

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Speciální konstrukce spalovacích motorů, vývoj a použití
nekonvenčních spalovacích motorů**

Bakalářská práce

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

Vypracovala: Lucie Pěkná

Praha 2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lucie Pěkná

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Speciální konstrukce spalovacích motorů, vývoj a použití nekonvenčních spalovacích motorů.

Název anglicky

Special design of combustion engines, development and usage of non-conventional combustion engines.

Cíle práce

Na základě studia odborné literatury, týkající se konstrukce spalovacích motorů vozidel, vypracovat literární rešerši zaměřenou na speciální konstrukce spalovacích motorů, která nejsou masivně komerčně používána. Popsat vývoj a možný potenciál využití netradiční konstrukce motorů v budoucnosti, jejich výhody a nevýhody.

Metodika

Bude popsán vývoj konstrukce spalovacích motorů s vyústěním a důrazem na nekonvenční konstrukce spalovacích motorů, které se běžně nevyskytují v praxi. Dále jejich potenciál využití a výhody a nevýhody.

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 konstrukce nekonvenčních spalovacích motorů.
5. Výhody, nevýhody a budoucí vývoj používání nekonvenčních konstrukcí spal. motorů.
6. Závěr – shrnutí práce.

Doporučený rozsah práce

30 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

spalovací motor, nekonvenční konstrukce, rotační spalovací motor, duke motor

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, 296 s. 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 16. 03. 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou tuto bakalářskou práci vypracovala zcela samostatně jen za pomoci vedoucího této bakalářské práce, použití odborné literatury a dalších informačních zdrojů uvedených v Seznamu použité literatury na konci této bakalářské práce.

V Jesenici dne 11. 3. 2017

.....

Podpis

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Zdeňku Kvízi, Ph.D. za trpělivost, konzultace a odborné rady, které mi poskytl při tvorbě této bakalářské práce.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je sepsat informace o spalovacích motorech běžných či speciálních konstrukcí. V této práci je podrobně popsána konstrukce a rozdělení spalovacích motorů, vysvětlení principu konvenčně a nekonvenčně používaných motorů. Dále jsou v práci popsány výhody, nevýhody a budoucnost motorů speciálních konstrukcí. I přesto, že se tyto motory do sériové výroby automobilů v dnešní době již nedostávají, stále mají využití v jiných odvětví průmyslu.

Klíčová slova

spalovací motor, nekonvenční konstrukce, rotační spalovací motor

Special design of combustion engines, development and usage of non-conventional combustion engines

Summary

Aim of the bachelor's thesis is to collect information about combustion engines with ordinary and special design. The thesis describes in detail the structure and distribution of combustion engines, explanation of the principle functions of conventional and unconventional used engines. Furthermore are described the advantages, disadvantages and future of special design engines. Even though engines with special design are not anymore used in serial produced cars, they are used in different spheres of industry

Key words

Combustion engine, non-conventional design, rotary combustion engine

Obsah

Obsah	12
1 Úvod.....	1
2 Historie a vývoj spalovacích motorů	2
2.1 Vývoj spalovacího motoru v Německu	4
2.2 Historie vznětového motoru	6
3 Typy a konstrukce spalovacích motorů	7
3.1 Rozdělení spalovacích motorů.....	7
3.1.1 Rozdělení podle způsobu přeměny mechanické energie.....	7
3.1.2 Rozdělení podle způsobu přivodu tepelné energie.....	8
3.2 Rozdělení pístových spalovacích motorů	9
3.2.1 Rozdělení podle skupenství použitého paliva	9
3.2.2 Rozdělení podle způsobu dopravy čerstvé náplně do válce	10
3.2.3 Rozdělení podle počtu dob pracovního cyklu	10
3.2.4 Rozdělení podle způsobu zapálení směsi	12
3.3 Rozdělení pístových spalovacích motorů podle konstrukčního hlediska	13
3.3.1 Rozdělení podle způsobu přenosu síly na píst	13
3.3.2 Rozdělení podle způsobu činnosti	14
3.3.3 Rozdělení podle počtu a uspořádání válců	14
3.3.4 Rozdělení podle rychloběžnosti pístu	15
3.3.5 Rozdělení podle způsobu chlazení	15
3.3.6 Rozdělení podle konstrukce rozvodového mechanismu	18
3.3.7 Rozdělení podle zdvihového poměru Z/D	20
4 Základní charakteristiky konstrukce nekonvenčních konstrukcí spalovacích motorů.....	21
4.1 Wankelův motor	21
4.2 Stirlingův motor.....	26
4.3 Spalovací turbína	29

5	Výhody, nevýhody a budoucí vývoj používání nekonvekčních konstrukcí spalovacích motorů	30
5.1	Wankelův motor	30
5.2	Stirlingův motor.....	32
5.3	Spalovací turbína	33
6	Závěr	35

1 Úvod

Doba, kdy byl jako přepravní prostředek využíván kůň už je dlouhou dobu minulostí a této funkce se již v minulosti ujal spalovací motor. Tento vynález lze považovat za jeden z největších vynálezů světa a dnešní svět si mnozí z nás bez automobilu ani nedokáží představit. S rostoucím počtem spalovacích motorů přibývaly i alternativy k běžně využívaným pístovým spalovacím motorům. I když pístový spalovací motor se stále zdá jako nejvhodnější pro pohon vozidla i tak jsou dnes jedinci, kteří se snaží využít či vylepšit i motory jiných konstrukcí. Dle mého názoru tyto konstrukce mají stále potenciál a není spravedlivé je jen tak nechat v pozadí. V současné době, kdy jsou běžně pístové spalovací motory používané pro pohon většiny automobilů, jsou motory jiných konstrukcí pro většinu lidí velkou neznámou.

Tato bakalářská práce je tedy zaměřena především na motory speciálních konstrukcí, jako je Wankelův motor, Stirlingův motor či spalovací turbína.

Například Wankelův motor i přes snahu několika automobilek jako je Citroën, Lada, NSU a především Mazda, zůstává i po více jak 60-ti letech od jeho vynálezu stále raritou v sériové výrobě. I přesto tento motor není zcela zapomenut a má několik příznivců a odborníků, kteří se snaží vyřešit nevýhody tohoto motoru a pro motor opět najít širší využití.

Jedny z aspektů, proč se zabývat těmito motory, je také dopad na životní prostředí a nedostatek ropy. Tyto aspekty jsou s množstvím automobilů v dnešní době masivně ovlivňovány a jiné konstrukce motorů jako je Stirling či spalovací turbína by mohly být řešením, či alespoň vést ke zmírnění těchto problémů.

2 Historie a vývoj spalovacích motorů

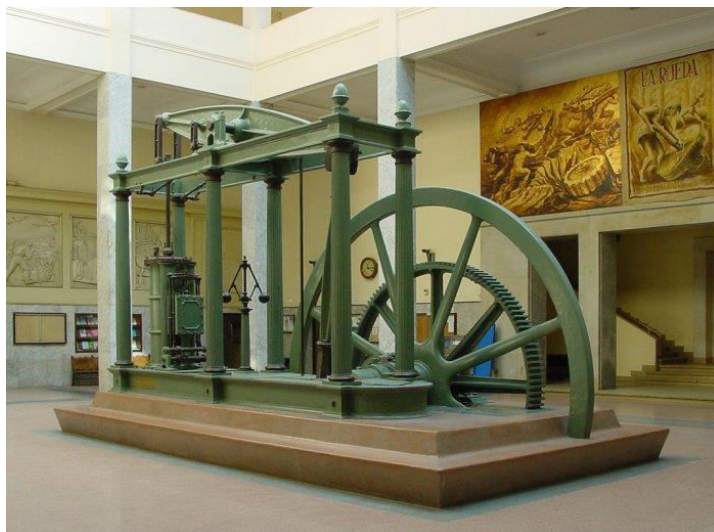
Historie spalovacího motorů sahá až do dob Leonarda da Vinciho (1452-1519), který se už v 15. století zabýval využitím páry. Skutečná éra páry nastala až v 17. století, kdy italský vědec a architekt Giovanni Branca (1571-1645) v roce 1629 představil svou parní turbínu.

Možnostmi páry se také zabýval fyzik a astronom původem z Anglie Isaac Newton (1643-1727), který formuloval základní principy pro využití páry v roce 1663. Jako další se podílel na vývoji parních strojů francouzský fyzik Denis Papin (1647-1712), který roku 1688 sestrojil ohňový atmosférický stroj, který měl kondenzaci oddělenou od kotle.

V 19. století se ohňové, atmosférické a parní stroje, které mají dějiny v počátku 18. století, dostaly poprvé do souvislosti s pohonem strojů a dopravou. První využitelný atmosférický vahadlový stroj měl výkon 6 hp a účinnost 1%. Tento stroj sestrojili roku 1705 kovář Thomas Newcomen (1663 – 1729) a John Calley nebo Cawley (? - 1725). Denis Papin pak roku 1706 předvedl atmosférický stroj s pracovním válcem odděleným od kotle, stejně jako u stroje pánů Newcomena a Calleyho nebo Cawleyho. [1]

James Watt (1736 – 1819) se věnoval zlepšování parních strojů od roku 1763, kdy dostal na univerzitě v Glasgow, kde pracoval od svých 21 let, jako automechanik, na opravu parní stroj systému Newcomen. V roce 1769 sestrojil první samočinně dvojčinný svislý vahadlový parní stroj (Obr 1), na který také ten samý rok dostal patent. Později také vynalezl odstředivý regulátor, regulaci škrcením páry, kondenzátor páry a tzv. přímovod, mechanismus, který zajišťoval kinematicky přesné vedení. Díky těmto vynálezům bylo možné, aby stroj pracoval samočinně bez nutnosti strojníka.

James Watt není přímo považován za vynálezce parního stroje, ale provedl takové úpravy, které umožnili jeho využití v průmyslu.



Obr. 1 Parní stroj Jamese Watta (1769)

Zdroj:[2] <https://soapboxie.com/economy/Capitalism-Definition>

Za vynálezce prvního samostatně se pohybujícího stroje je považován francouzský vynálezce a dělostřelecký důstojník Nicolas Joseph Cugnot (1725 – 1804). V roce 1769 předvedl v Paříži své tříkolové vozidlo určené pro přepravu děl pro francouzskou armádu, které nazval *fardier à vapeur* (parní vůz). Pohonnou jednotkou byl parní motor, se kterým vůz dosahoval rychlosti 4,5 km/h a mohl jet 12 minut. I když Cugnot sestrojil svůj stroj v dobách, kdy James Watt dostal patent na parní stroj, je i přesto téměř jisté, že se tito dva vynálezci neznali. [1]

Do vývoje spalovacího pístového motoru velkou částí přispěli francouzští učedníci a němečtí technici, kteří také řešili otázku, čím spalovací motor pohánět. Francouzský kněz a fyzik Jean Hautefeuille (1647 – 1724) se zabýval v roce 1678 použitím střelného prachu jako pohonným prvkem motoru. Se stejnou myšlenkou pracoval i nizozemský fyzik Christian Huyghens (1629 – 1695), který navrhl podobný stroj o dva roky později. Z praktického hlediska střelný prach nebyl vhodné palivo. Jako další možnost pohánění byl svítiplyn. Jako první dostal patent John Barber v roce 1719 na plynovou spalovací turbínu. Nejvíce se však do historie zapsal švýcarský vynálezce Isaac de Rivaz, který v roce 1804 vyvíjel průkopnický stroj. Tento stroj měl již některé vlastnosti moderních motorů, jako je třeba jiskrové zapalování a jako palivo byl použit plyn. Konkrétně vodík. Roku 1807 přešel k návrhu malého vozítka. Toto vozítko se tedy stalo prvním kolovým vozidlem, které bylo poháněno spalovacím motorem.

V následujících letech byly zaznamenány další pokroky ve vývoji spalovacího motoru. O tyto pokroky se postarali vědci jako například Angličan Samuel Brown, který upravil Newcomenův parní stroj na plynový motor. Jako dalšího můžeme jmenovat také angličana Williama Barnetta, který se o sestrojení spalovacího motoru pokoušel v roce 1838, roku 1854 se o to samé snažil také Ital Eugene Barsanti. O formulování principu dvoudobého a čtyřdobého motoru se v roce 1858 postaral Francouzský fyzik Degrand. O rok později se objevil dvoudobý dvojčinný motor na plyn, který byl získán destilací uhlí nebo také na vodík, a později byl poháněn i kapalnými palivy. Tento motor vynalezl a nechal si patentovat francouzský technik pocházející z Belgie, Jean Joseph Etienne Lenoir (1822-1900).

Lenoirových motorů se vyrobilo přes 400 kusů. Plány na tento motor prodal Lenoir německému vědci Nikolausovi Ottovi. Ten tento motor ještě vylepšil a pomocí jeho plánů vyrobil první čtyřdobý motor. S přesnou definicí čtyřdobého motoru však přišel v roce 1861 Francouz Alphons Beau de Rochas (1815-1893), na kterou o rok později získal také francouzský patent.

Jako nejdůležitější mezník ve vývoji spalovacího motoru se stalo použití kapalného paliva. A to z důvodu, že kapalné palivo má největší objemovou hustotu a tedy největší koncentraci energie.

Jako první definoval proces destilace ropy a její frakce (benzín, petrolej, nafta, těžký olej a asphaltové zbytky) britský fyzik a chemik Michael Faraday (1791-1867) v roce 1825. Prakticky provedl destilaci poprvé v Polsku lékárník Ignacy Lukasiewicz (1822-1882), který také vynalezl petrolejovou lampu. Nejvíce využívanou frakcí byl dlouhou dobu petrolej. Benzín byl hodnocen jako neúčinný odpad. Zařízením, která uměla přeměnit kapalná paliva na plyn, se v té době začalo říkat nesprávně „zplynovač“. Nesprávně proto, že zařízení nevytváří plyn, ale rozprašuje a odpařuje palivo. Francouzský název byl carburateur. Tento název byl pak převzat do češtiny jako karburátor.

2.1 Vývoj spalovacího motoru v Německu

V letech 1864-1866 obchodník z Kolína nad Rýnem Nikolaus August Otto (1832-1891) a jeho společník Eduard Langen odkoupili patent na plynový motor od pana Lenoira. Tento patent zdokonalili a v roce 1867 představili svůj výbušný atmosférický motor. Jednalo se o dvoudobý pracovní cyklus. Pro praktické použití se motor poté dalších

deset let vyvíjel. V roce 1876 byl motor panem Ottem upraven na čtyřdobý a představen jako prakticky využitelný motor na svítiplyn.

Definitivní nástup spalovacího motoru a tím i vítězství nad parním strojem byl zaznamenán na světové výstavě ve Francii. Konkrétně v Paříži v roce 1878.

První spalovací motor byl stabilní jednoválcový čtyřdobý motor pohánění kapalným palivem. Příprava směsi byla řešena pomocí karburátoru mísením benzínových par se vzduchem. Karburátor měl rozměry větší, než byl samotný motor a odpařování směsi bylo podporováno ohřevem od výfukových plynů. Motor zkonstruovala firma Otto Langen pana Otta a Langena.

Roku 1884 přišlo další zdokonalení, které pan Otto na motor zavedl. Zdokonalil elektrické zapalování, zavedl nízkonapěťové magneto a použil odpařovací karburátor.

Carl Benz (1844-1929) byl jeden ze zaměstnanců firmy Otto – Langen, který je také považován za tvůrce automobilu. Tento německý konstruktér vyrobil první benzínový automobil na světě. V roce 1880 uvedl do provozu dvoudobý motor s rozvodem kanály a elektrickým zapalováním.

Další ze zaměstnanců firmy, který se zapsal do historie spalovacího motoru, byl německý vynálezce původem ze Schorndorfu, Gottlieb Daimler (1834-1900). Ten v roce 1833 získal patent na rychloběžný spalovací motor poháněný kapalným palivem, které bylo odpařováno v karburátoru. Motor měl svislý válec a uzavřenou klikovou skříň. Roku 1885 zabudoval motor, který nazýval „stojací hodiny“ do dvoukolého vozítka s opěrnými kolečky a dřevěným rámem. Daimler za svou 10 ti letou praxi ve firmě pana Otty spolupracoval také s Wilhelmem Maybachem (1846 - 1929). Společně tito dva vynálezci použili tento motor i do drezíny, člunu, vzducholodi a také především do kočárů. Tak se pak v roce 1886 zrodil automobil a zároveň také základy společnosti Daimler. Jako nejjednodušší způsob, jak zvýšit výkon těchto motorů bylo použití více válců. Toho Daimler i Maybach, ale i pan Benz využili. V roce 1889 Daimler postavil dvouválcový motor s uspořádáním do V a pan Benz představil motor, který nazval kontramotor. Ploché motor s protilehlými válci, dnes nazýván jako boxer.

Maybach se ovšem nedržel pozadu a v roce 1890 sestrojil rozprašovací karburátor, který tak nahradil původní karburátor odpařovací. Na tento karburátor také o tři roky později získal patent.

Karburátor podobné konstrukce si nechal ten samý rok patentovat také maďarský vynálezce Donát Bánki a to v Rakousku - Uhersku.

Konstrukce pana Benze a Daimlera nezůstaly vniveč.

Pan Benz přišel s vozidlem poháněným plynovým motorem, na které také roku 1886 získal patent.

Wilhelm Maybach pak v roce 1890 završil zrození novodobého spalovacího motoru v Německu a to motorem S PS/620 min⁻¹, který vážil 153 kilogramů.

Mezi méně známé motory patří také motory jiných vynálezců z Anglie. V Anglii je považován za konstruktéra prvního úspěšného spalovacího motoru sir Douglas Clerk. [1]

Ale jsou zaznamenány i méně úspěšné pokusy o konstrukci samojízdného vozidla. V roce 1883 Francouz Delamare-Deboutville sestrojil čtyřdobý jednoválcový motor, který vestavěl do selské bryčky. Bryčka však tíhu těžkého motoru nevydržela a hned první jízdu, se vozidlo rozpadlo.

2.2 Historie vznětového motoru

Za tvůrce vznětového spalovacího motoru je považován německý vynálezce Rudolf Christian Karl Diesel (1858-1913). Byl spolupracovníkem profesora Lindeho na Pařížské univerzitě, kde se zabýval praktickou termodynamikou.

V továrně Maschinenfabrik v Augsburgu (později MAN) postavil po pár pokusech s uhelným prachem vznětový spalovací motor spalující petrolej. Poté nastalo období hledání vhodné konstrukce vstřikovacího zařízení. Rozdílná konstrukce vznětového spalovacího motoru přinášela další otazníky. Muselo být vyřešeno dopravování paliva do spalovacího motoru pod vyšším tlakem, než byl tlak spalovací. Další problém, který bylo potřeba vyřešit, bylo dávkování množství paliva kvůli regulaci potřebného výkonu. Dávka paliva musela být měnitelná od nejmenší pro běh na prázdko až po největší pro plný výkon motoru. To přinášelo mnoho problémů. Pan Diesel si potvrdil, že není možné dosáhnout Carnotova cyklu bez toho, aby byl motor chlazen.

Proto si přihlásil patent na tepelný stroj spalující kapalně či jiné palivo při konstantním tlaku. V roce 1897 pak přišel s tzv. „Dieslovým“ motorem. Motor měl výkon 13,1 kW při otáčkách 150 min⁻¹ a v té době neuvěřitelnou účinnost 26,2 %. Tím pan Diesel otevřel spalovacímu motoru vrátka i pro pohon strojů a zařízení v budovách, pohon lokomotiv a lodí. V roce 1900 byla tomuto motoru na výstavě v Paříži udělena Velká cena. [1]

Tento úspěch zapříčinil to, že s panem Dieslem uzavřela kodaňská firma na výrobu lodí a v roce 1911 byla vypuštěna na vodu loď nesoucí jméno Seelandia. Tato

loď měla dva osmiválcové motory „Diesel“, které sloužily dalších 31 let. V roce 1912 vyplula další loď, tentokrát dánská, která byla poháněna sedmi vznětovými motory s celkovým výkonem 2000 koňských sil.

Roku 1913 švýcarská firma Sulzer vyrobila motor V4 o výkonu 1000 koňských sil. Tento motor byl určen pro lokomotivu Borsig, která s tímto motorem dosahovala rychlosti až 100 km/h. [1]

Německý inženýr a vynálezce Prosper l'Orange (1876-1939) je také považován za průkopníka konstrukce vznětového motoru a to díky vynálezu komůrkového motoru, na který také získal patent.

Dalších 20 let pak uplynulo, než bylo vynalezeno vhodné vstříkovací zařízení a spalovací motor tak mohl být použit i v automobilu.

3 Typy a konstrukce spalovacích motorů

3.1 Rozdělení spalovacích motorů

Spalovací motory dělíme podle více atributů.

Rozdělení podle: způsobu přeměny mechanické energie,
způsobu přívodu tepelné energie.

3.1.1 Rozdělení podle způsobu přeměny mechanické energie.

Pístové spalovací motory – U těchto spalovacích motorů je energie přenášena na píst, který je součástí klikového nebo obdobného mechanismu. Podrobné rozdělení pístových motorů je znázorněno v následující kapitole.

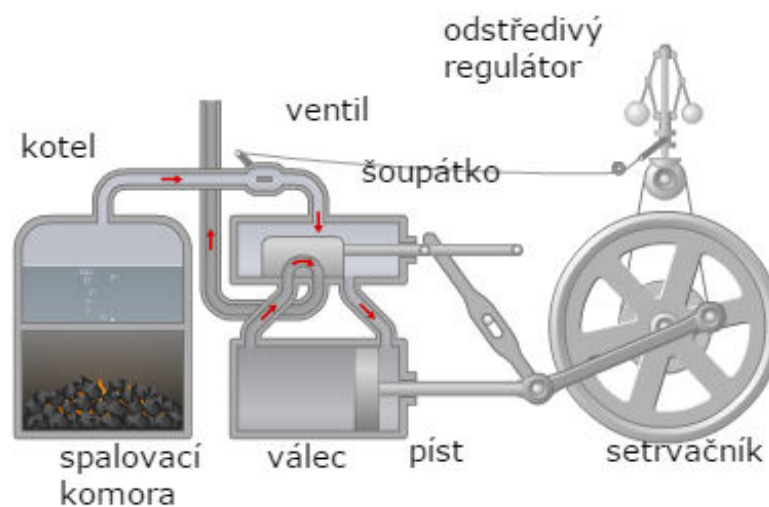
Turbínové spalovací motory – Turbínové motory získávají mechanickou energii z dynamické energie spalin. Pro spalování je motor opatřen zvláštní spalovací komorou. Do komory je potřebný vzduch dopravován pomocí zpravidla rotačního kompresoru, který je poháněný turbínou. Palivo je do spalovací komory vstříkováno pomocí trysek. Spalování je plynulé a nepřerušované.

Proudové spalovací motory – Tah motoru je získáván ze spalin vycházející vysokou rychlostí ze zadní části motoru. Spaliny působí na motor opačnou silou a tím motor pohánějí vpřed. V přední části je vstupní ustrojí, kterým do motoru vstupuje vzduch. Ten je dále

nasán a stlačován kompresorem. Stlačováním je vzduch ohříván a dále pokračuje do spalovací komory, ve které se mísí pomocí vstřikovačů s palivem. Po zažehnutí směsi se uvolňuje tepelná energie a horké plyny, které jsou dále použity pro roztočení turbíny nacházející se v zadní části motoru. Turbína pak dále pomocí hřídele vedoucí osou motoru roztáčí kompresor. Ve výstupní trysce tak vzniká vysoký tlak, který se v podání tepelné energie mění na kinetickou a pohání motor vpřed. [3]

3.1.2 Rozdělení podle způsobu přívodu tepelné energie

Motory s vnějším spalováním - Nejznámější motory s vnějším spalováním jsou předchůdci spalovacích motorů, parní stroje a také Stirlingův motor, který bude popsán v kapitole dále. U těchto motorů probíhá spalovací proces mimo prostor válce. Proto název „s vnějším spalováním“. Jako médium pro přenos energie je běžně používána vodní pára, vzduch nebo také některé plyny, například helium. Schéma motoru s vnějším spalováním můžeme vidět na Obr. 2. Zde se jedná o parní stroj a na obrázku je vidět, že spalovací prostor se nachází mimo pracovní prostor válce.



Obr. 2 Schéma motoru s vnějším spalováním

Zdroj:[4] <http://www.parnistroj.czweb.org/schema.html>

Motory s vnitřním spalováním – Spalování pracovní látky probíhá přímo v prostoru válce. Pracovní látkou pro tyto motory jsou přímo produkty spalování. Díky výhodným vlastnostem se uplatňují především jako pohonné jednotky dopravních prostředků.

3.2 Rozdělení pístových spalovacích motorů

Pístové spalovací motory můžeme rozdělit pomocí několika atributů.

Rozdělní podle: skupenství použitého paliva,
způsobu dopravy čerstvé náplně do válců,
počtu dob pracovního cyklu.

3.2.1 Rozdělní podle skupenství použitého paliva

Motory na kapalná paliva - U těchto motorů je použito palivo v kapalném stavu. Mezi neznámější a v dnešní době nejpoužívanější patří například benzín či petrolej spadající mezi ropná lehko odpařitelná paliva. A dále je také kategorie ropná těžce odpařitelná paliva, do které patří všem známa nafta a také méně používaný mazut.

Dále lze kapalná paliva rozdělit na paliva neropného původu, mezi které patří například methanol, ethanol a methylester řepkového oleje. Dále pak máme směsná paliva, která vznikají smísením různých kapalných paliv např. bionafta nebo směsná motorová nafta. [3]

Motory na tuhá paliva - Jedná se o motory, do kterých je pro přípravu směsi použito tuhé palivo většinou v práškovitém stavu. Jako příklad můžeme uvést uhelný prach, který byl použit v prvním prototypu motoru z roku 1893, jejichž konstruktérem byl pan Diesel.

Tuhá paliva se používají například i v raketách. Mezi nejpoužívanější z nich patří paliva na bázi kaučuku a syntetických pryskyřic smíšené s okysličovadlem a katalyzátory, které ovlivňují vlastnosti paliva, nejčastěji rychlost hoření. [7]

Vícepalivové motory – Jsou motory s možností změny poháněného paliva. Z velké části se jedná o záměnu kapalného paliva a plynu. Mezi typické představitele patří např. propan-butan X benzín, zemní plyn X nafta, zemní plyn X benzín a bioplyn X benzín.

Motory na plyn – Palivem pro tyto motory je plyn. Mezi nejběžnější patří. Propan-butan z velké části v kapalně formě LPG (Liquefied Petroleum Gas), zemní plyn, který je možnost použít buďto ve zkapalněné formě LNG (Liquefied Natural Gas) nebo v plynném skupenství ve stlačené formě CNG (Compressed Natural Gas). Dalšími

zastupiteli paliv pro motory na plyn jsou kychtový plyn, generátorový plyn, kalový plyn a bioplyn.

3.2.2 Rozdělení podle způsobu dopravy čerstvé náplně do válce

Motory s přirozeným sáním – Čtyřtákní motory nasávající přirozený vzduch o atmosférickém tlaku. Vzduch, nebo také vzduch smíšený s palivem je nasávám do válce pomocí podtlaku vyvolaný pohybem pístu v pracovním prostoru válce.

Motory s vyplachováním – Dvoutákní motory, které pro dopravu čerstvé náplně do válce motoru používají přetlak vytvořený dmychadlem nebo u motorů s menším objemem spodní kompresí, tak nazýváme stlačení vzduchu, nebo směsi paliva a vzduchu pohybem pístu do dolní úvratí v klikové skříní motoru. Vstupující čerstvá náplň při tomto cyklu vyplachuje objem uvnitř válce od zbylých spalin. Přetlak se pohybuje okolo 15 kPa až 20 kPa.

Motory přeplňované – Dvoutákní i čtyřtákní motory používající pro dopravu čerstvé náplně do spalovacího prostoru dmychadlo, které vyvolává přetlak o hodnotách 0,1 Mpa až 0,2 Mpa. Přeplňování se u motorů používá zejména kvůli zvýšení výkonu, snížení emisí a lepší účinnosti a to vše při zachování stejného zdvihového objemu motoru.

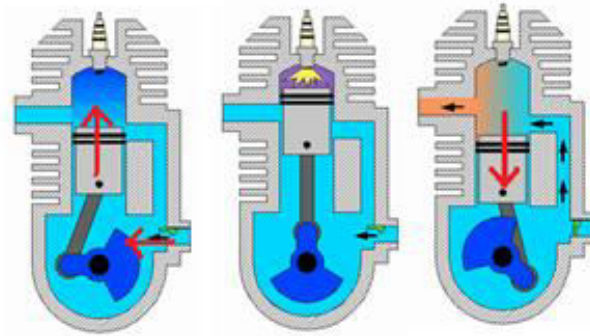
3.2.3 Rozdělení podle počtu dob pracovního cyklu

Dvoudobé motory – Motory, které vykonají pracovní cyklus za jednu otáčku klikové hřídele. Nebo také za dva zdvihy pístu proběhnou čtyři pracovní fáze při čemž směs je u benzínových motorů zapálena jiskrou produkující nejčastěji elektrickou svíčkou nebo u naftových motorů samovznícením vlivem vysokých teplot. Pro sání a výfuk zde slouží kanály, které jsou otevírány a zavírány pohybem pístu.

Pracovní fáze při prvním zdvihu pístu jsou sání a komprese. Píst se pohybuje od dolní úvratě směr k horní úvratí. Do klikové skříně se díky vzniklému podtlaku nasaje zápalná směs. Při pohybu pístu do horní úvratě se uzavře výfukový a přepouštěcí kanál. V prostoru nad pístem se směs stlačuje a vzniká komprese, zatímco pod pístem díky podtlaku probíhá nasávání čerstvé směsi.

Při druhém zdvihu pístu probíhají zbylé dva pracovní cykly spalovacího motoru, expanze a výfuk. Píst se nyní nachází těsně před horní úvratí, kde přeskočí jiskra, která zažehne směs

a nastává expanze. Expanze pak má za následek tlačení pístu z horní úvratě zpět do dolní úvratě. Během toho spodní část pístu uzavře sací kanál. Směs obsažená v klikové skříně se stlačuje a při pokračování pohybu pístu jeho pravá horní část otevře výfukový kanál a vzápětí na to horní hrana pístu otevírá přepouštěcí kanál. Tím pádem stlačená směs z klikové skříně vytlačuje zbytky zplodin a přesouvá se do prostoru nad píst. Cykly se pak znovu opakují. Schéma dvoudobého motoru je znázorněn na Obr. 3.



Obr. 3: Schéma dvoudobého zážehového motoru

Zdroj:[5]<http://www.itnetwork.cz/maturitni-otazka-fyzika-idealni-plyn-a-deje-v-plynech>

Čtyřdobé motory – Motory, které vykonávají pracovní cyklus za dvě otáčky klikové hřídele, tedy za čtyři zdvihy pístu při čemž při každém zdvihu proběhne jedna ze čtyř pracovních fází. Směs je zapáleno buď elektrickou jiskrou u zážehového motoru nebo samovznícena díky vysoké teplotě u vznětového motoru. Sání a výfuk je zajišťován pomocí otevírání a zavírání sacích a výfukových ventilů.

Pracovní fáze zážehového motoru můžeme popsat takto. První fází je sání. Píst se pohybuje od horní úvratě směrem k dolní úvratě, přičemž je při tomto pohybu přes sací kanál nasávána pohonná směs.

Druhá fáze je komprese. Píst se pohybuje z dolní úvratě směrem k horní úvratě. Oba ventily jsou zavřené. Směs je pohybem pístu stlačována a nastává komprese. Těsně před horní úvratí je směs zapálena elektrickou jiskrou zapalovací svíčky.

Třetí fází je expanze. Směs paliva a vzduchu, která byla zapálena elektrickou svíčkou nyní prohořívá až do úplného shoření. Oba ventily jsou stále uzavřené. Uvnitř pracovního prostoru válce prudce naroste tlak a teplota vzniklých plynů. Ty expandují a pohánají píst směrem do dolní úvratě, který tím tak koná práci.

Poslední čtvrtá fáze je výfuk. Píst se pohybuje směrem do horní úvrati. Výfukový ventil je otevřen a spaliny jsou vytlačovány do výfukového potrubí. U jednoválcových motorů jsou nepracovní půlotáčky překonávány pomocí setrvačníku.

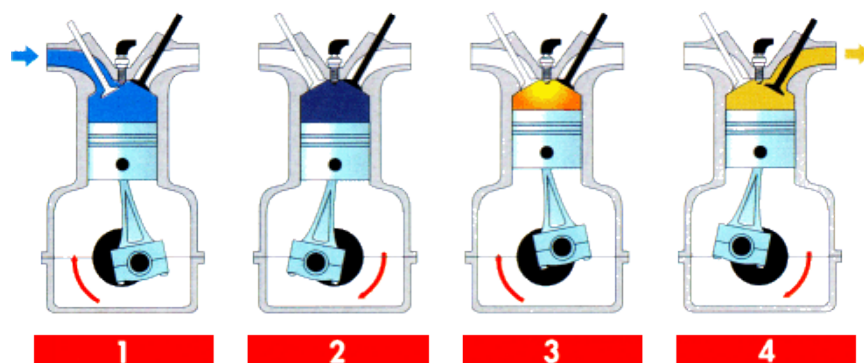
U vznětového motoru, je pracovní proces téměř totožný. Rozdíl u první fáze je v tom, že místo nasátí pohonné směsi je nasáván jen čistý vzduch.

U druhé fáze je místo zapálení elektrickou svíčkou do stlačeného vzduchu vstřikováno palivo.

Při třetí fázi se v důsledku vysokého tlaku a teploty zápalná směs samovznítí a shoří. Není tedy zapotřebí elektrické jiskry svíčky.

Čtvrtí fáze je rozdílná tím, že výfuk je rozdělen na dvě části. Část volného výfuku, který nastává ještě před dolní úvratí a výfuk nucený, který vzniká při vytlačování spalín při pohybu pístu směrem do horní úvrati.

Schéma čtyřtaktního zážehového motoru je znázorněna na Obr. 4.



Obr. 4: Schéma čtyřdobého zážehového motoru

Zdroj: [6] https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/ropa_2.html

3.2.4 Rozdělení podle způsobu zapálení směsi

Zážehové motory – Směs paliva se vzduchem je zážehována energií vnějšího zdroje, nejčastěji elektrickou jiskrou. Tento způsob se používá u motorů na plynná paliva, benzín, líh, případně dříve petrolej. Zážehové motory pracují s nižším kompresním poměrem než motory vznětové. Hodnota nepřesahuje $e_{\max} = 11,5$. Toto omezení je způsobeno teplotou vznícení směsi paliva se vzduchem a tedy vznikem detonačního hoření, které je pro motor nežádoucí. Největší tlak u zážehového motoru se pohybuje

od 0,8 MPa do 1,5 Mpa. Teplota na konci komprese, tedy při nejvyšším tlaku, se pak pohybuje mezi 400 až 600 °C. [3]

Vznětové motory – U vznětových motorů je palivo vstřikováno přímo do prostoru válce motoru, případně komůrky u motorů komůrkových. Palivo je pak samovzníceno v důsledku vysoké teploty, která vznikne stlačením vzduchu v prostoru válce. Aby vznikla potřebná teplota pro samovznícení, je třeba, aby motor pracoval s vyšším kompresním poměrem. Minimální kompresní poměr pak má hodnotu $e_{\min} = 12$. U motorů s přímým vstřikováním je běžně použit kompresní poměr $e = 17$ a u motorů komůrkových pak $e = 22$. Hodnoty tlaku na konci komprese se pohybují okolo 3 až 5,5 MPa a teplota dosahuje hodnot mezi 700 až 900 °C.

3.3 Rozdělení pístových spalovacích motorů podle konstrukčního hlediska

Spalovací motory lze také dále rozdělit z konstrukčního hlediska na několik atributů.

Rozdělení podle: způsobu přenosu síly na píst,

způsobu činnosti,

počtu a uspořádání válců motoru,

rychlloběžnosti pístu,

způsobu chlazení motoru,

konstrukce rozvodového mechanismu,

zdvihového poměru Z/D.

3.3.1 Rozdělení podle způsobu přenosu síly na píst

Motory s přímým přenosem – Síla působící od pístu se přenáší přes ojnici do klikové hřídele. Axiální síly klikového mechanismu jsou zachyceny pláštěm pístu.

Křížákové motory - Síla působící od pístu se přenáší přes ojnici a pístní tyč na klikový hřídel. Axiální síly od klikového mechanismu jsou zachyceny pomocí křížáku, přičemž kluzák křížáku je s pístem pevně spojen pomocí pístní tyče. Křížák se používá pouze u vysoko výkonných motorů s pomaloběžným chodem, jako jsou například motory lodní či lokomotivní. Tyto motory jsou dvoudobé s účinností přesahující 50% a spalující naftu, popřípadě mazut.

Motory bez klikového mechanismu – Motory speciální konstrukce, které neobsahují klikový mechanismus. Jako příklad lze uvést motory rotační např. Wankelův motor, motory se šikmou deskou, např. Stirlingův motor, motory s volnými písty, např. lineární spalovací motor. Touto problematikou se budeme blíže zabývat v následující kapitole.

3.3.2 Rozdělení podle způsobu činnosti

Motory jednočinné – Požadovaná práce je vykonávána jen při jednom směru pohybu pístu a pracovní médium působí jen na jednu stranu pístu. Typickými představiteli jednočinného motoru jsou motory zážehové.

Motory dvojčinné – Požadovaná práce je vykonávána při obou směrech pohybu pístu. Pracovní médium tedy působí na obě strany pístu. Představitelem dvojčinného motoru je například parní stroj používaný pro pohon vozidla.

3.3.3 Rozdělení podle počtu a uspořádání válců

Jednoválcové motory – Představitel nejjednoduššího základního druhu pístového spalovacího motoru obsahující jen jeden válec. Mezi nejčastěji vyráběné jednoválcové motory, patří motory spalující benzín či naftu, ale existují i motory spalující plyn, jako jsou CNG (Compressed Natural Gas) či LPG (Liquified Petroleum Gas).

Nejčastěji jsou motory s jedním válcem používány v motocyklech, motorových kolech, skútrech, motokárách nebo také ve strojích, jako je sekačka, malotraktor či motorová pila.

Víceválcové motory – Motory obsahují více jak jeden válec. Podle uspořádání válců je můžeme rozdělit do několika kategorií.

Jednořadé uspořádání válců – Všechny válce motoru jsou umístěny v jedné řadě vedle sebe.

Dvouřadové uspořádání válců - Válce jsou uspořádány do dvou řad.

Vidlicové uspořádání - Nejčastěji používané uspořádání a to do písmene V, kdy řady válců spolu svírají uhel 60° nebo 90°.

Motor s uspořádáním do U – Nebo také motor s rovnoběžnými válci. Dvě řady válců jsou spolu rovnoběžné, přičemž každá z řad má svůj vlastní klikový hřídel. Tyto hřídele jsou pak vzájemně propojeny.

Motory s protilehlými válci - Nebo také boxer motor. Dvě řady válců, které se pohybují horizontálně proti sobě a uprostřed jsou spojeny klikovým hřídelem.

Víceřadé uspořádání válců – Válce jsou uspořádány do tří a více řad.

Motor s uspořádáním do W – Motor může být buď kombinací vidlicového a řadového motoru, kdy motor má tři řady válců, které jsou nad klikovou hřídelí a příčný řez motoru tak tvoří tvar písmene W. Další možností je spojení dvou vidlicových motorů. Motor pak má čtyři řady válců, které pak při příčném řezu vytvoří opět tvar písmene W.

Motor s uspořádáním do H – Čtyřřadý motor, který má dvě rovnoběžné, navzájem spojené klikové hřídele. Při příčném řezu motorem je vytvořen tvar písmene H.

Motor s uspořádáním do X – Nebo také křížový motor, je motor se čtyřmi řadami válců, které jsou spojeny jednou klikovou hřídelí. Jedná se také o speciální případ hvězdicového motoru. Příčný řez motorem vytvoří tvar písmene X.

Delta motor – Motor s třemi řadami válců a třemi klikovými hřídeli. Příčný řez motorem vytvoří trojúhelník, přičemž skrz vrcholy prochází kolmo na rovinu řezu osy klikových hřídelí.

Ploché motory – Typ víceválcového pístového motoru, který má osy válců v jedné rovině a ta je kolmá na osu klikového hřídele.

Hvězdicový motor – Válce hvězdicového motoru jsou rozmístěny v kruhu od klikové hřídele. Většinou jsou v jedné rovině, ale jsou i hvězdicové motory s víceřadým uspořádáním válců. Hvězdicové motory se hojně používají v letectví.

3.3.4 Rozdělení podle rychloběžnosti pístu

Pomaloběžné motory – Spalovací motory, jejichž střední pístová rychlost při jmenovitých otáčkách je menší než $6,5 \text{ m.s}^{-1}$.

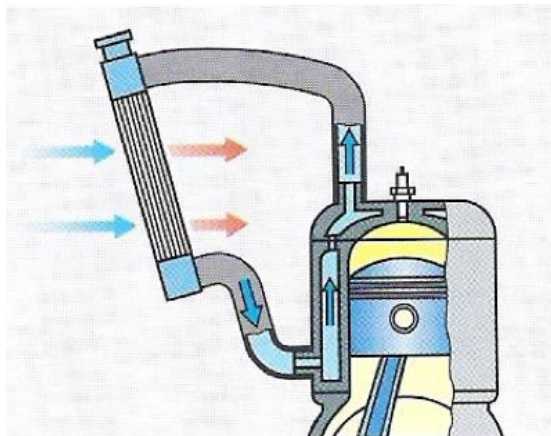
Rychloběžné motory – Spalovací motory, jejichž střední pístová rychlost při jmenovitých otáčkách je větší než $6,5 \text{ m.s}^{-1}$.

3.3.5 Rozdělení podle způsobu chlazení

Kapalinou chlazené motory – Přebytečné teplo je z motoru odváděno kapalinou, která cirkuluje nejčastěji pomocí oběhového čerpadla dutinami vytvořenými v hlavě a bloku válců. Kapalina se ohřívá od horkých stěn motoru a dále putuje do chladiče, kde je ochlazována vzduchem proudícím přes chladič. Chlazení kapalinou lze rozdělit do dvou skupin.

Samočinné (termosifonové) chlazení kapalinou – Princip funkce spočívá ve změně hustoty kapaliny, která se mění s teplotou. Pro správnou funkci je nutné umístění chladiče poměrně vysoko nad motorem. Kapalina ohřátá od stěn motoru řídne, stává se lehčí a stoupá vzhůru do chladiče, kde se ochlazuje proudícím vzduchem. Naopak ochlazená kapalina houstne, stává se těžší a klesá dolů až do přívodního hrdla chladičího pláště motoru. Takto kapalina neustále velmi pomalu cirkuluje a chladí motor. [8]

Schéma samočinného chlazení je zobrazeno na Obr. 5.



Obr. 5: Schéma samočinného (termosifonového) chlazení motoru kapalinou

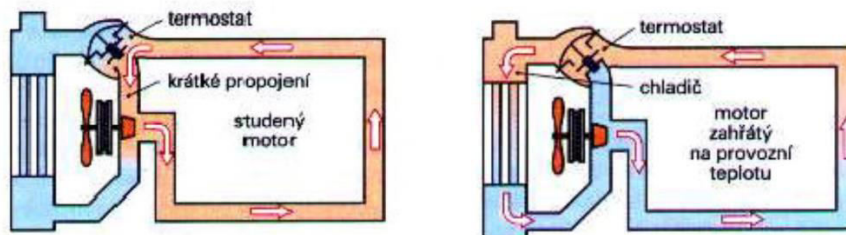
Zdroj:[9] <https://publi.cz/books/160/14.html>

Kapalinové chlazení s nuceným oběhem – Nejběžnější a nejúčinnější způsob chlazení motorů. Oběh chladicí kapaliny v chladicí soustavě zajišťuje čerpadlo.

Chladicí soustava je rozdělena na dva okruhy a to na takzvaný malý a velký okruh. Při startu motoru, když motor ještě není ohřátý, kapalina obíhá jen malým okruhem. Nejprve přes dutiny v bloku motoru a pak kapalina pokračuje do chladících dutin hlavy válců.

Po zahřátí motoru (85 °C až 95 °C) termostat umístěný na hlavě válců otevře velký okruh, kde kapalina již cirkuluje přes chladič a zavře malý okruh.

S měnící se teplotou kapaliny se mění také objem. Tyto změny jsou vyrovnávány pomocí expanzní nádržky. Schéma kapalinového chlazení s nuceným oběhem je zobrazen na Obr. 6.



Obr. 6: Schéma kapalinového chlazení s nuceným oběhem

Zdroj:[9] <https://publi.cz/books/160/14.html>

Vzduchem chlazené motory – Nejvíce tepelně zatěžované části motoru jako jsou válce, olejová vana, hlava válců, jsou opatřeny chladicími žebry pro dosažení lepší účinnosti chlazení. Chladicí žebra několikanásobně zvětšují kontaktní plochu povrchu horkých částí motoru pro skrz ně proudící chladicí vzduch, který odvádí přebytečné teplo.

Vzduchové chlazení můžeme rozdělit do dvou kategorií.

Náporové vzduchové chlazení – Nejjednodušší a nejméně používaný způsob chlazení používá se u menších a malých motocyklů. Rychlostí jízdy motocyklu vzniká nápor proudění vzduchu na chladicí žebra motoru, který žebra ofukuje a odvádí z nich tak přebytečné teplo.

Tímto systémem nelze regulovat úroveň chlazení, to způsobuje menší životnost takto chlazených motorů.

Nucené vzduchové chlazení – Chlazení prouděním vzduchu, který je na chladicí žebra vháněn pomocí ventilátoru nebo dmyhadla. Používá se u menších strojů, jako jsou motorové pily, sekačky atd., ale také u skútrů a některých vzduchem chlazených automobilových motorů. Typickým představitelem vzduchem chlazených automobilových motorů jsou motory Tatra, které pro chlazení používají axiální dmyhadla chladicího vzduchu.

U motorů malé motorizace používané například v sekačkách, motorových pilách a dalších, je chladicí vzduch poháněn radiálním ventilátorem, jehož lopatky jsou nejčastěji součástí rotoru setrvačnickového magnetoelektrického zapalování.

U všech systémů nuceného chlazení vzduchem musí být zajištěno vhodným zakrytváním (kapotáží) rovnoměrné a stejné proudění kolem všech válců. U malé mechanizace regulace chlazení většinou nebývá. U vzduchem chlazených motorů osobních automobilů bývají použity na vstupu nebo na výstupu chladícího vzduchu regulační klapky ovládané vlnovcem termostatu. [8]

U motorů skútrů a menších automobilových motorů se vzduchovým chlazením se pro chlazení používají spolu s axiálními ventilátory i lopatkové radiální ventilátory, které jsou poháněny nejčastěji pomocí klínového řemene klikovou hřídelí motoru.

S kombinovaným chlazením – Chlazení motoru probíhá kombinací kapalinového a vzduchového chlazení. Tento způsob je použit například u vozů Porsche, kde hlava válců je chlazená kapalinou a válce motoru, jsou chlazeny vzduchem.

3.3.6 Rozdělení podle konstrukce rozvodového mechanismu

Motory ventilové – Výměna obsahu válce je řízena ventilovým rozvodem, který ovládá a časuje otevírání a zavírání sacích a výfukových ventilů. Rozvod je poháněn od klikové hřídele pomocí řemene, řetězu nebo ozubenými koly, který pohání vačkovou hřídel. Vačková hřídel pak řídí přímo nebo pomocí vahadel, tyček nebo zdvihátek, otevírání a zavírání ventilů. [13]

U čtyřdobých motorů platí, že na čtyři otáčky klikové hřídele připadají dvě otáčky vačkové hřídele.

Ventilových rozvodů je více druhů, které se mezi sebou liší svou konstrukcí.

Ventilový rozvod SV – (Side Valves) Ventily jsou umístěny v bloku motoru a jsou poháněny zespodu vačkovou hřídelí. Pro nevyhovující tvar spalovacího prostoru se v automobilovém průmyslu přestaly používat. Výhodou této konstrukce je to, že při poruše rozvodu nehrozí střet pístu s ventilem. Schéma ventilového rozvodu SV je znázorněno na Obr. 7.

Ventilový rozvod OHV – (Over Head Valves) Ventily jsou umístěny v hlavě válců a jsou poháněny přes mechanický převod vačkovou hřídelí, umístěnou v bloku motoru. Mechanický převod je tvořen zdvihátkem, zdvihacími tyčkami a vahadly. Rozvod OHV není vhodný pro motory s vysokými otáčkami, z tohoto důvodu tento způsob rozvodu se

u dnešních automobilů většinou neobjevuje. Schéma ventilového rozvodu OHV je znázorněno na Obr. 7.

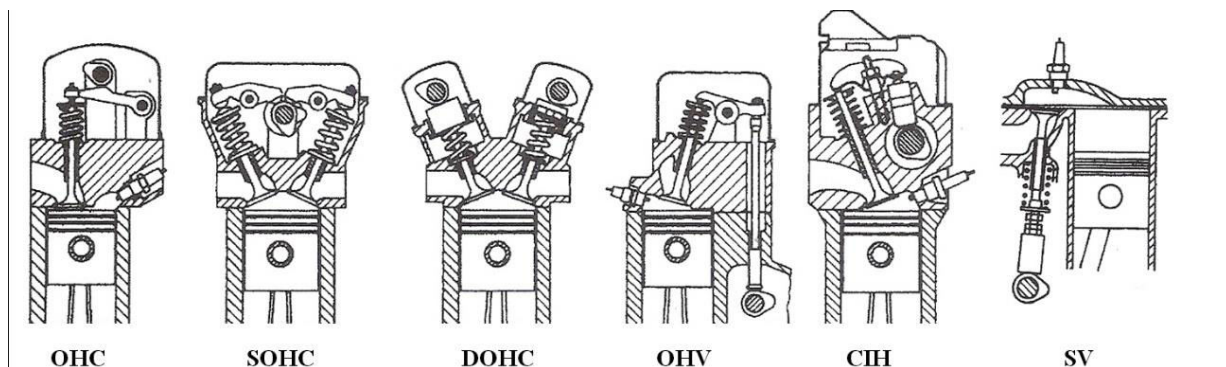
Ventilový rozvod OHC – (Over Head Camschaft) Ventily i vačková hřídel jsou umístěny v hlavě válců motoru, z čehož vyplívá větší složitost hlavy válců motoru. Jde o nejčastější typ rozvodového mechanismu používaný v dnešních čtyřdobých spalovacích motorech. Schéma ventilového rozvodu OHC je znázorněno na Obr. 7.

Ventilový rozvod DOHC – (Double Over Head Camschaft) Ventily jsou umístěny ve dvou řadách v hlavě válců a každá řada je poháněna vlastní vačkovou hřídelí, která je také umístěna v hlavě válců. Jedna vačková hřídel ovládá dva (nebo tři) sací ventily a druhá vačková hřídel ovládá dva výfukové ventily. Rozvod DOHC se nejčastěji používá u čtyř a pěti-ventilového uspořádání. Schéma ventilového rozvodu DOHC je znázorněno na Obr. 7.

Ventilový rozvod SOHC – (Single Over Head Camschaft) Obdoba ventilového rozvodu OHC. Ventily jsou umístěny v hlavě válců ve dvou řadách jako je tomu u rozvodu DOHC a jsou poháněny jednou společnou vačkovou hřídelí, která je také umístěna v hlavě válců. Schéma ventilového rozvodu SOHC je znázorněno na Obr. 7.

Ventilový rozvod IOE – (Inlet Over Exhaust) Také nazýván rozvod F nebo rozvod s protilehlými písty. Kombinace rozvodu SV a OHV. Výfukový ventil je umístěn v bloku válce (SV) a sací ventil je umístěn v hlavě válce (OHV). Pro svou složitost se v dnešní době již nepoužívá.

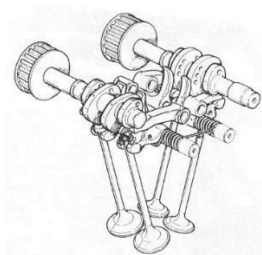
Ventilový rozvod CIH – (Camschaft In Head) Ventily i vačkový hřídel jsou umístěny v hlavě válců. Ventily jsou ovládány přes vačkovou hřídel pomocí vahadel a zdvihátek. Schéma ventilového rozvodu CIH je znázorněno na Obr. 7.



Obr. 7 Schémata ventilových rozvodových mechanismů.

Zdroj:[11] <https://publi.cz/books/160/12.html>

Desmodromický rozvod – Byl vyvinut pro vysokootáčkové motory, dnes nejčastěji používán v motocyklech Ducati. Na rozdíl od výše popsaných rozvodů se pro zavírání ventilů nepoužívají pružiny, ale další speciální vačková hřídel, která zajistí rychlejší uzavírání ventilů. Tento typ rozvodu je složitější na seřízení. Schéma Desmodromického rozvodu je znázorněn na Obr. 8.



Obr. 8 Schéma Desmodromického rozvodu

Zdroj: [12] <http://www.autoznanosti.cz/images/stories/motor/Desmopic.jpg>

Motory šoupátkové – Výměna obsahu válce je zajištěna otevřením a zavíráním šoupátka, které může vykonávat přímočarý, rotační, rotační vratný nebo kombinovaný pohyb. Šoupátkové rozvody jsou použity u některých benzínových motorů a vynikají tichým chodem a větším otevřením.

Motory s kanálovým rozvodem – Typ rozvodového mechanismu používaný u dvoudobých motorů. Rozvodovým mechanismem je píst, který při pohybu svými hranami otevírá a zavírá sací, výfukový nebo přepouštěcí kanál.

Motory se smíšeným typem rozvodu – Kombinace výše popsaných způsobů konstrukce rozvodových mechanismů spalovacích motorů. Například sání je řízeno kanálovým rozvodem a výfuk je řízen ventilovým rozvodovým mechanismem.

3.3.7 Rozdělení podle zdvihového poměru Z/D

Zdvihový poměr udává poměr zdvihu pístu (Z) a průměr válce (D). Podle tohoto parametru dělíme motory do těchto kategorií.

$Z/D < 1$ - motory krátkozdvihové (podčtvercové) – Zdvih pístu je menší než průměr pístů. Zdvihový poměr je tedy menší než 1, nejčastěji 0,7 - 0,9. Toto řešení se používá kvůli větší životnosti sériových motorů, kde by střední pístová rychlost neměla přesáhnout 16 m/s^{-1} . Motory s krátkým zdvihem se tedy používají, aby i přes toto omezení bylo možno dosáhnout vysokých otáček.

$Z/D = 1$ - motory čtvercové – Zdvih pístu je roven průměru vrtání válce.

$Z/D > 1$ - motory dlouhozdvihové (nadčtvercové) – Zdvih pístu je větší než průměr vrtání pístu. Zdvihový poměr je tedy větší než 1, nejčastěji 1,1 - 1,3. Tyto motory jsou mohutnější konstrukce a jsou používány především k pohonu užitkových automobilů či autobusů. Mají vysoký kroutící moment na klikové hřídeli a větší setrvačné síly, které je ale i zapotřebí překonat větším výkonem.

4 Základní charakteristiky konstrukce nekonvenčních konstrukcí spalovacích motorů

4.1 Wankelův motor

Historie Wankelova motoru

Za vývojem Wankelova motoru stojí německý mechanik a konstruktér Felix Heinrich Wankel (1902 – 1988), který byl původem z Heidelbergu.

Svůj motor začal vyvíjet v roce 1951 u automobilky NSU. Na začátku však byl vývoj speciálních dmychadel, od kterých teprve v roce 1954 pan Wankel přešel k vývoji svého rotačního motoru.

Drehkolbenmotor (nebo také DKM 54) vznikl v roce 1957 a je to prototyp prvního motoru s rotujícím pístem. Spolu s pístem se otáčel i samotný blok, přičemž každý rotoval okolo jiné osy. To zapříčinilo celkově složitou konstrukci, což vedlo k tomu, že i při výměně zapalovací svíčky bylo za potřeby motor rozebrat. Naproti tomu, ale motor dosahoval vysokých otáček a to až k hranici 17 000 otáček za minutu.

Další motor, který už měl podobu, ve které můžeme Wanklův motor potkat i nyní byl motor KKM (celým názvem Kreiskolbenmotor) vyvinut v roce 1958. U tohoto motoru se pohyboval pouze píst, který rotoval excentricky okolo hřídele, blok motoru se už nepohyboval. Motor tak nebyl schopný pracovat v tak vysokých otáčkách jako jeho předchůdce, avšak konstrukce se výrazně zjednodušila a odpadla tím nutnost rozebírání motoru při výměně žhavicí svíčky.

Firma NSU licencovala tento prototyp několika dalším výrobcům. Například ihned v roce 1958 to byl americký Curtis-Wright, v roce 1961 si motor patentovala Mazda, která Wanklův motor dává so svých automobilech dodnes. Dalším výrobcem, který si patent zakoupil, byl Rolls-Royce. Ten v roce 1966 vyvinul dvourotorový vznětový Wankel. Vývoj však u této automobilky pokračoval dále a v roce 1972 Rolls-Royce představil svou poslední vývojovou fázi tohoto motoru, která dosahovala výkonu 350 koňských sil.

První automobil s Wankelovým motorem představila firma NSU v roce 1963, nesl jméno NSU Spider (Obr. 9) a do sériové výroby se dostal v roce 1964. Byl osazen jednorotorovým motorem o výkonu 50 koňských sil, který díky nízké konstrukci automobilu byl schopen rozpohybovat auto až do rychlosti 150 km/h. Taktéž v roce 1964 přišla Mazda se svou studií Cosmo, která se do výroby dostala o rok později.

Pro tu dobu revoluční automobil NSU RO80 (Obr. 10) představilo NSU v roce 1967. Díky moderní karoserii, neobvyklým konstrukčním prvkům a dvourotorovému motoru o výkonu 115 koňských sil si vybojoval titul Auto roku 1968. Tento titul se už žádnému automobilu s Wankelovým motorem vybojovat nepovedlo.

Třetí a poslední výrobce, který uvedl automobil poháněný motorem Wankel do sériové výroby, byl Citroën, který s NSU pracoval ve společné továrně.

Wankelovým motorem se zabývaly i jiné známe automobilky jako je Mercedes-Benz, který motor použil u svého prototypu C111, dále pak ruská Lada či americké GM.

Firma NSU díky problémům Wankelova motoru, které se časem začaly objevovat, v roce 1969 ukončila výrobu a byla odkoupena firmou Volkswagen. Ten vytvořil svou skupinu se jménem Audi NSU Auto Union, všechny automobily NSU byly časem

vyřazeny z výroby a v roce 1977 problematický automobil NSU RO80 ukončil existenci značky.



Obr. 9 NSU Spider

Zdroj:[13]<https://www.hemmings.com/blog/index.php/2013/12/19/cars-of-futures-past-1964-1967-nsu-spider/>



Obr. 10 NSU RO80

Zdroj:[14] <http://www.autozine.org/Archive/NSU/classic/Ro80.html>

Princip funkce Wankelova motoru

Wankelův motor je jediný sériově vyráběný motor s jiným, než přímočarým pohybem pístu. Píst vykonává krouživý pohyb a je trojúhelníkového tvaru, přičemž jeho boky jsou tři stejné oblouky ve tvaru válce.

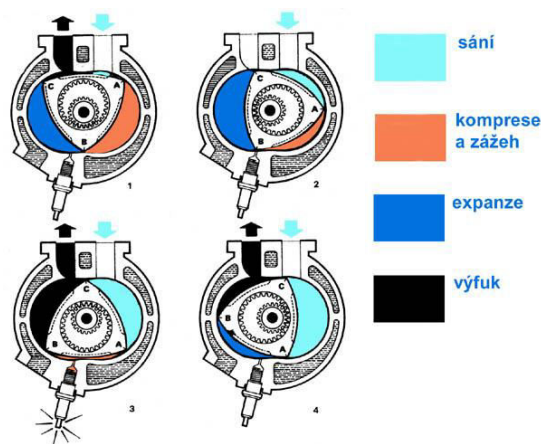
Pracovní prostor je oválný a ve středu lehce stažený. Tato křivka se zkráceně nazývá epitrochoida.

Vrcholy pístu se neustále dotýkají stěny pracovního prostoru, ve kterém se tak tvoří tři prostory o různých velikostech v závislosti na pohybu pístu. V každém z těchto prostorů probíhá během jedné otáčky pístu stejný pracovní oběh jako je čtyřdobý Ottův proces. Excentrický hřídel se tak vzhledem k převodovému poměru mezi pístem a výstupní hřídelí 3:1 točí třikrát rychleji než píst. Tedy za jednu otáčku hřídele se uskuteční jeden pracovní oběh, stejně jako je tomu u čtyřdobého pístového motoru se dvěma válci.

Rohy a stranové plošky pístu jsou utěsněny těsníci elementy. Na boku skříně motoru je upevněna excentrická hřídel, po které se odvaluje vnitřní ozubení pístu umístěné společně s uložením pro excentr hřídele soustředně s osou pístu. Ozubení slouží nejen k přenosu síly, ale také k řízení pístu ve správné pohybové fázi při otáčení excentrického hřídele a oběhu pístu po dráze trochoidy. Počty zubů jsou v poměru 2:3. Píst se otáčí dvěma třetinami úhlové rychlosti hřídele a relativně k ní v obráceném smyslu, to znamená že, relativní rychlost pístu ve skříně obnáší jen třetinu úhlové rychlosti hřídele.[15]

Pro výměnu plynu jsou použity kanály otevírané a zavírané pohybem pístu. Sání může být provedeno otvory na straně skříně nebo také uspořádání sacího kanálu po obvodu, tedy přímo v trochoidní dráze pístu.

Pracovní proces Wankelova motoru je zobrazena na Obr. 11.



Obr. 11: Pracovní proces Wankelova motoru

Zdroj:[16] <http://n-f-s.wgz.cz/rubriky/mazda-7/motor>

Automobilka Mazda a Wankelův motor

Mazda Motor Corporation je jediná automobilka, která se v dnešní době zabývá vývojem a výrobou Wankelova motoru. Automobilka sídlí v Japonsku v Hirošimě, založena byla v roce 1920 Jujiro Matsudou. Wankelův motor automobilka použila jak v sériově vyráběných vozech tak i ve svých závodních speciálech.

Automobilových závodů se Mazda účastnila se svými vozy, ale také i se svými dvurotorovými, třírotorovými i čtyřrotorovými Wankel motory. Největší závodní úspěch s Wanklovým motorem přišel v roce 1991 kdy automobil Mazda 787B drtivě vyhrál závod 24 hodin Le Mans. Vozidlo bylo poháněno čtyřrotorovým motorem R23B o výkonu 552 kW. Motor byl po tomto závodě rozebrán a po vnitřním zkoumání se ukázalo, že i po tak náročném použití je motor velmi málo opotřeben. Bylo to první vítězství japonského výrobce i Wankelova motoru v historii tohoto závodu.

Do sériové výroby se dostalo poměrně hodně modelů osazených Wankelovým motorem. Historicky první vozidlo Mazda s tímto motorem byl model Cosmo Series I, který se prodával v letech 1965-1968. Tento model následovalo mnoho dalších, které jsou vypsány v Tabulce 1.

Rok	Automobil	Motor
1965–1968	Mazda Cosmo Series I	0810
1968–1972	Mazda Cosmo Series II	0813
1968–1973	Mazda R100/Familia Rotary	0820
1970–1978	Mazda RX-2	12A, 12A Turbo, 12B
1970–1972	Mazda R130	13A
1972–1978	Mazda RX-3	0866, 12A, 12A Turbo, 12B
1972–1978	Mazda RX-4	12A, 13B AP
1972–1985	Mazda Luce	12A, 12A Turbo
1974–1977	Mazda Rotary Pickup	13B AP
1975–1977	Mazda Roadpacer	13B AP
1975–1980	Mazda Cosmo AP	13B AP
1975–1980	Mazda RX-5	13B AP
1978–1985	Mazda RX-7	12A, 12A Turbo
1981–1989	Mazda Cosmo	12A, 12A Turbo
1984–1985	Mazda HB Luce	13B-RESI
1984–1985	Mazda HB Cosmo	13B-RESI
1984–1985	Mazda FB RX-7	13B-RESI
1986–1992	Mazda RX-7 FC	13B-DEI. 13B-Turbo
1986–1991	Mazda HC Luce	13B-Turbo
1990–1995	Mazda Eunos Cosmo	13B-RE
1992–2002	Mazda RX-7 FD	13B-REW
2003–2012	Mazda RX-8	13B-MSP Renesis

Tabulka 1: Automobily Mazda poháněné Wankelovým motorem.

Zdroj: [http: \[17\] //www.autoznalosti.cz/index.php/motor/7-wankeluv-motor.html](http://www.autoznalosti.cz/index.php/motor/7-wankeluv-motor.html)

I přesto, že od začátku výroby Mazda vyrobila přes 2 milionů automobilů poháněných Wanklovým motorem, v roce 2012 s ukončením výroby Mazdy RX-8 oznámila i ukončení výroby a vývoje Wankelova motoru. I když se objevují informace, že v roce 2020 by měla

Mazda představit svou novou RX-9 poháněnou společně s elektromotorem i Wankelem, jsou to informace nepodložené a stále se mění. Mazda tuto informaci popřela, avšak za nedlouho přišla informace znovu. Překvapením tedy bude, jak to nakonec dopadne.

4.2 Stirlingův motor

Patří mezi teplovzdušné motory, které pracují na principu roztažnosti plynu. Může být s vnějším spalováním nebo také může získávat tepelný rozdíl jiným způsobem. Mezi tyto způsoby patří například sluneční energie, odpadní teplo či geotermální energie.

Historie Stirlingova motoru

První zmínky o Stirlingově motoru sahají až do roku 1806, kdy se tímto motorem zabýval Sir George Cayley. Ten si ale svůj vynález nenechal patentovat.

O patent na tento motor se 27.9. 1816 přihlásil, v té době šestadvacetiletý skotský pastor Robert Stirling (1790-1878). Avšak z patentu je vidno, že si autor uvědomoval podmínky nutné pro přeměnu tepelné energie v mechanickou, byl tento motor patentován ještě v době, kdy neexistovala teorie tepelných strojů.

Robert Stirling se svými motory zabýval celý život. V roce 1818 využil svůj nově postavený velký motor o výkonu 2 hp pro čerpání vody v kamenolomu ve Skotsku. Dále pak v letech 1827 a 1840 získal další dva patenty na zdokonalené typy svých teplovzdušných motorů, jak se tyto motory v té době nazývaly. [18]

V průběhu 19. a na začátku 20. století se tento motor začal rozšiřovat. Byl používán například pro dopravování vody a to jak pro dobytek, tak i pro železnice, doly, sídla či statky. V různých rozměrech našel využití i v mnoha jiných odvětvích. Malé motory byly používány například pro pohon zubních vrtaček, domácích ventilátorů či šicích strojů a naopak motory větších konstrukcí byly využity pro pohon navijáků a k jinému průmyslovému využití. K pohonu byla použita paliva ve všech možných skupenstvích.

Dalším, kdo se zabýval Stirlingovým motorem, byl John Ericsson (1803-1889). Mnohé z výše zmíněných motorů byly vynalezeny tímto švédským vynálezcem a inženýrem. Postavil mnoho těchto motorů pro průmysl, obchod i zemědělství, jedním z nich byl i motor poháněný sluneční energií.

V 19. století nebyl Stirlingův motor příliš vyžadován a to především kvůli své hmotnosti a metalurgickým možnostem, které v té době panovaly. Zájem o tento motor tak utichl až do 20. let minulého století. Roku 1938, však N. V. Philips opět vyvíjet malý Stirlingův motor

o výkonu 200 W. Philips tyto motory používal jako zdroj energie místo běžně používaných spalovacích motorů a to především kvůli tichému chodu tohoto motoru a absenci zapalovací svíčky, která vytváří interferenci rádiových vln a to bylo pro výrobu stolních radiopřijímačů, kterými se Philips zabýval zcela nevyhovující. Při svém bádání se také snažil o zvýšení účinnosti a měrného výkonu. Zjistil, že výhodnější než vzduch, jsou plyny, jejichž molekulová hmotnost je nižší, jako je například helium či vodík.

V padesátých letech minulého století přišel rozvoj výroby materiálů a tím zájem o využití Stirlingova motoru opět stoupl. FFT Group v roce 1968 vytvořila skupinu pojmenovanou United Stirling, která se spolu s dalšími švédskými společnostmi zabývala vývojem zdokonalené verze sériového Stirlingova motoru. K vytvoření této skupiny z velké části přispěla blížící se ropná krize, která vyžadovala motory poháněné jiným palivem, než byl benzín či nafta. Tato společnost použila licenci N. V. Philipse a začala vyvíjet motor, který měl výkon 200 hp a byl určen pro pohon městských autobusů, terénních vozidel a ponorek.

V letech 1969-1970 Philips vyvinul motor pro městské autobusy. Jednalo se o robotickou pohonnou jednotku s čtyřmi válci, každý o zdvihovém objemu 235 cm^3 , který při otáčkách 3000 min^{-1} a středním tlaku 22 MPa dosahoval 200 koňských sil. Při vysokých tlacích měl však motor malou životnost a tak se United Stirling rozhodl pro vývoj vlastního motoru, který označil 4-65. Motor dosáhl už při otáčkách 1500 min^{-1} a středním tlaku 15 MPa stejného výkonu jako motor od společnosti Philips. Díky své komplikovanosti byl motor nákladný na výrobu a tak se společnost Philips společně s United Stirling snažila vyvinout motor, který by nebyl tak nákladný. I přes jejich snahu, se po podrobných výpočtech ukázalo, že i při sériové výrobě 10 000 kusů ročně se cena pohybuje stále 2,5 krát výš než stejně výkonný zážehový motor. [18]

United Stirling pracoval v 70. letech 20. století na vývoji motoru pro pohon osobního automobilu. Vycházel z konstrukce motoru Philips 4-65, po dlouhém vývoji byl motor v roce 1974 použit u automobilu Ford Pinto s automatickou převodovkou. I přes pohodlný a tichý chod automobilu motor u představitelů společnosti Ford neuspěl a do výroby se nedostal. Dalším pokusem o pohon automobilu Stirlingovým motorem byl v roce 1974 Ford Taurus s motorem verze V4X35. Tento automobil byl však poháněn manuální převodovkou a později se ukázalo, že Stirlingův motor má problémy s rychlou změnou výkonu, kterou manuální převodovka potřebuje mnohem více než automatická. Z tohoto důvodu musel být automobil vybaven systémem regulace výkonu, ten však výrobu motoru značně prodražil a i přesto, že automobil uspokojivě splnil všechny jízdní zkoušky, do sériové výroby se s tímto motorem nikdy nedostal.

Princip funkce Stirlingova motoru

Stirlingův motor se skládá ze dvou pracovních prostorů, které mají různou teplotu, v jedné se pracovní médium ohřívá pomocí ohříváku a v druhé ochlazuje pomocí chladiče. Změnami teplot dochází ke změně objemu a tím se Stirlingův motor uvádí do pohybu. Při přechodu tepla z teplé do studené části pracovní médium prochází přes regenerátor. Regenerátor je nejčastěji vyplněn velmi jemnými drátky či plíšky vyrobené z materiálu o dobré tepelné vodivosti a tak pracovní médium při přechodu do teplé či studené části část tepla odevzdá či přebere od generátoru. Tím se významně zvyšuje tepelná účinnost, protože pak není potřeba teplo, které regenerátor přebere ohřívát ohřívákem či dochlazovat chladičem.

Nepracovní část cyklu je překonávána pomocí setrvačnicku. Tento motor můžeme podle konstrukce rozdělit do tří modifikací.

Modifikace Alfa

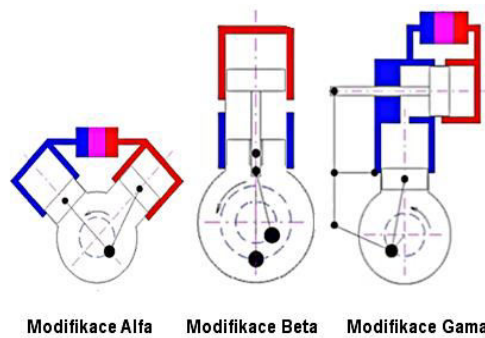
Je tvořena dvěma písty a dvěma válci, přičemž jeden je ohříván a druhý ochlazován. Problém této modifikace je, že potřebuje ke svému chodu velký teplotní rozdíl. Jedná se o nejpoužívanější modifikaci v praxi. Schéma této modifikace je znázorněna na Obr. 12.

Modifikace Beta

Skládá se z jednoho válce, ve kterém se pohybují dva písty, jeden pracovní a druhý je nazývá přeháněcí. Přeháněcí píst není utěsněn a slouží k rychlejšímu přehánění teplého média do studeného a naopak. Oba válce jsou spojeny s klikovým mechanismem, který zajišťuje zpoždění pístu o $\frac{1}{4}$ otáčky. Schéma této modifikace je znázorněna na Obr. 12.

Modifikace Gama

Je podobná modifikaci Beta s tím rozdílem, že u této modifikace jsou dva válce. Válec s pracovním pístem je ochlazován a válec s přeháněcím pístem je z části ochlazován a z části ohříván. Tato modifikace se v praxi moc nepoužívá, ale v modelech se jedná o nejpoužívanější modifikaci. Schéma této modifikace je znázorněna na Obr. 12.



Obr. 12: Schémata modifikací Stirlingova motoru
 Zdroj:[19] <http://stirlingmotor.cz/princip.html>

4.3 Spalovací turbína

Tepelný stroj, který jako pracovní látku používá spaliny vzniklé spalováním paliva. Palivo je spalováno ve spalovací komoře za pomoci kompresorem stlačeného vzduchu. Spalovací turbíny je tedy tvořena především kompresorem, spalovací komorou a plynovou turbínou.

Princip funkce spalovací turbíny

Spouštění spalovací turbíny je řešeno nejčastěji elektrickým motorem. Kompresor je radiální nebo axiální turbokompresor. Přivedený vzduch do kompresoru je stlačován a putuje do spalovací komory. Ve spalovací komoře je dostatečné množství stlačeného vzduchu smícháno s trysky rozprášeným palivem. Tato směs je pak zapálena pomocí zapalovací svíčky.

Hoření směsi paliva se vzduchem probíhá ve spalovací komoře za konstantního tlaku. Spaliny jsou vedeny do rozváděcího ústrojí turbíny, kde v důsledku expanze dochází k nárůstu rychlosti proudu plynu a současně je proud spalin vhodně usměřován na lopatky rotoru turbíny.[18]

Turbína je hřídelem spojená s kompresorem, který zajišťuje průtok nejen vzduchu ale také spalin skrze spalovací komoru a poté i skrze turbínu. Když je výkon pro pohon odebírán přes tuto hřídel tak nárůst zatížení způsobí pokles otáček a tím pádem i menší tlak vzduchu dodávané přes kompresor a s tím spojený menší točivý moment turbíny. Z tohoto důvodu se k pohonu vozidel používá spalovací turbína s dvouhřídelovým uspořádáním. Motor je navíc osazen o jednu hřídel a jednu turbínu. Jedna samostatná turbína je používána pro pohon vozidla a druhá pro pohon kompresoru a spalin, které putují na vstup první turbíny. Tato konstrukce zajišťuje, že i přes zatížení a pokles otáček na první turbíně nejsou ovlivněny otáčky pro pohon kompresoru.

Spalovací turbína v automobilech

První osobní automobil poháněný spalovací turbínou byl v roce 1950 sestaven anglickým konstruktérem automobilky Rover F. R. Bell. Jednalo se o dvoumístné vozidlo s motorem umístěným za sedačkami vozidla. Nasávání vzduchu bylo po stranách vozidla a výfuk byl vyveden v horní zadní části automobilu. K pohonu turbíny bylo možné využít benzín, petrolej nebo naftu. Maximální rychlost byla 140 km/h a maximální otáčky spalovací turbíny byly 50 000 otáček za minutu.[18] Kvůli vysoké spotřebě nebylo vozidlo sériově vyráběno a prototyp automobilu Jet 1 putoval to londýnského Science museum.

V roce 1954 přišla automobilka Fiat se studií sportovního vozu poháněného spalovací turbínou, který nazval Turbina. Motor s dvěma turbínovými kompresorovými stupni měl hnací turbínu, která při 22 000 otáčkách za minutu měla výkon 221 kW, který byl převáděn přes redukční převodovku přímo na zadní kola. Díky skvělé aerodynamice automobilu bylo možné jezdit rychlostí až 250 km/h. Po měsíci zkoušení byl však vývoj Fiatu Turbina ukončen, především z důvodu častého přehřívání motoru a vysoké spotřeby. Nyní ho je možné vidět v turínském automobilovém muzeu.

Na vývoji spalovací turbíny se podílelo také USA a to firmy General Motors a Chrysler. General Motors svůj automobil nazval Firebird a postupně se vyráběl ve třech vývojových řadách. Chrysler pak v roce 1963 ve svém vozidle jako první použil rekuperátor, aby tak zvýšil účinnost spalovací turbíny.

Spalovací turbína se dostala i do motocyklů a to v roce 2000 kdy byl představen historicky první motocykl s tímto pohonem. Spalovací turbína měla výkon 283 kW, motocykl tak dosahoval rychlosti až 365 km/h. S touto rychlostí a také s jeho rekordní cenou, která se vyšplhala na 185 000 \$ si zasloužil zápis do Guinnessovy knihy rekordů. [19]

I přes snahu konstruktérů se však spalovací turbína pro pohon aut neosvědčila a nyní je to jen zajímavá historie.

5 Výhody, nevýhody a budoucí vývoj používání nekonvekčních konstrukcí spalovacích motorů

5.1 Wankelův motor

Výhody

- Díky možnosti velmi dobrého vyvážení motoru protizávažím na hřídeli rotoru má motor klidnější chod, než běžně používaný spalovací motor.
- Menší počet součástí.
- Menší rozměry motoru a tím i menší zastavěný prostor. [m³/kW]
- Nižší obsah oxidů dusíku (NO_x) ve výfukových plynech.
- Jednorotorový Wankelův motor má stejně rovnoměrný chod jako čtyřdobý dvouválcový pístový motor.

Nevýhody

- Problémy s utěsněním spalovacích komor, nízká životnost těsnících elementů na vrcholech rotační části motoru.
- Omezení otáček hřídele na 5000 až 7000 otáček za minutu díky velké kluzné rychlosti radiálních těsnících lišt.
- Pro mazání těsnících lišt se spotřebuje až dvounásobné množství oleje než u klasického čtyřdobého motoru.
- Z důvodu špatné geometrie pístu a tvaru spalovacího prostoru je u tohoto motoru možné dosáhnout pouze malého kompresního poměru. Z toho vyplývá dlouhé prohořívání směsi a nebezpečí vzniku detonačního spalování.
- Díky nízkému kompresnímu poměru také dochází k malé tepelné účinnosti a tím k vyšší spotřebě paliva.
- K tepelným ztrátám a ke snížení tepelné účinnosti dochází také kvůli velkému měrnému povrchu spalovacího prostoru v okamžiku zapálení a spálení hlavní části paliva
- Vysoký obsah uhlovodíků (HC), oxidů uhelnatých (CO) a oxidů uhličitých (CO₂) ve výfukových plynech.

Budoucnost Wankelova motoru

Využití Wankelova motoru v automobilovém průmyslu zajišťovala až do roku 2012 již zmíněná automobilka Mazda. Ta však v roce 2012 prohlásila, že končí s vývojem

Wankelova motoru. Tím se až do dnešní doby zastavila produkce automobilů poháněných Wankelovým motorem. Budoucnost Wankelova motoru tak není úplně jistá, ale i přes to se najdou firmy či jednotlivci, kterým Wankel nedá spát. Například Tyson Gravin si v roce 2016 postavil Wankelův motor s dvanácti rotory. Motor je určen pro pohon jeho závodního člunu. Má tři bloky každý o čtyřech rotorech a jsou uspořádané do písmene Y. Obsah motoru je 15,7 litru, má výkon okolo 1030 kW a točivý moment je 1125 Nm. Díky kompaktní stavbě Wankelova motoru není tento motor větší než běžný osmiválcový motor s uspořádáním do písmene V.

S dalším budoucím využitím Wankelova motoru přišla firma Liquid Piston. Jejich motor nazvaný X Mini o velikosti 70 cm³ váží přibližně 1,8 kilogramů a velikostí se vejde do lidské dlaně. Výkon motoru je při 10 000 otáčkách za minutu celých 2,2 kW, což je vzhledem k jeho velikosti úctyhodné. Nyní je motor jen v testovací fázi použit v motokáře, vývojem by však firma měla dosáhnout ještě většího výkonu. Využit by měl tento motor být především v sekáčkách, generátorech či mopedech ale také v bezpilotních letounech, dronech nebo robotech pro využití v armádě. Ta je také velkým podpůrcem tohoto vývoje. Firmě poskytla na vývoj dotaci 1 000 000 dolarů. [20]

5.2 Stirlingův motor

Výhody

- Z důvodu vnějšího přívodu tepla je možné využít paliva v jakémkoliv skupenství.
- Odpadní teplo získané z technologických procesů, geotermální energii nebo solární energii lze převést na elektřinu a to s velmi rozumnou účinností.
- Motor má vyšší tepelnou účinnost než běžný spalovací motor a při správné konstrukci spalovacího systému a vnějšímu spalování produkuje nižší emise škodlivin.
- Nižší náklady na servis a nulová spotřeba oleje.

Nevýhody

- Pro výrobu je kvůli odborné montáži potřeba vysoce kvalifikovaných pracovníků, použití technologií, které nejsou vhodné pro sériovou výrobu a také nutnost speciálních materiálů. S těmito požadavky na výrobu souvisí vysoké náklady.
- Pomalá regulace výkonu a vyšší měrná hmotnost.
- Nižší tepelná účinnost.

Budoucnost Stirlingova motoru

V současnosti je Stirlingův motor používán především k výrobě tepelné či elektrické energie. Současné využívání je velice slibné i pro budoucnost avšak z důvodu vyšších nákladů na výrobu než u běžného spalovacího motoru je potřeba uvážlivě volit kde bude Stirling použit.

Jako příklad můžeme použít malou kogenerační jednotku firmy Whispergen, která má elektrický výkon 1,2 kW a tepelný výkon 8-10 kW. Pracuje s účinností 10-13% a díky svým parametrům je ideální pro využití v domácnostech. Díky nízké hlučnosti a malým rozměrům je vhodná pro instalaci například do kuchyňské linky.

Další využití pro Stirlingův motor našla švédská společnost Kockum AB. Ta se v posledních letech zabývá vývojem a výrobou vysoce výkonných Stirlingových motorů pro pohon ponorek. Motor s označením V4-235 má výkon 75 kW a jeho cena dosahuje i 1,5 milionu korun, cena však není pro toto využití zcela klíčová, tím jsou spíše parametry motoru. Firma Kockum využila speciálně pro ponorky systém na bázi Stirlingova motoru. AIP systém (Air Independent Propulsion System) je založen na spalování vodíku za použití syntetického vzduchu, který je připravován v tlakových lahvích. Z tohoto důvodu lze motor provozovat i pod vodní hladinou, přičemž produktem spalování je pouze vodní pára a ta je po kondenzaci ukládána v zásobníku. Voda je pak při plavbě na hladině elektrolyzou opět rozkládána na vodík a kyslík pomocí dieselaagregátu, který současně dobíjí akumulátory. Ty zásobují elektromotor elektrickou energií, který je používán jako hlavní pohon. Tento systém tak umožňuje provozovat ponorku pod vodou několikanásobně déle než běžně používaný dieselaagregát s akumulátory.

5.3 Spalovací turbína

Výhody

- Nízký obsah emisí škodlivin a to bez použití přídavných zařízení.
- Klidný chod a malá nevyváženost motoru.
- Malé nároky na kvalitu paliva umožňují vícepalivový provoz.
- Lepší průběh stacionárního točivého momentu.
- Lehká startovatelnost a dlouhá doba intervalu pro údržbu.

Nevýhody

- Vysoká měrná spotřeba paliva a s tím spojená nízká tepelná účinnost.
- Vysoké výrobní náklady.
- U jednohřídelové turbíny pokles výkonu i točivého momentu při nízkých otáčkách motoru.

Budoucnost Spalovací turbíny

V dnešní době jsou spalovací turbíny poměrně hojně využívány. Turbíny velkých výkonů slouží pro pohon elektrických generátorů, středních výkonů jako pohon vojenských či dopravních prostředků. Nejčastěji se využívá v letectví jako pohon letounů, ale také pohání tanky, lokomotivy či některé automobily. Jako mikroturbíny, které mohou nahradit běžné spalovací motory, jsou označovány turbíny s výkony několika set kilowatt. Pracují s otáčky až $180\,000\text{ min}^{-1}$, tak vysoké otáčky jsou nezbytné k tomu, aby motor mohl dosahovat tak vysokých výkonů. Spalovací turbíny jsou stále ve fázi vývoje a výzkumu, ale i přes to jsou schopny dosahovat vysokých výkonů a účinností. Z tohoto důvodu, si dle mého názoru nemusíme strachovat, že by v budoucnosti nenašly uplatnění. V oblasti energetiky jsou tyto motory vyráběny světovými firmami, jako jsou Siemens, General Electric či Alstom. Motory používané pro pohon letadel pak vyrábí firmy Rolls Royce nebo Pratt & Whitney. Jako českého zástupce můžeme jmenovat První brněnskou strojírnou Velká Bíteš, která se také zabývá výrobou expanzních turbín. [21]

6 Závěr

Tato bakalářská práce pojednává o motorech speciálních konstrukcí, které běžně nejsou konvenčně používány.

V úvodu práce je pozornost věnována vývoji a historii spalovacího motoru. Prvním impulsem pro spalovací motor byl parní stroj, který započal možnost jiné dopravy, než byla v té době zvykem. Spalovací motor tak procházel dlouhá léta výzkumem a mnoho lidí se snažilo přijít s pohonem, který by byl pro lidstvo nejpříjemnější.

Další kapitola pojednává o konstrukci a rozdělení spalovacích motorů. Je zde podrobně popsáno rozdělení spalovacích motorů podle několika atributů, jako je například přeměna mechanické energie, počet dob pracovního cyklu u pístových spalovacích motorů a podobně. Dále je podrobně popsáno i rozdělení pístových spalovacích motorů z konstrukčního hlediska. Například podle způsobu chlazení, podle konstrukce rozvodových mechanismů nebo také podle počtu a uspořádání válců.

Další kapitola je už věnována pouze vybraným motorům speciálních konstrukcí, které nejsou běžně používány v sériové výrobě automobilů. Jedná se konkrétně o Wankelův motor, Stirlingův motor a také spalovací turbínu. U každého motoru je čtenář podrobně seznámen s historií vzniku, vývojem a také principem funkce a konstrukcí těchto motorů. U všech těchto motorů byl zájem je prosadit i do automobilového průmyslu, u některých se to dařilo lépe a jako pohon vozidla se dostaly i do sériové výroby, ale některým se do sériové výroby vůbec dostat nepodařilo. Důvody byly různé, jednalo se například o vysoké náklady na výrobu, častou poruchovost nebo vysoký obsah škodlivých emisí. V dnešní době tak v sériové výrobě automobilů nefiguruje ani jeden z nich. I přesto ale není těmto motorům konec, jejich přednosti lákají k neustálému vyvíjení a zdokonalování jejich nevýhod. Některé se běžně využívají v jiných odvětvích a pro některé z nich, konkrétně pro Wankelův motor hledají využití soukromníci či menší firmy.

Budoucí a současné využití je v práci popsáno v další kapitole.

Stirlingův motor se hojně využívá pro výrobu tepelné či elektrické energie. S tímto využitím se může počítat i do budoucna, ale díky vysokým nákladům se musí zvážit, zda je pro konkrétní využití motor výhodný. Výjimkou je využití Stirlingova motoru pro pohon ponorek, kde na náklady na výrobu není téměř brán zřetel.

Spalovací turbína našla rozsáhlé využití jako pohon různých zařízení, od elektrických generátorů přes tanky, lokomotivy až k letounům, kde je její využití nejrozšířenější.

Dle mého názoru jsou tyto motory velice zajímavé a myslím si, že budoucí využití mají a stojí za to se zabývat jejich vývojem a rozšíření jejich budoucího využití.

Seznam použité literatury

- [1.] REMEK BRANKO *Automobil a spalovací motor Historický vývoj*. Grada publishing, a.s., první vydání, Praha 2012, 160 stran, ISBN 978-80-247-3538-2
- [2.] JAMES A WATKINS . *Soapboxie* [online]. 5.5. 2005,
<<https://soapboxie.com/economy/Capitalism-Definition>>
- [3.] JAN HROMÁDKO, JIŘÍ HROMÁDKO, VALDIMÍR HÖNIG, PETR MILER
Spalovací motory. Grada publishing, a.s., první vydání, Praha 2011, 296 stran
- [4.] *Parní stroj* [online]. [cit-18-12-2016] <<http://www.parnistroj.czweb.org/schema.html>>
- [5.] DAVID ČÁPKA. *Itnetwork* [online]. [cit-3-1-2017]
<<http://www.itnetwork.cz/maturitni-otazka-fyzika-idealni-plyn-a-deje-v-plynech>>
- [6.] *Čez* [online]. [cit-10-1-2017]
< https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/ropa_2.html>
- [7.] *Raketové pohonné hmoty* [online]. [cit-13-1-2017]
<<http://kattarit.vyrobce.cz/rak.poh.hmot.htm>>
- [8.] STANISLAV PEKÁREK *Technologie oprav I*. Střední škola technická a zemědělská NOVÝ JÍČÍN, 2016, ISBN 978-80-88058-23-6
- [9.] STANISLAV PEKÁREK *Chlazení motorů, údržba, opravy chladících souprav* [online]. [cit-17-1-2017] <<https://publi.cz/books/160/14.html>>
- [10.] *Autoznanosti* [online]. 27.2 2011 [cit 28-1-2017]
<<http://www.autoznanosti.cz/index.php/motor/36-ventilove-rozvody-zakladni-rozdeleni.html>>
- [11.] STANISLAV PEKÁREK *Ventilové rozvody čtyřdobých spalovacích motorů* [online]. [cit-17-1-2017] <<https://publi.cz/books/160/12.html>>
- [12.] *Autoznanosti* [online]. 27.2 2011 [cit 28-1-2017]
<<http://www.autoznanosti.cz/images/stories/motor/Desmopic.jpg>>
- [13.] KURT ERNST *Hemmings Car of Futures Past* [online]. 19.12 2013, 2017 [cit-5-2-2017] <<https://www.hemmings.com/blog/index.php/2013/12/19/cars-of-futures-past-1964-1967-nsu-spider/>>
- [14.] MARK WAN *Autozine, NSU RO 80* [online]. 1977-2002 [cit-5-2-2017]
< <http://www.autozine.org/Archive/NSU/classic/Ro80.html> >
- [15.] JOSEF KAMEŠ *Speciální motorová vozidla Část: Spalovací motory*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, první vydání, Praha 2002, 107 stran, ISBN 80 213 0895 8

- [16.] *NFS* [online]. [cit-7-2-2017] <<http://n-f-s.wgz.cz/rubriky/mazda-7/motor>>
- [17.] *Autoznanosti, Wankelův motor* [online]. 4.12 2008 [cit 7-2-2017]
<<http://www.autoznanosti.cz/images/stories/motor/Desmopic.jpg>>
- [18.] JAN HROMÁDKO *Speciální spalovací motory a alternativní pohony*. Grada publishing, a.s., první vydání, Praha 2012, 160 stran, ISBN 978-80-247-
- [19.] *Stirlingův motor* [online]. 2010-2016 [cit 20-02-2017]
<<http://stirlingmotor.cz/princip.html>>
- [20.] *Liquid Piston* [online]. 2017 [cit 01-03-2017]
<<http://liquidpiston.com/technology/x-mini-gasoline/>>
- [21.] MIROSLAV BUKÁČEK *Spalovací turbíny*. Brno 2014. 46 stran. Bakalářská práce na Fakultě strojního inženýrství, Energetický ústav na Vysokém učení technickém v Brně. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing Jiří Pospíšil, Ph.D.

Seznam obrázků

Obr. 1 Parní stroj Jamese Watta (1796)

Obr. 2 Schéma motoru s vnějším spalováním

Obr. 3 Schéma dvoudobého zážehového motoru

Obr. 4 Schéma čtyřdobého zážehového motoru

Obr. 5 Schéma samočinného (termosifonového) chlazení motoru kapalinou

Obr. 6 Schéma kapalinového chlazení s nuceným oběhem

Obr. 7 Schéma ventilových rozvodových mechanismů

Obr. 8 Schéma Desmodromického rozvodu

Obr. 9 NSU Spider

Obr. 10 NSU RO80

Obr. 11 Pracovní proces Wankelova motoru

Obr. 12 Schéma modifikací Stirlingova motoru