jedné straně motoru probíhá pouze expanze a na druhé straně probíhá pouze sání, mají tyto dvě části značně odlišné teploty. Protože se píst mezi nimi střídavě pohybuje, je velkým problémem utěsnění tohoto prostoru. Píst je proto na vrcholech osazen těsníci plochami ze spékaných karbidů železa a titanu, na čelní a zadní ploše je osazen bočními těsníci lištami. Aby byly jednotlivé prostory dobře utěsněné, těsníci plochy se nezařadily a bylo možné dosáhnout komprese, je do prostoru kolem pístu vstřikován olej. Motor je tedy konstrukčně navržen tak, že olej spaluje. Oproti standardním motorům s klikovým mechanismem má tak více než dvojnásobnou spotřebu oleje, který se musí pravidelně doplňovat. Spalování oleje vede k nepříznivým exhalacím, obsažených ve výfukových plynech. Motor má také relativně vysokou spotřebu paliva, zapříčiněnou nižší účinností, která souvisí s nepříznivým tvarem spalovacího prostoru. Tyto negativní faktory, společně s omezenou životností těsnících ploch na hranách pístu, odsoudily rotační motory pouze k okrajovému použití. Wankelův motor byl sériově montován pouze do některých automobilů firmy Mazda, např. RX-7 a RX-8, které se dnes již nevyrábí. V současné době Mazda vyvíjí novou generaci Wankelova motoru, který bude přeplňován pomocí turbodmyhadla.



Obrázek č. 5 Wankelův rotační motor

Zdroj: autor

3.9 Rozdělení dle způsobu činnosti

Motory jednočinné – spalování směsi probíhá pouze z jedné strany pístu. Spalování ze dvou stran pístu je výhodnější, ale nelze jej provozovat u motorů se zkráceným klikovým mechanismem, např. u zážehového motoru.

Motory dvojčinné – pracovní cyklus probíhá z obou stran pístu, při každém pohybu pístu získáváme mechanickou energii. Výhodou je větší účinnost motoru; ten se chová jako jednočinný motor s dvojnásobným počtem válců. Nevýhodou je nutnost použití úplného klikového mechanismu s křížákem. Dvojčinného pracovního oběhu využívá např. parní stroj.

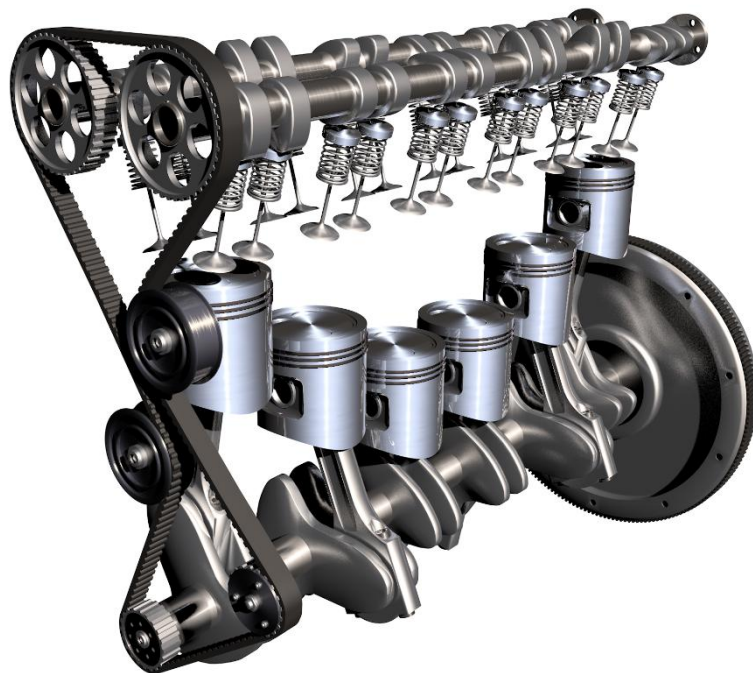
3.10 Rozdělení dle uspořádání a počtu válců v motoru

Podle počtu a uspořádání válců se rozlišují motory jednoválcové a víceválcové.

Jednoválcové motory se nejčastěji používají u malých motocyklů, zahradního nářadí (např. motorové pily nebo motorové sekačky), či jako malé modelářské motory. Jejich hlavní předností je nízká hmotnost, jednoduchost a malé kompaktní rozměry.

Víceválcové motory poskytují větší výkon, lepší poměr hmotnosti k výkonu, a také mají pravidelnější chod. Do víceválcových motorů můžeme zařadit motory jednořadové, dvouřadové a víceřadové.

Jednořadové motory jsou nejběžnějším typem automobilových motorů. Nejčastěji se setkáváme s řadovým čtyřválcem, méně často pak s řadovým tříválcem či dvouválcem. Nejlépe vyváženým jednořadovým motorem je šestiválec. Optimálního vyvážení motoru je dosaženo díky osově souměrnému rozložení pístů na klikovém hřídeli, na kterém jsou uloženy s natočením po 120° (obrázek č. 6).



Obrázek č. 6 Jednořadový šestiválcový motor s rozvodem DOHC

Zdroj: autor

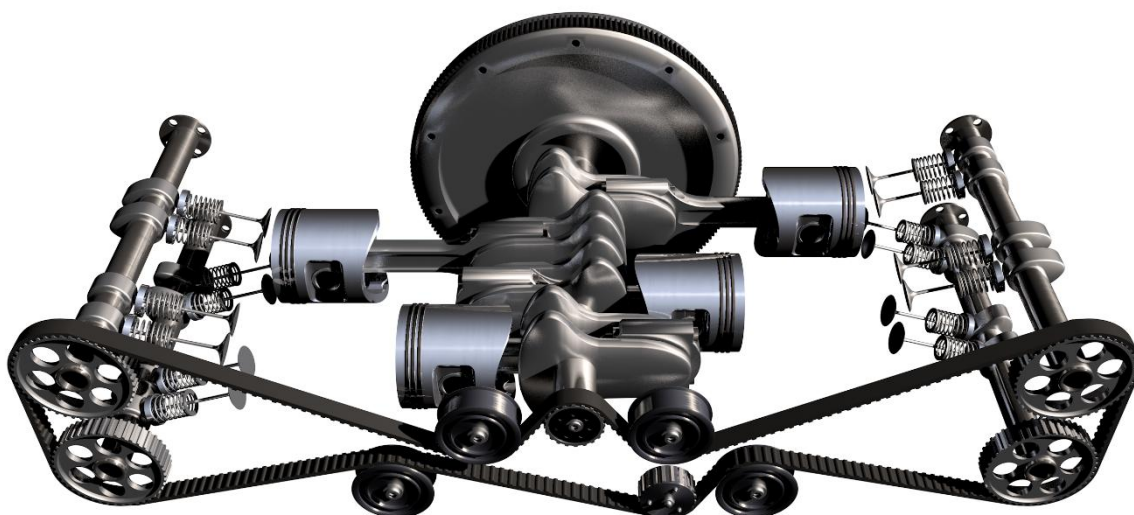
Dvouřadové motory umožňují použití většího počtu válců, aniž by se příliš zvětšovaly rozměry motoru. Válce jsou nejčastěji uspořádány do tvaru písmene V (obrázek č. 7). Tyto motory jsou označovány jako vidlicové. Úhel mezi válci se standardně pohybuje v rozmezí 60° - 90°. Vidlicové motory mohou mít buď křížovou klikovou hřídel (cross-plane), která je zalomená po 90°, či plochou klikovou hřídel (flat-plane), ta je zalomena po 180°. Vidlicové motory se běžně vyskytují v provedení s šesti či osmi válci. Méně často se vyskytují motory s deseti či dvanácti válci.



Obrázek č. 7 Vidlicový osmiválec s rozvodem OHV a s plochou klikovou hřídelí

Zdroj: autor

Speciálním případem vidlicového motoru je tzv. boxer. Jde o motor s úhlem 180° s protiběžnými písty (obrázek č. 8). Díky protiběžnému pohybu pístů dochází k vyrušení vibrací a motor má velmi klidný chod. Další předností motoru je nízko položené těžiště. Jeho nízká poloha zajišťuje malé náklony vozidla v zatáčkách a tím zlepšuje jeho ovladatelnost. Konstrukcí motorů boxer je proslulá firma Subaru.



Obrázek č. 8 Čtyřválcový motor boxer s rozvodem DOHC

Zdroj: autor

Víceřadové motory se nejčastěji používaly jako letecké motory během období druhé světové války. Šlo o konfiguraci válců do W, X či hvězdicové motory. Dnes se tyto typy motorů používají pouze zřídka, často jde o speciální motory do supersportovních automobilů, např. Bugatti Veyron – W16.

3.11 Rozdělení dle typu chlazení motoru

Vzduchem chlazené motory vynikají především svojí spolehlivostí a nízkou hmotností. Povrch motoru je opatřen žebry pro dosažení co největší teplosměnné plochy, která je vystavena proudu vzduchu. Chlazení vzduchem lze dále dělit na náporové chlazení a nucené chlazení. Náporové chlazení se nejčastěji používá u motocyklů. Využívá vzduchu, který během jízdy proudí kolem motoru. Nevýhodou toho systému je nemožnost regulace teploty. Při jízdě malou rychlostí s velkým zatížením motoru může dojít k jeho přehřátí, naopak při rychlé jízdě s minimálním zatížením (typicky jízda z kopce) může teplota motoru klesat pod optimální pracovní teplotu. Tyto problémy odpadají při použití

nuceného chlazení, kde je vzduch k žebřím motoru vháněn pomocí ventilátoru. Jeho množství lze regulovat buď škrcením či změnou otáček ventilátoru.

Kapalinou chlazené motory jsou oproti vzduchem chlazeným motorům složitější a mají větší hmotnost. Lze však velmi přesně regulovat teplotu motoru a udržovat ji stále na optimální hodnotě. Motor své teplo předává chladicímu médiu, které je po motoru rozváděno čerpadlem. Chladicí médium protéká skrze kanály v bloku motoru, dokud nedosáhne optimální provozní teploty, při níž se otevírá termostat, který umožní chladicímu médiu proudit do chladiče, kde odevzdává své teplo do okolního prostoru. Vrstva kapaliny kromě ochlazování motoru zároveň pomáhá snižovat množství vyzařovaného hluku z motoru. Přebytečné teplo lze dále využít k vytápění automobilu.

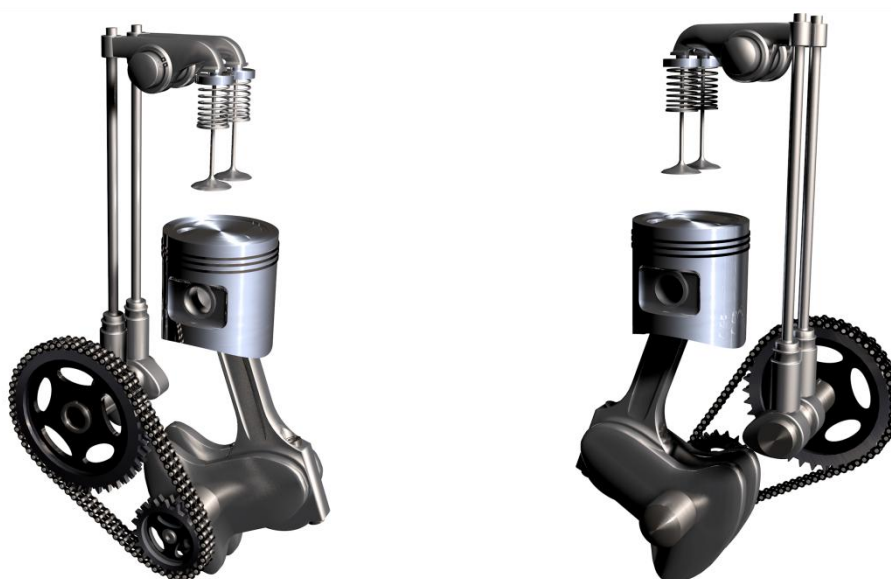
3.12 Rozdělení dle použitého typu rozvodového mechanismu

Rozvodové mechanismy definuje Remek [2012] následovně: *“K činnosti pístového spalovacího motoru s vnitřním spalováním je nutná výměna obsahu válce, tedy plnění směsí paliva se vzduchem a odstranění spalin. Toto zařízení, tzv. rozvod, se liší podle principu motoru. U motorů čtyřdobých se používají ventily nebo jiné mechanismy. U motorů dvoudobých se používají ventilové nebo šoupátkové mechanismy, jejichž funkci, tedy otevírání a zavírání kanálů, může převzít píst. Pokud je píst šoupátkem, nelze nezávisle měnit otevírání a zavírání kanálu a kanálový rozvod je tzv. symetrický.”*

Ventilový rozvod otevírá a uzavírá sací a výfukové kanály v motoru. Bývá realizován pomocí vačkového hřídele, který buď přímo či nepřímo pomocí vahadel a zdvihátek otevírá ventily. Zavírání ventilů obstarává vratná pružina, namontovaná přímo na ventil. Vačkový hřídel je poháněn pomocí rozvodového řemene či řetězu, který je mechanicky spojen s klikovým hřídelem. Každé dvě otáčky klikového hřídele vykoná vačkový hřídel jednu otáčku. Toto je dáno tím, že pracovní cyklus spalovacího motoru trvá dvě otáčky klikového hřídele. Vačkový hřídel se tedy otočí jednou za každý pracovní cyklus motoru.

OHV – Over Head Valve

Rozvod typu OHV využívá k otevírání ventilů soustavu zdvihátek a vahadel spolu s vačkovým hřídelem. Vačkový hřídel je uložen uvnitř bloku motoru, což umožňuje jednodušší připojení na klikový hřídel pomocí ozubených kol, případně řetězem (obrázek č. 9). Tento rozvod se v moderních automobilech již příliš nepoužívá, neboť kvůli velkému množství hmoty, která vykonává vratný pohyb, na soustavu působí velké setrvačné síly a neumožňují motoru práci ve vyšším spektru otáček.

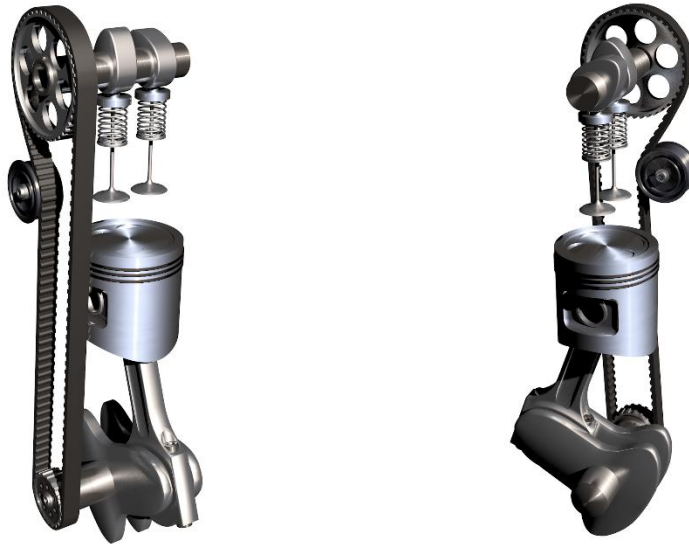


Obrázek č. 9 Rozvod OHV

Zdroj: autor

OHC – Over Head Camshaft

Motory s rozvodem typu OHC, neboli SOHC (Single Over Head Camshaft) mají vačkový hřídel umístěný přímo v hlavě motoru. Vačky otevírají ventily přímo či pomocí vahadel (obrázek č. 10). Vačkový hřídel je připojen ke klikovému hřídeli pomocí řemenu či řetězu. Díky malému množství částí, které vykonávají vratný pohyb, je tento rozvod více přesný než OHV a nepůsobí na něj tak velké setrvačné síly. Nevýhodou je složitější konstrukce hlavy motoru a tím i její větší rozměry.

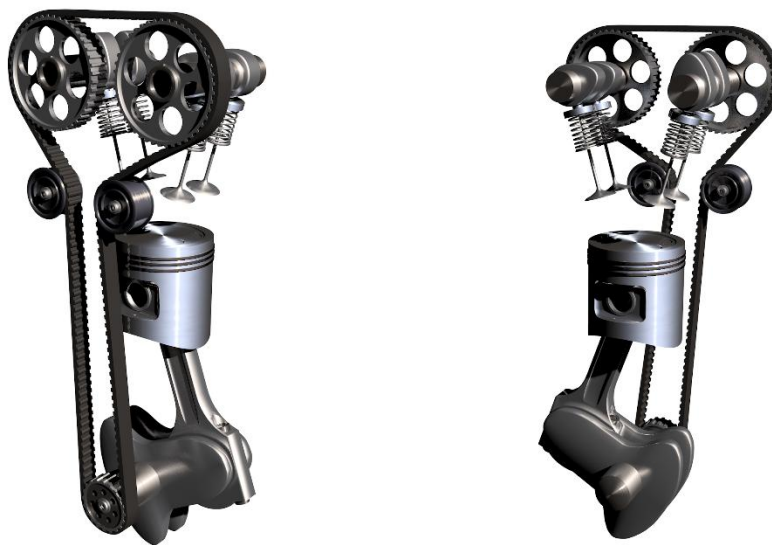


Obrázek č. 10 Rozvod OHC

Zdroj: autor

DOHC – Double Over Head Camshaft

Rozvod DOHC je velmi podobný rozvodu OHC s tím rozdílem, že v hlavě motoru jsou vačkové hřídele umístěny dvě a počet ventilů na válec je vyšší (obrázek č. 11). Obvykle jsou dva sací a dva výfukové ventily na jeden válec, může jich však být i více (např. tři sací a dva výfukové). Rozdělení sacích a výfukových ventilů na dvě vačkové hřídele umožňuje montáž ventilů pod větším úhlem, čímž lze docílit lepšího proudění směsi do válce a výfukových plynů z válce při vyšších otáčkách motoru.

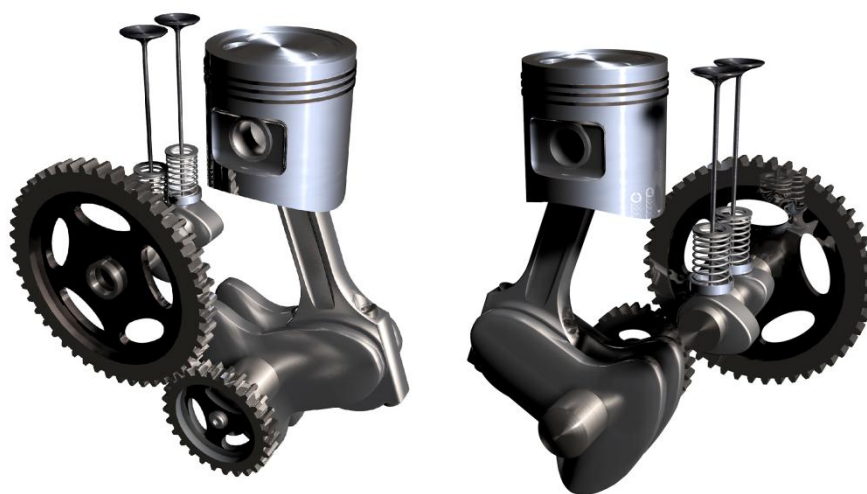


Obrázek č. 11 Rozvod DOHC

Zdroj: autor

SV – Side Valves

U rozvodu SV je uvnitř bloku motoru umístěn nejen vačkový hřídel, ale i ventily, které jsou rovnoběžné s pístem (obrázek č. 12). Díky této koncepci nehrozí střetnutí pístu s ventily, v případě poruchy rozvodového mechanismu. Nevýhodou je ne příliš optimální tvar spalovacího prostoru, nízký kompresní poměr a díky tomu také nízký výkon. Tato koncepce je již zastaralá a používá se pouze u malých motorů, například benzínových sekaček na trávu.



Obrázek č. 12 Rozvod SV

Zdroj: autor

Desmodromický rozvod

Desmodromický rozvod je speciální typ rozvodu, který kromě otevírání ventilů obstarává i jejich zavírání, namísto vratné pružiny, jako u ostatních typů rozvodů (obrázek č. 13). Díky tomu nehrozí, že by při příliš vysokých otáčkách motoru mohl ventil ztratit kontakt s vačkovým hřídelem v důsledku nedostatečně rychlého zavření ventilu pružinou. To by vedlo ke kolizi pístu s otevřeným ventilem a k destrukci motoru. Tento typ rozvodu se používá pouze u vysokootáčkových motocyklových motorů vyráběných firmou Ducati.



Obrázek č. 13 Desmodromický rozvod

Zdroj: autor

Šoupátkový rozvod (obrázek č. 14) se v současné době již příliš nepoužívá, jelikož nemá dlouhou životnost a šoupátka se brzy zadírají. Umožňuje však odkrývání a zakrývání velkých průřezů sacích a výfukových kanálů. Oproti ventilovým rozvodům také pracuje téměř neslyšně. Používá se pouze u dvoudobých motorů.



Obrázek č. 14 Šoupátkový rozvod

Zdroj: autor

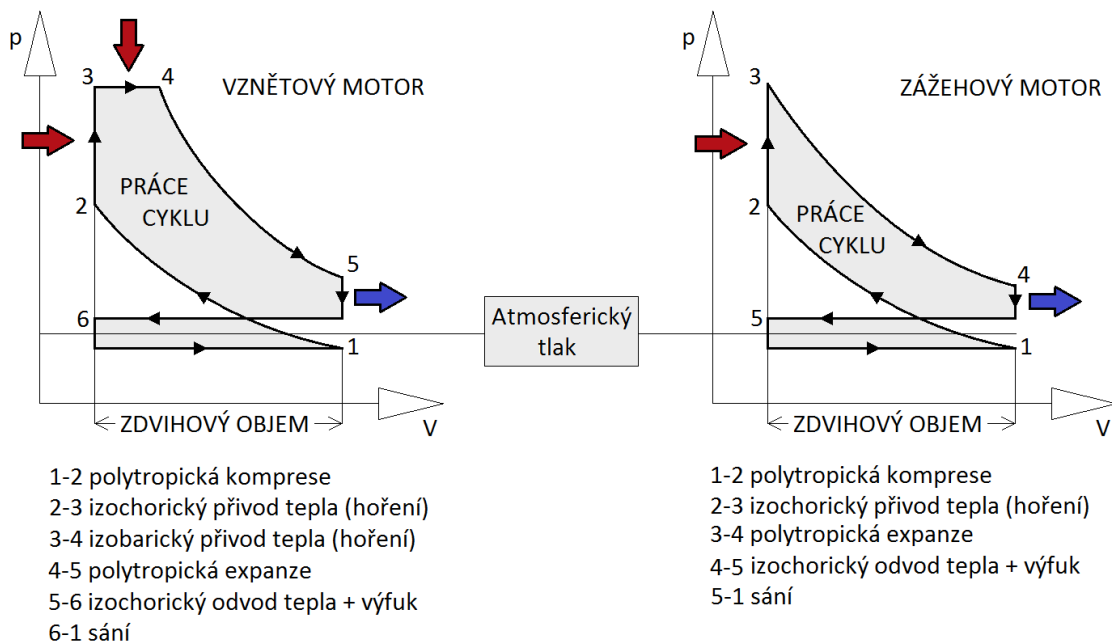
4 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY PÍSTOVÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ, VÝHODY A NEVÝHODY

Hromádka a kol. [2011] uvádí definici spalovacího motoru slovy: *“Spalovací motor je tepelný stroj, který spalováním paliva získává tepelnou energii a využitím vhodného plynného média ji převádí na mechanickou práci. Energie plynného média je využívána buď jako energie potenciální (tlak spalin) u pístových spalovacích motorů, nebo energie kinetická (rychlost proudu spalin) u spalovacích turbín.”*

Spalovací motor lze tedy charakterizovat jako tepelný stroj, který převádí chemickou energii uloženou v palivu na tepelnou energii. Ta působí na píst, jehož pohyb je pomocí klikového mechanismu transformován z přímočarého na rotační.

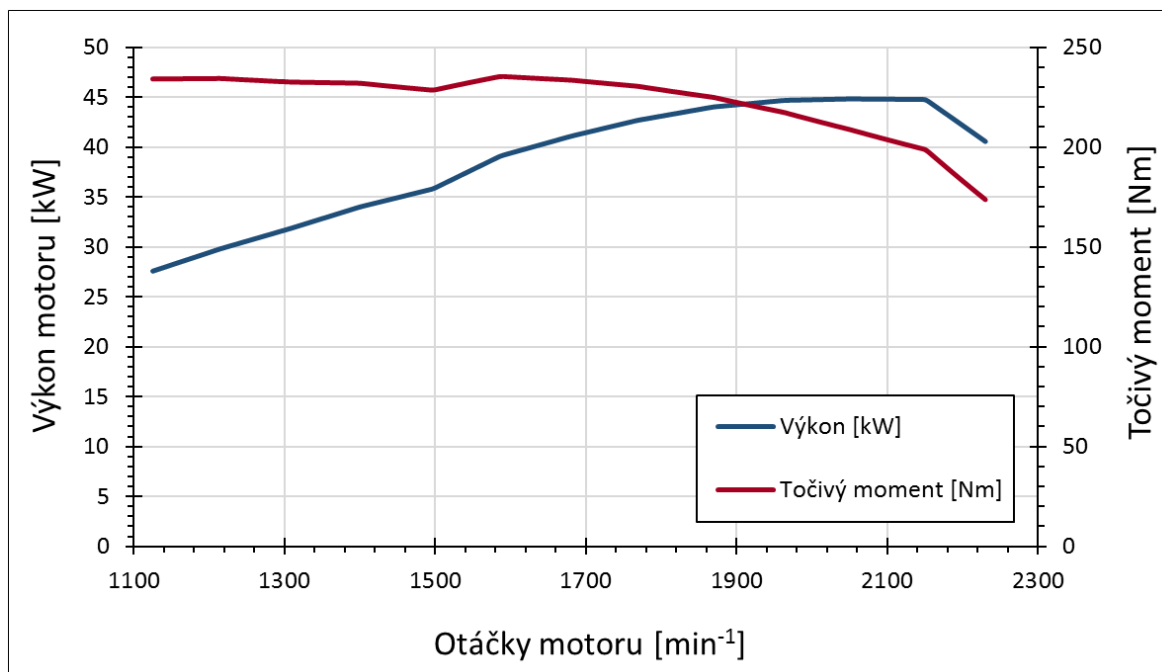
Jednotlivé zdvihy pístu lze u spalovacích motorů popsat pomocí ideálního, teoretického či indikátorového diagramu. V něm je zobrazená závislost tlaku ve válci (p) na objemu (V). Diagramy lze sestavit početně (ideální a teoretický), nebo experimentálně pomocí měření tlaku uvnitř válce motoru (indikátorový). Diagramy jsou odlišné pro zážehové a vznětové motory. Základ diagramu je pro oba typy motorů stejný, rozdíl spočívá pouze v přívodu tepla. U zážehových motorů je teplo přiváděno pouze při konstantním objemu - izochoricky. U vznětových motorů je teplo přiváděno jak za konstantního objemu - izochoricky, tak za konstantního tlaku - izobaricky (obrázek č. 15).

Pro posouzení vlastností či technického stavu spalovacích motorů se často využívá otáčkové charakteristiky. Otáčková charakteristika je grafické znázornění závislosti mezi zvolenými veličinami, zobrazenými v souřadnicovém systému. Zpravidla se zobrazují vztahy mezi výkonem, otáčkami a točivým momentem, případně měrnou spotřebou paliva (obrázek č. 16).



Obrázek č. 15 Teoretické oběhy nepřepřítvaných motorů

Zdroj: autor



Obrázek č. 16 Otáčková charakteristika vznětového motoru traktoru Zetor 7745 (Laboratorní měření na motorové brzdě)

Zdroj: autor

Největší výhodou spalovacích motorů je bezpochyby jejich všestrannost a možnost okamžitého spuštění. Oproti parnímu stroji, tedy předchůdci spalovacích motorů, to představuje ohromné zlepšení. V parním stroji bylo potřeba dopředu roztopit kotel a přeměnit vodu na vodní páru, než bylo možné samotný stroj spustit. Spalovací motor lze při správně nabitém zdroji elektrické energie pro spouštěč spustit okamžitě a za jakýchkoliv podmínek, pomineme-li podmínky extrémní, např. teploty nižší než -50°C , na které by bylo třeba motor řádně připravit. Motor je ihned po nastartování schopen poskytovat téměř maximální výkon. Z hlediska delší životnosti a nižšího opotřebení je vhodné vyčkat, než dosáhne chladicí kapalina a olej provozní teploty, avšak pokud by byl maximální výkon vyžadován okamžitě, motor je ho schopen dodat ihned, za cenu vyššího opotřebení.

Všestrannost spalovacího motoru komentuje Ferenc [2009] slovy: *“Provozní otáčky se mění od několika set při volnoběžném chodu motoru stojícího vozidla do několika tisíc při jízdě maximální rychlostí. Rovněž zatížení se mění ve velkém rozsahu. Ve volnoběžném chodu stojícího vozidla je nejmenší, protože výkon motoru se spotřebuje jen na překonání různých pasivních odporů motoru, tak jím poháněných částí, zejména pak alternátoru jako zdroje v palubní síti. Největší zatížení vzniká při rychlé jízdě maximálně naloženého vozidla a při stoupání vozovky. Většinou ale motor pracuje s průměrným zatížením.”*

Spalovací motor je také velmi univerzální stroj. Nejčastěji se s ním můžeme setkat v osobních a nákladních automobilech, dále také v motocyklech, autobusech, vlacích a letadlech, tedy obecně v dopravních prostředcích. Kromě nich se můžeme se spalovacím motorem setkat např. v elektrocentrálách, motorových pilách, sekačkách na trávu, či ve formě záložního zdroje elektrické energie, např. pro jaderné elektrárny. Rozpětí použití spalovacího motoru je tedy velmi široké a téměř neomezené.

Další významnou výhodou spalovacích motorů je možnost spalovat kapalná paliva s vysokým energetickým obsahem při zachování malého objemu. Kapalná paliva je velice jednoduché skladovat či doplňovat, díky čemuž jsou automobily se spalovacím motorem

velmi mobilní. Pro použití paliv v plynném stavu potřebujeme speciální tlakové nádrže s mnoha bezpečnostními prvky a vzduchotěsný tlakový systém pro doplňování nádrže. Ještě složitější je uchovávání elektrické energie pro automobily poháněné elektromotorem. Elektrickou energii musíme skladovat ve značně rozměrných a velmi těžkých bateriích, přičemž nabití těchto baterií trvá mnoho hodin. V rychlosti doplňování paliva jsou tak spalovací motory na kapalná paliva nedostižné, doplnit nádrž trvá pouze několik minut.

Hlavní nevýhodou spalovacích motorů je nepříznivý průběh točivého momentu. Spalovací motory proto bývají často doplněny o převodovku, která pomáhá udržovat motor v ideálním režimu otáček. Další významné nevýhody spalovacích motorů představuje nutnost spouštění cizím zdrojem energie a jejich nízká účinnost. Po mnoha desetiletích vývoje a zdokonalování stále nejsme schopni dosáhnout vyšší účinnosti než 30 až 40 procent. Zbývajících 60 až 70 procent energie je odváděno formou tepelných ztrát, zapříčiněných nedokonalým spálením paliva, dále ve formě ztrát chlazením, sáláním, mechanickými ztrátami a výfukovými plyny. Jde i tak o značný pokrok oproti starším nepřepřehnaným motorům, které dosahovaly mizivé účinnosti okolo 25 procent, či oproti parnímu stroji, jehož maximální možná účinnost byla 15 procent. Avšak ve srovnání např. s elektromotorem, jehož účinnost se pohybuje okolo 95 procent, jsou spalovací motory stále značně nevhodným řešením.

Jednou z mála výhod odvádění až 70 procent energie formou ztrát je, že část této energie lze dále využít, buď na pohon turbodmychadla, či například na vytápění prostoru kabiny automobilu. To může představovat problém u vozidel jezdících na elektrickou energii. Díky až 95 procentní účinnosti elektrického motoru nevzniká dost odpadní tepelné energie, aby mohlo být vozidlo vytápěno. Pro vytápění elektrického vozidla se tak využívá energie uložená v bateriích, určená pro pohon vozidla, což snižuje jeho kilometrový dojezd.

5 MODERNÍ TRENDY V KONSTRUKCI PÍSTOVÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

Hlavním trendem, převládajícím v konstrukci moderních pístových spalovacích motorů, je tzv. downsizing. Jeho cílem je snižování spotřeby paliva a zvyšování účinnosti motoru. Uskutečňuje se zmenšováním zdvihového objemu a zároveň snižováním počtu válců, což vede k menší hmotnosti pohyblivých částí motoru. Tím jsou redukovány velikosti setrvačných sil a také mechanické ztráty. Zároveň jsou motory vybaveny přímým vstřikováním paliva a jsou přeplňovány, nejčastěji pomocí turbodmychadla. Takto zmenšené motory jsou schopny dodat stejný výkon jako motory s větším zdvihovým objemem a více válci při zachování nižší spotřeby paliva a větší účinnosti.

Dalším významným trendem v konstrukci pístových spalovacích motorů je snižování zátěže životního prostředí vlivem výfukových plynů, odcházejících z motoru. Nižší zátěže můžeme docílit buď spalováním biopaliv či běžných paliv s příměsí biosložky, nebo zvýšením efektivity motoru a využitím co největšího množství energie, která je obsažena v palivu. Dále také záleží na kvalitě filtrace výfukových plynů, než opustí výfukové potrubí automobilu. Nejčastěji se používají katalyzátory, filtry pevných částic (DPF), systémy recirkulace výfukových plynů (EGR) či selektivní katalytická redukce (SCR).

Dalším velmi výrazným trendem je zvyšování množství elektrických systémů v motoru. Mnoho dříve čistě mechanických systémů je nahrazováno ekvivalentním systémem ovládaným elektricky. To umožňuje lepší a přesnější regulaci chodu motoru v závislosti na podmínkách, ve kterých pracuje. Díky tomu může motor pracovat efektivněji a s nižší spotřebou paliva.

O elektrických systémech ve vozidle píše Vlček [2006] toto: *“Význam elektroniky ve vozidle lze vidět ve zvláštní vlastnosti, že z mechanického okolí mohou být pomocí senzorů*

zachyceny, zpracovány a ukládány do paměti informace a tyto přeměňovány akčními povely na mechanické prvky. Důsledně probíhá funkční rozdělení úloh, které jsou přiřazeny mechanickým prvkům a nadřazené elektronické regulaci. Základní funkce jsou uskutečňovány mechanickými prostředky. Elektronika regulačně zasahuje tam, kde je nutno zpracovat informace pro nadřazené procesy, jejichž zachycení nebo rychlost zachycení předpokládá elektroniku, když by jak řidič, tak mechanické systémy s touto úlohou byli přetížení.“

5.1 Přepřňování motorů

Přepřňování motorů se ve své publikaci věnuje Kameš [2002]: *“Přepřňování pístových spalovacích motorů je způsob dopravy čerstvé náplně, tj. směsi nebo vzduchu do válce. Na rozdíl od motorů nepřepřňovaných, u kterých se čerstvá náplň dostane do válce nebo klikové skříně sacím účinkem vlastního pístu motoru, je válec přepřňovaného motoru plněn nuceně, pod tlakem vyšším než je barometrický. Tak se do válce dostane větší množství náplně než při přirozeném nasávání a s tím se může zvětšit i množství paliva, dodaného na jeden pracovní oběh. Jeho spálením vzroste měrný výkon motoru. Přepřňování je v současnosti nejrozšířenější a nejefektivnější způsob zvyšování výkonu pístových spalovacích motorů, zejména naftových.“*

Turbodmychadlem přepřňované motory jsou nejrozšířenějším typem přepřňovaných motorů. Turbodmychadla využívají jinak nevyužité energie obsažené ve výfukových plynech, čímž umožňují dosažení vyšší účinnosti motoru. Výfukové plyny, opouštějící spalovací prostor motoru, jsou přivedeny do turbodmychadla, kde roztáčejí turbínu, které předávají část své energie. Ta by jinak odešla nevyužitá ve formě tepla výfukem. Roztočená turbína otáčí dmychadlem, které je na stejné ose. Dmychadlo stlačuje nasávaný vzduch a pod tlakem ho vhání do motoru. Pro dosažení ještě lepší účinnosti a vyššího výkonu může být vzduch opouštějící turbodmychadlo hnán skrz mezichladič, neboli chladič plnicího vzduchu (intercooler). Vlivem stlačení v turbodmychadle má vzduch vyšší teplotu, která nepříznivě ovlivňuje výkon motoru. Stlačený vzduch

je proto zchlazen, což umožňuje jeho nasátí v ještě větším množství. Tlak vzduchu pouštějícího turbodmychadlo je možné regulovat pomocí změny geometrie lopatek uvnitř turbodmychadla, řízených buď mechanicky či elektronicky. Nevýhodou turbodmychadel je tzv. turboefekt. Jde o opožděnou reakci turbodmychadla na přidání plynu v důsledku prodlevy nárůstu tlaku ve výfukovém potrubí.

Kompresorem přeplňované motory jsou méně rozšířené než motory přeplňované turbodmychadlem. energii potřebnou ke kompresi vzduchu získávají prostřednictvím klikové hřídele, ke které bývají připojeny řemenem, což odebírá část výkonu motoru. To představuje hlavní nevýhodou kompresorů oproti turbodmychadlům. Hlavní výhoda kompresoru je v okamžité reakci na přidání plynu. Díky připojení na klikový hřídel nedochází k žádnému zpoždění a motor se tak chová jako běžný atmosferický plněný motor o větším výkonu.

5.2 Biopaliva

Použití biopaliv, tedy paliv z obnovitelných zdrojů, na místo fosilních uhlovodíkových paliv, představuje výhodu z hlediska produkce oxidu uhličitého. Při spalování biopaliv totiž nedochází k nárůstu množství oxidu uhličitého v atmosféře. Rostliny, které jsou spalovány ve formě biopaliva, během svého růstu oxid uhličitý spotřebovávaly. Při spalování jej pouze vrací zpět do atmosféry, odkud je znovu odebírán novými rostlinami. Nedochází proto ke zvyšování množství oxidu uhličitého v atmosféře jako při spalování fosilních paliv. Další výhodou je snižování spotřeby fosilních paliv, jejichž zásoby jsou pouze omezené. S příchodem biopaliv první generace došlo ke snížení produkce oxidu uhličitého, rapidního snížení však lze dosáhnout až s použitím biopaliv druhé generace.

Biopaliva první generace se vyrábějí z potravinářské biomasy, což vede ke zdražování cen potravin. Nejčastěji se získávají z cukrové řepy, cukrové třtiny a z mnoha druhů obilí.

Biopalivo pro zážehové motory se nazývá bioethanol, pro vznětové motory se nazývá MEŘO (methylester řepkového oleje).

Biopaliva druhé generace se vyrábějí z nepotravinářské biomasy, konkrétně z lignocelulózy. Ta je získávána jako odpadní materiál ze zemědělství, např. seno nebo sláma, či jako vedlejší produkt při těžbě dřeva. Nevýhodou je výrazně náročnější technologický proces, než je prostá fermentace, používaná u biopaliv první generace. Biopaliva druhé generace však přinášejí úsporu v produkci oxidu uhličitého až o 90%.

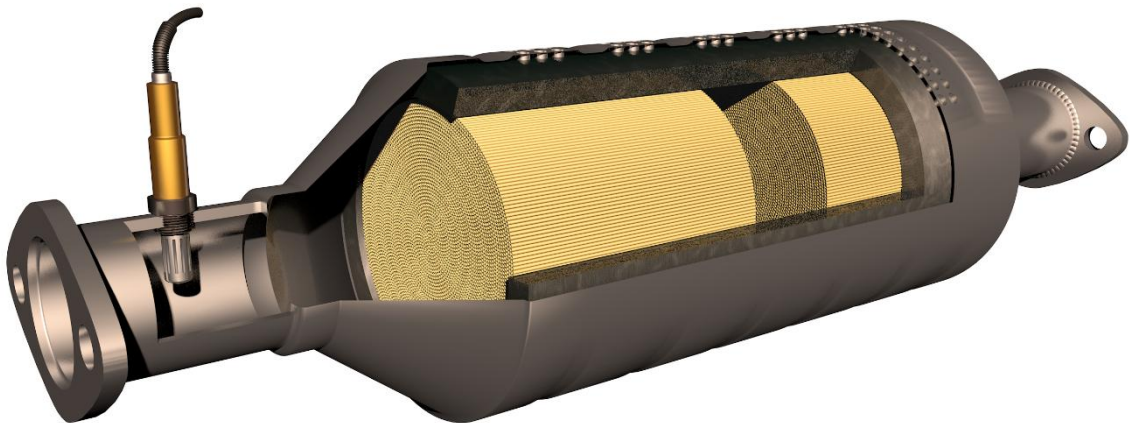
5.3 Snižování obsahu škodlivých látek ve výfukových plynech

Nižší produkce škodlivých látek lze docílit použitím motorů s menším zdvihovým objemem a nižším počtem válců, nebo pomocí dokonalejšího spalování a filtrace výfukových plynů.

Katalyzátor se využívá k rozkládání škodlivých látek, obsažených ve výfukových plynech, na látky méně škodlivé či neškodné. Jedná se oxidy dusíku (NO_x), oxid uhelnatý (CO) a nespálené uhlovodíky (HC). Ty jsou v katalyzátoru rozkládány na vodní páru (H_2O), dusík (N) a oxid uhličitý (CO_2). Úrovně oxidu uhličitého pomocí katalyzátoru snížit nelze. Oxidy dusíku se v katalyzátoru rozkládají za pomoci redukce, během níž jsou v katalyzátoru redukovány na dusík a vodní páru. Nejvíce oxidů dusíku vzniká při spalování směsi stechiometrické až mírně chudé, tedy s přebytkem vzduchu a nedostatkem paliva. Oproti tomu oxid uhelnatý a uhlovodíky vznikají při nedokonalém spalování s nedostatkem vzduchu a s přebytkem paliva, tedy při spalování bohaté směsi. V katalyzátoru dochází k jejich dodatečnému oxidačnímu spalování a přeměně na oxid uhličitý a vodní páru. Jelikož je uvnitř katalyzátoru zapotřebí provádět redukci i oxidaci, je nutné do jeho pouzdra namontovat jak redukční, tak i oxidační katalyzátor. Výsledkem snahy o zkombinování redukčního a oxidačního katalyzátoru je tzv. třícestný, neboli tříložkový katalyzátor (obrázek č. 17). Ten se skládá z redukčního katalyzátoru, za kterým

následuje oxidační katalyzátor. Před katalyzátorem je umístěn snímač obsahu kyslíku, tzv. lambda sonda.

Funkci lambda sondy objasňuje Vlček [2005] slovy: *“Jako měřicí čidlo složení výfukových plynů se používá lambda sonda, která je ve výfukovém potrubí vystavena proudu výfukových plynů. Prostřednictvím elektrického signálu hlásí řídicí jednotce informaci o okamžitém složení směsi (o odchylce složení směsi od hodnoty $\lambda=1$) a tím umožňuje řídicí jednotce provést regulaci směsi opět na stechiometrický poměr. To vše je umožněno díky vlastnostem lambda sondy, u které dochází, přesně při stechiometrickém složení směsi ($\lambda=1$), ke skoku napětí.”*



Obrázek č. 17 Třícestný katalyzátor s lambda sondou

Zdroj: autor

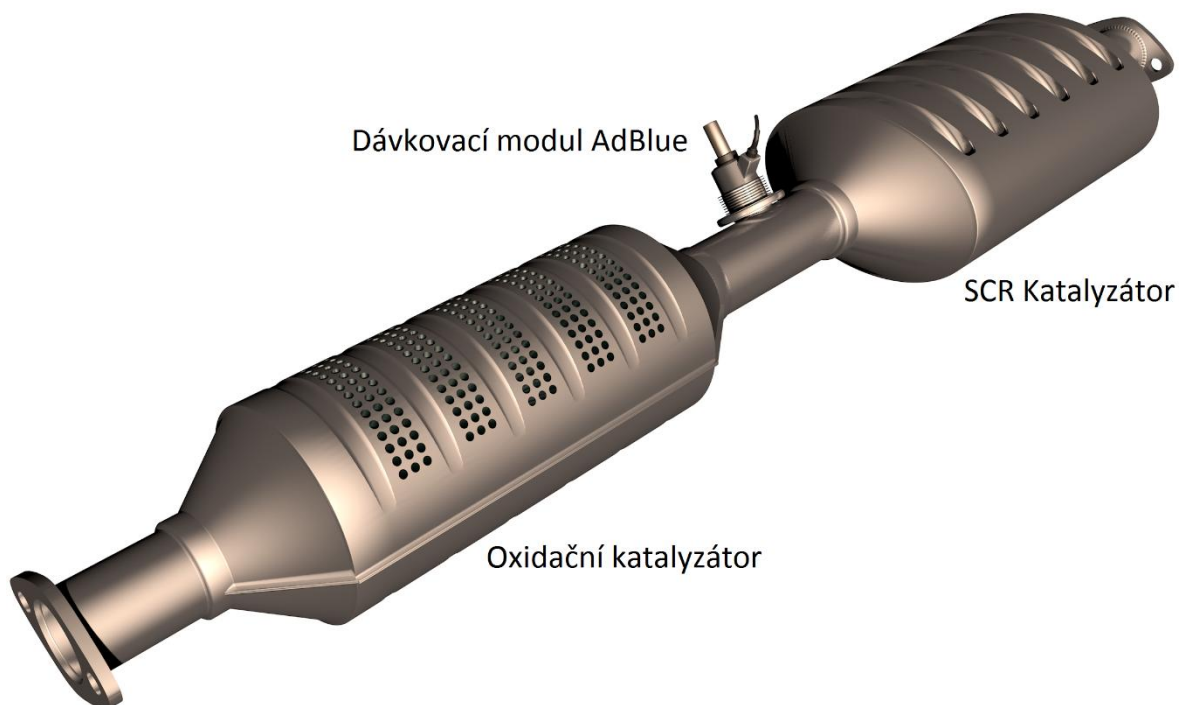
EGR technologie (Exhaust Gas Recirculation), neboli systém recirkulace výfukových plynů, je jednou z dalších cest, jak docílit nižšího množství škodlivin, produkovaných spalovacími motory. Technologie EGR pracuje na principu opakovaného spalování nespálených zbytků paliva a škodlivin. Toho je docíleno tím, že část výfukových plynů odchází odbočkou z výfukového potrubí skrz EGR ventil zpět do sání motoru. Zde je spolu s čerstvou směsí znovu nasáta do válce a znovu spalována, čímž dochází ke snížení obsahu nespáleného či nedokonale spáleného paliva a škodlivin. Kromě toho přináší tato technologie další výhodu v podobě omezení vzniku oxidů dusíku (NO_x). Snížení produkce oxidů dusíku

je docíleno tím, že je do motoru nasáto menší množství kyslíku díky nasátí výfukových plynů. To má za následek nižší teploty v průběhu spalování, a tím vzniká menší množství oxidů dusíku, které jsou nejvíce vytvářeny při vysokých teplotách. Nevýhodou EGR technologie je mírné snížení výkonu motoru vlivem nasátí menšího množství vzduchu, dále také zanášení sacího potrubí pevnými částicemi obsaženými ve výfukových plynech. Ty mohou ulpívat na stěnách sacího potrubí až v několika milimetrové vrstvě, která zmenšuje průchodnost vzduchu potrubím a tím omezuje výkon motoru, zejména ve vyšších otáčkách.

DPF filtr (Diesel Particulate Filter), neboli filtr pevných částic, je zařízení, jehož účelem je odfiltrovat a zlikvidovat velmi jemné prachové částice (PM – Particulate Matter), vznikající při spalování nafty ve vznětových motorech. Částice jsou při průchodu DPF filtrem zachytávány na porézním sítku, kde dochází k jejich spalování a likvidaci pomocí vysokých teplot. Vysoké teploty může být dosaženo provozováním motoru ve zvýšených otáčkách po delší dobu, typicky tedy při jízdě po dálnici. Pokud je však vozidlo provozováno zejména v městském provozu, teploty v DPF filtru nedosahují dostatečně vysokých hodnot (350 – 500°C) na to, aby došlo k vyhoření nashromážděných pevných částic. Proto jsou vozidla s DPF filtry vybaveny funkcí nazývanou Aktivní regenerace. Pokud řídicí jednotka dostane informaci o tom, že filtr je již naplněn PM částicemi, spustí se aktivní regenerace. Ta spočívá v upravení množství vstřikované směsi a v časování vstřikování, které má za následek zvýšení teploty výfukových plynů až na 600°C. Díky tomu dojde k vyhoření zachycených částic a vyčištění filtru. Aktivní regenerace je provázena vyšší spotřebou paliva, motor během ní nepracuje podle standardního úsporného nastavení, ale cíleně pracuje neúsporně, aby došlo ke zvýšení teplot výfukových plynů. DPF filtr také může negativně ovlivňovat výkon vozidla, jelikož působí jako překážka proudění výfukových plynů.

Selektivní katalytická redukce – SCR (Selective Catalytic Reduction) má za úkol eliminovat oxidy dusíku (NO_x) ve výfukových plynech vznětových motorů. Toho je docíleno pomocí redukčního prostředku AdBlue, což je 32,5% roztok vody a močoviny. Roztok je vstřikován

do výfukového potrubí před SCR katalyzátor (obrázek č. 18), kde se v proudu horkých výfukových plynů rozkládá na amoniak (NH_3) a oxid uhličitý (CO_2). V SCR katalyzátoru následně probíhá chemická reakce, při které reaguje amoniak (NH_3) s oxidy dusíku (NO_x) za vzniku vodní páry (H_2O) a dusíku (N). Proces odstraňování oxidů dusíku je velmi citlivý na teplotu, k reakci dochází pouze u řádně zahřátého motoru a teplota musí být udržována ve velmi malém rozpětí hodnot. Je nesmírně důležité, aby řídicí jednotka správně vyhodnotila vstřikované množství roztoku AdBlue, jelikož amoniak je jedovatá látka. Nedostatečná dávka by neodstranila všechny oxidy dusíku, příliš velká dávka by vedla k přebytku amoniaku, který by se během reakce všechen nespotřeboval a následně by unikl do atmosféry. AdBlue se standardně doplňuje při servisních prohlídkách vozidla. Pokud by došlo k jeho úplnému vyčerpání, vzroste množství oxidů dusíku ve výfukových plynech. Řídicí jednotka přepne motor do úsporného režimu a omezí jeho výkon, aby produkci oxidů dusíku minimalizovala a aby upozornila majitele vozu, že je nutné AdBlue doplnit. Některé vozy dokonce nelze bez doplnění AdBlue vůbec nastartovat. Roztok AdBlue tuhne při -11°C , proto musí být systém vyhříván.



Obrázek č. 18 Selektivní katalytická redukce

Zdroj: autor

6 ZÁVĚR

Předmětem této bakalářské práce je rozbor konstrukcí spalovacích motorů. Ten je pojednán formou rozdělení do kategorií, ve kterých jsou jednotlivé typy pohonných jednotek definovány a popsány. Tato problematika je analyzována nejvíce a nejpodrobněji, jelikož jde o nejdůležitější část, jak již z názvu této bakalářské práce vyplývá. Součástí bakalářské práce je také uvedení výhod a nevýhod spalovacích motorů, včetně otáčkové charakteristiky a teoretických oběhů nepřepřehovaných zážehových a vznětových motorů.

Následuje pohled na moderní trendy vývoje spalovacích motorů, jejichž předmětem je nejčastěji otázka snižování obsahu škodlivin ve výfukových plynech a redukce spotřeby paliva, která úzce souvisí s omezováním vnitřních tepelných a mechanických ztrát a také se zvyšováním účinnosti, nejčastěji přeplňováním. Tímto trendem, který se nazývá downsizing, se v současnosti ubírá většina světových výrobců motorů. Jsou k tomu v dominantní míře nuceni zákonem danými emisními limity, předepsanými pro moderní automobilové motory.

Bakalářská práce čerpá převážně z odborné literatury, která je na konci práce uvedena v seznamu použité literatury, dále také ze znalostí, získaných během studia či praxí.

Z bakalářské práce vyplývá, že spalovací motor je stále optimálním zdrojem energie pro osobní automobily, nákladní automobily, motocykly a další dopravní prostředky navzdory jeho nízké účinnosti a značně nepříznivému průběhu točivého momentu, kvůli kterému bývají motory často doplňovány o převodovku. Dodnes převládají nesporné výhody, jako například rychlé spouštění, možnost spalování kapalných paliv s vysokým energetickým obsahem či vysoká rychlost doplňování paliva a s tím spojená mobilnost motoru. Proto zatím nemůže být spalovací motor u dopravních prostředků plně nahrazen elektrickými či jinými alternativními pohony.

Lze však předpokládat, že v budoucnosti dojde k nevyhnutelnému nahrazení spalovacího motoru jiným zdrojem energie, či přizpůsobení stávající konstrukce motoru novým typům paliv, jako např. vodíku, jelikož zásoby fosilních paliv, které jsou stále hlavním zdrojem energie pro spalovací motory, jsou omezené, a nezadržitelně se blíží jejich úplné vyčerpání. Pokud nebudou spalovací motory schopny adaptovat se na jiný, snadno dosažitelný, ekologicky šetrný a cenově nenáročný typ paliva, budou nevyhnutelně odsouzeny k zániku a k nahrazení od základu novou koncepcí pohonné jednotky, která bude požadované parametry splňovat.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HROMÁDKO Jan, HROMÁDKO Jiří, HÖNIG Vladimír, MILER Petr. Spalovací motory. Praha: Grada Publishing, a.s., 2011, 296s. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [2] HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony. Praha: Grada Publishing, a.s., 2012, 158s. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [3] JAN Zdeněk, ŽDÁNSKÝ Bronislav. Automobily 3 – motory. Brno: Nakladatelství Avid, s.r.o., 2007, 165s. ISBN 978-80-903671-7-3.
- [4] REMEK, Branko. Automobil a spalovací motor: historický vývoj. Praha: Grada Publishing, a.s., 2012, 159s. ISBN 978-80-247-3538-2.
- [5] KAMEŠ, Josef. Speciální motorová vozidla. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, 2002, 109s. ISBN 80-213-0895-8.
- [6] VLK, František. Lexikon moderní automobilové techniky. Brno: František Vlk, 2005, 344s. ISBN 80-239-5416-4
- [7] VLK, František. Automobilová elektronika 3. Brno: František Vlk, 2006, 355s. ISBN 80-239-7063-1.
- [8] FERENC, Bohumil. Spalovací motory – karburátory, vstřikování paliva a optimalizace parametrů motoru. Brno: Computer Press, a.s., 2009, 388s. ISBN 978-80-251-2545-8.
- [9] RAUSCHER, Jaroslav. Spalovací motory, studijní opory. Brno: VUT Fakulta strojního inženýrství, 2004, 235s.
- [10] HALDERMAN, James D., MITCHELL, Chase D., GLASSMAN, Corey W. Advanced engine performance diagnosis, Third Edition. Upper Saddle River: Pearson / Prentice Hall, 2005, 516s. ISBN 978-0-13-113254-2

8 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1 Dvojčinný parní stroj

Obrázek č. 2 Wattův odstředivý regulátor

Obrázek č. 3 Úplný klikový mechanismus

Obrázek č. 4 Zkrácený klikový mechanismus

Obrázek č. 5 Wankelův rotační motor

Obrázek č. 6 Jednořadový šestiválcový motor s rozvodem DOHC

Obrázek č. 7 Vidlicový osmiválec s rozvodem OHV a s plochou klikovou hřídelí

Obrázek č. 8 Čtyřválcový motor boxer s rozvodem DOHC

Obrázek č. 9 Rozvod OHV

Obrázek č. 10 Rozvod OHC

Obrázek č. 11 Rozvod DOHC

Obrázek č. 12 Rozvod SV

Obrázek č. 13 Desmodromický rozvod

Obrázek č. 14 Šoupátkový rozvod

Obrázek č. 15 Teoretické oběhy nepřepřínovaných motorů

Obrázek č. 16 Otáčková charakteristika vznětového motoru traktoru Zetor 7745

Obrázek č. 17 Třícestný katalyzátor s lambda sondou

Obrázek č. 18 Selektivní katalytická redukce

9 SEZNAM ZKRATEK

např. - například

tzv. – tak zvané

tj. – to je

LPG – Liquefied Petroleum Gas – Zkapalněný Propan - Butan

CNG – Compressed Natural Gas – Stlačený zemní plyn

LNG – Liquefied Natural Gas – Zkapalněný zemní plyn

OHV – Over Head Valve

OHC – Over Head Camshaft

SOHC – Single Over Head Camshaft

DOHC – Double Over Head Camshaft

SV – Side Valves

EGR – Exhaust Gas Recirculation – Recirkulace výfukových plynů

DPF – Diesel Particulate Filter – Filtr pevných částic

PM – Particulate Matter – Pevné částice

SCR – Selective Catalytic Reduction – Selektivní katalytická redukce

NO_x – Oxidy dusíku

CO – Oxid uhelnatý

CO₂ – Oxid uhličitý

N – Dusík

NH₃ – Amoniak (Čpavek)

HC – Nespálené uhlovodíky

H₂O – Voda