



Zemědělská
fakulta
Faculty
of Agriculture

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Bakalářská práce

Vývoj a konstrukce spalovacích motorů - rešerše

Autor práce:

Josef Fousek

Vedoucí práce:

Ing. Antonín Dolan, Ph.D.

České Budějovice
2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Josef FOUSEK**
Osobní číslo: **Z18220**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **ZDTb-17 – specializace Dopravní a manipulační technika**
Téma práce: **Vývoj konstrukcí spalovacích motorů – rešerše**
Zadávající katedra: **Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je vyhledání a vyhodnocení vzniku a vývoje konstrukcí spalovacích motorů a odpověď na otázky:

1. Jaké jsou hlavní etapy vývoje spalovacích motorů?
2. Jaké jsou vývojové trendy v konstrukcích spalovacích motorů?

Díličí cíle práce:

1. Zjistit vznik a vývoj konstrukcí spalovacích motorů.
2. Přehledně ukazatele zpracovat.
3. Odpověď na otázky z cíle této práce.
4. Výsledky zhodnotit a uvést závěry pro praxi.

Rozsah pracovní zprávy: 40 stran
Rozsah grafických prací: dle potřeby
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam doporučené literatury:

BAUER F., SEDLÁK P. a ŠMERDA T. (2006): Traktory, 1. vyd. Praha: Profi Press, 192 s. ISBN 80-867-2615-0.
BAUER F. (2013): Traktory a jejich využití. Praha: Profi Press, 2. vydání, 223 s., ISBN 978-80-86726-52-6.
SAILER J., KAVKA M., KAVKA P., KAVKA P. (2008): Influence of using time of selected agricultural machines and tractors on residual market price, repair costs, and annual utilisation. Research in Agricultural Engineering, roč. 54: s. 199-207. ISSN 1212-9151.
SINGH K., MEHTA C. R. (2015): Decision Support System for Estimating Operating Costs and Break-Even Units of Farm Machinery. Ama-Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America, Publisher: Farm Machinery Industrial Research Corp., 1-12-3 Dai-Ichi Amai BUILDING 2F, Kanda Nishikicho, Chiyoda-Ku, Tokyo, 101-0054, Japan, 46 (1), p. 35-42, ISSN: 0084-5841.

Omezeně internetové zdroje:

<https://scholar.google.cz/>
https://books.google.com/advanced_book_search
<http://www.elsevier.com/online-tools/scopus>

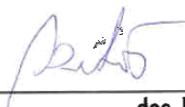
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Antonin Dolan, Ph.D.
Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Datum zadání bakalářské práce: 14. února 2020
Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2021

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky
Studentská 1888, 370 05 České Budějovice
LS.



prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan



doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
vedoucí katedry

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá spalovacími motory a jejich provedeními od prvních motorů s vnějším spalováním, po moderní motory se spalováním vnitřním.

Klíčová slova: spalovací motor; kliková hřídel; píst; ojnice; ventily

Abstract

This bachelor thesis deals with internal combustion engines and their designs from the first engines with external combustion to modern engines with internal combustion.

Keywords: internal combustion engine; crankshaft; piston; connecting rod; valves

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Antonínu Dolanovi, Ph.D., za pomoc a vedení během psaní této bakalářské práce.

Obsah

Úvod.....	8
1 Literární přehled.....	9
1.1 Hlavní etapy vývoje spalovacích motorů	9
1.2 Vývojové trendy v konstrukci spalovacích motorů.....	9
1.3 Vývoj spalovacích motorů.....	10
1.3.1 Počátky úvah o využití páry k pohonu strojů.....	10
1.3.2 Skutečný počátek éry využití páry k pohonu strojů.....	10
1.3.3 Počátky vývoje zážehových spalovacích motorů.....	13
1.3.4 Počátky vývoje vznětových spalovacích motorů	15
1.3.5 Vývoj během meziválečného období.....	16
1.3.6 Vývoj během druhé světové války.....	16
1.3.7 Vývoj po válce až do 70. let.....	24
1.3.8 70. léta až konec tisíciletí.....	27
1.3.9 2000 až současnost.....	35
2 Cíl práce	40
3 Metodika	41
4 Diskuze.....	42
Závěr	44
Seznam použité literatury.....	45

Úvod

Spalovací motor je stroj přeměňující tepelnou energii na energii mechanickou pomocí spalovacího procesu, během kterého spalováním paliva ve spalovací komoře, nebo komorách vytváří tlak, který pohybuje mechanickými částmi stroje a tím vykonává mechanickou práci. Palivo neboli spalovací médium může být jak tuhé, tak kapalné a plynné, záleží na typu stroje a většinou i na jeho stáří. Spalovací motory se vyvíjely od rozmachu během průmyslové revoluce v 19. století a jejich vývoj stále pokračuje.

1 Literární přehled

1.1 Hlavní etapy vývoje spalovacích motorů

- Počátky úvah o využití páry k pohonu strojů,
- Skutečný počátek éry využití páry k pohonu strojů,
- Počátky vývoje zážehových spalovacích motorů,
- Počátky vývoje vznětových zážehových motorů,
- Vývoj během meziválečného období,
- Vývoj během druhé světové války,
- Vývoj po válce až do 70. let,
- 70. léta až konec tisíciletí,
- 2000 až současnost (Remek, 2012).

1.2 Vývojové trendy v konstrukci spalovacích motorů

Během počátku vývoje byl hlavní cíl konstruktérů stvořit fungující prototyp spalovacího motoru, přičemž spotřeba a tepelná účinnost byly až na druhém místě. S prvními prototypy začal závod ve vyšší efektivitě a nižší spotřebě motorů, ovšem cílem nebyla ekologie, ale spíše použitelnost bez nutnosti neustálého zásobování velkým množstvím paliva. Během jak první i druhé světové války se mocnosti pokoušely získat technickou výhodu nad protivníkem pomocí motorizované bojové techniky, do jejíhož vývoje investovaly značné úsilí a prostředky. Výsledkem tak byl i vývoj spalovacích motorů, který přinesl výkonné varianty, schopné pracovat i v náročných podmínkách na bojišti. Po druhé světové válce následovala studená válka, která nutila proti sobě stojící mocnosti dále vyvíjet technologie. Rozvoje se během tohoto období dočkala i osobní automobilová doprava, a tak na rýsovacích prknech automobilek vznikaly motory, které měly za cíl být natolik jednoduché, aby je šlo vyrábět po statisících kusech, zároveň nabídly přijatelné rozměry pro osobní vozy a měly přijatelnou výdrž. Během druhé poloviny 20. století začaly sílit hlasy pro převzetí zodpovědnosti za dopad činnosti člověka na přírodu i na zdraví jeho samotného. Státy i automobilky začali směřovat trend vývoje do vyšší ekologičnosti motorů a jejich nižší spotřebě. Od konce tisíciletí až po současnost trend snížení spotřeby a dopadu na planetu a zdraví člověka pokračuje, spalovací motory se zefektivňují a používají nejnovější technologie pro snížení emisí z provozu (Remek, 2012).

1.3 Vývoj spalovacích motorů

1.3.1 Počátky úvah o využití páry k pohonu strojů

První zmínky o spalovacích motorech s vnějším spalováním, které nazýváme parními motory pochází již z 15. století od Leonarda Da Vinci. Jedná se ovšem pouze o studium možností využití páry jako média pro konání mechanické práce. V roce 1629 předvedl funkční model parní turbíny Ital Giovanni Branca. Dalšími, kteří se zabývali využitím a konstrukcí parního stroje byl Isaac Newton, který formuloval základní principy pro využití parního stroje a francouzský fyzik Denis Papin, který roku 1688 sestrojil ohňový atmosférický stroj (Remek, 2012).

1.3.2 Skutečný počátek éry využití páry k pohonu strojů

Za skutečný počátek rozmachu a éru parních strojů, a tedy i spalovacích motorů, lze považovat 19. století, kterému se přezdívá století páry. Parní stroje se díky společenským změnám a rozmachu průmyslu rozšířily do dopravy i průmyslu. Dalším vynálezcem, který se již v 18. století věnoval parním strojům, byl James Watt, který se věnoval vylepšování parního stroje. Roku 1769 představil první samočinně pracující dvojčinný svislý vahadlový parní stroj. Tento stroj byl dvojčinný, ale zůstal dvoudobý. Práci ale konal přetlak páry, a proto se již tento stroj dá označovat jako parní stroj. Watt své stroje nadále vylepšoval a vyvíjel. Stroj pracoval na principu ohřátí vody, která se mění na páru, jenž je vpuštěna kohoutem do válce, čímž vytlačí píst do horní polohy. Kohout je následně uzavřen a otevře se kohout přívodu studené páry do válce, což způsobí kondenzaci páry a snížení tlaku pod pístem, který je přetlakem atmosférického tlaku a vlastní vahou tlačěn dolů a mechanismus na něj napojený dělá práci. Kondenzát je vypuštěn kohoutem a cyklus se opakuje. Stroj se nazývá atmosférický, jelikož práci koná atmosférický tlak vzduchu. Stroj je jednočinný. Využití našel stroj v hornictví, kde poháněl pumpy pro odčerpávání vody. Stroj byl velký a těžký a potřeboval trvalou obsluhu. Jeho přerod ve stroj parní trval přes 50 let. Firma Boulton-Watt se stala úspěšnou a vyráběla parní stroje pro průmyslové využití. Na využití v dopravě ale nedošlo. Roku 1769 vyrobil francouzský voják Nicolas Joseph Cugnot tříkolový tahač poháněný párou (viz obrázek 1.1). O Wattově stroji nejspíše nevěděl a využíval poznatky z výzkumu Papina. Stroj vážil 2,5 tuny, uvezl 4 tuny a během testů dosáhl rychlosti $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, ovšem byl značně nestabilní. Vůz měl být využit pro tahání těžkého dělostřelectva v terénu. Celé ústrojí pohonu se nacházelo u předního kola a během zatáčení se pohybovalo spolu s kolem. Stroj byl poháněn pomocí svou rohatkových mechanismů. Zajímavostí je, že tento

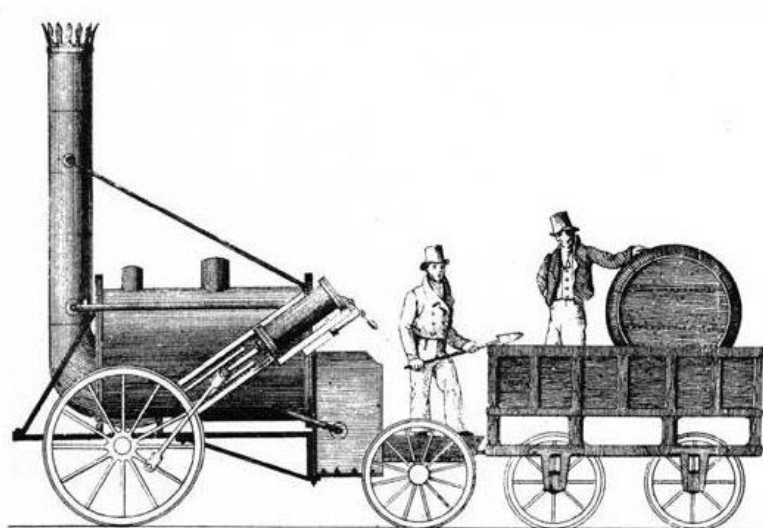
stroj způsobil historicky první doloženou dopravní nehodu, která se stala během předvádění stroje v Paříži. Stroj je dodnes vystaven v muzeu řemesel v Paříži (Remek, 2012).



Obrázek 1.1: Cugnotův parní stroj, (commons.wikimedia.org/, 2005)

Francouzský vývoj parních strojů poté díky napoleonským válkám na sto let utlumil a hlavní vývoj stroje probíhal v Anglii. Ve Francii se další stroje začaly objevovat až v druhé polovině 19. století, přičemž parní éra skončila na přelomu 19. a 20. století. Francie disponovala dvěma firmami, které byli významnými výrobci parních vozidel. Jednalo se o firmu Amédée Bolée z Le Mans, která postavila roku 1873 vůz poháněný parním strojem V2, díky jemuž i při váze 4 800 kg dosáhl rychlosti 40 km.h⁻¹. Dalším průkopníkem využití parního stroje pro dopravu byl Leon Serpollet, který založil firmu Société des Moteurs Serpollet frères et Cie v Paříži. Byl nadšeným automobilistou a držitelem prvního řidičského průkazu vydaným v Paříži. Jeho firma vyráběla vozidla od roku 1884 do roku 1907 a o jeho parní motory měl zájem i Armand Peugeot a zakoupil od Serpoletta několik exemplářů. Později šel ovšem cestou benzínových motorů. Do konce 19. století začalo masové využití parních strojů nejen pro průmysl, ale i pro dopravu. Za otce železnice a lokomotivy je považován George Stephenson, který v roce 1814 sestrojil parní lokomotivu, jenž utáhla 30 vozů s nákladem 90 tun rychlostí 19 km.h⁻¹. Díky Stephensonovi byl v Anglii uzákoněn rozchod kolejnic 56,5 palce (1 435 mm), který je dodnes nejrozšířenějším na světě. Mezi další jeho úspěchy se řadí vítězství v závodě lokomotiv se svojí lokomotivou

nazvanou Rocket (Raketa), která dosahovala maximální rychlosti $46 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (viz obrázek č. 1.2), (Remek, 2012).



Obrázek 1.2: Lokomotiva Rocket, (en.wikipedia.org/wiki/, 2005)

Rozšíření se dočkala i doprava pomocí automobilů poháněných parním strojem, či parních dostavníků. Parní automobily se vyráběly v různých variantách až do 30. let 20. století, jednalo se ovšem hlavně o nákladní typy. Díky rozmachu parních vozidel se začaly budovat zpevněné šotolinové vozovky, jelikož na obyčejné cesty byly stroje moc těžké. Během první světové války byly parní stroje využívány v tahačích těžké výzbroje a děl. Lokomobily, které byly využívány i během zmíněné první světové války byly primárně určeny na práci na polích. Systém orby pracoval s dvěma lokomobilami, které se nacházely na opačných stranách pole, přes které měli mezi sebou natažené lano s připojeným pluhem, který pomocí navíjení lokomobilami prováděl orbu. Orba prováděná lokomobilami byla kvalitou velmi efektivní, ovšem logistikou a obsluhou představovala problém. Další nevýhodou byla špatná proveditelnost orby v nepravidelném terénu. Lokomobily byly nahrazeny traktory, které již provádí orbu zapřaženým pluhem ve stroji. Lokomobily se také využívaly k pohonu generátorů a strojů jako byly mlátičky obilí. Na venkově a v chudších zemích byl ovšem stále standart provádění práce v zemědělství pomocí zvířat a lidské práce, jelikož náklady na pořízení a provoz lokomobil byly na svou dobu vysoké, podobně jako dnes náklady potřebné k pořízení traktorů a jiné techniky. Vzhledem k povaze tehdejší funkce zemědělství, kdy neexistovaly velké korporace (dnes zemědělská družstva), nemohli obyčejní sedláci zaplatit takové stroje a rozšířit je (Remek, 2012).

1.3.3 Počátky vývoje zážehových spalovacích motorů

O patent na motor poháněný svítiplynem zažádal roku 1786 francouzský vynálezce Philippe Lebon, který experimentoval s plynem získaným koksováním dříví. Žádný doložený sestrojený motor ovšem nebyl zaznamenán. Švýcar Issac de Rivaz získal roku 1807 patent na vozidlo poháněné výbušným motorem, který postavil a veřejně vyzkoušel. Motor měl válec, ve kterém byla elektricky zapalována směs svítiplynu a vzduchu, jež výbuchem vytlačil píst vzhůru. Píst pak svojí vahou a atmosférickým tlakem cestoval zpět dolů. Píst ozubeným hřbetem poháněl soukolí, které přenášelo pohyb na kola vozu. Další vývoj ovšem nepokračoval. Úspěchu dosáhl až Francouz Jean Joseph Etienne Lenoir, který dovedl výbušné motory k praktickému využití. Roku 1859 získal patent na motor poháněný svítiplynem a rok na to začal stavět vůz poháněný tímto motorem. Vůz roku 1863 vykonal jízdu z Paříže do jejího předměstí a zpět. Zpevněná cesta měřila 18 km a vůz se po ní pohyboval rychlostí 6 km/h^{-1} . Plynové motory se ovšem vyvíjeli i v Německu, kde vynálezce N. A. Otto spolu s inženýrem E. Langerem, založili v Kolíně roku 1864 první továrnu na motory na světě, dnešní DEUTZ AG. Oba vynálezci společně pracovali na koncepci čtyřtakového motoru, na který přišel Otto. Svůj jednoválcový čtyřtakový motor představili na pařížské světové výstavě roku 1867. Motor byl sice hlučnější a méně spolehlivý než konkurence, ovšem disponoval pouze třetinovou spotřebou plynu. Od roku 1872 tento motor sériově vyráběli (viz obrázek 1.3), (Hromádko, 2011).



Obrázek 1.3: Ottův motor, (gasenginemagazine.com, 2016)

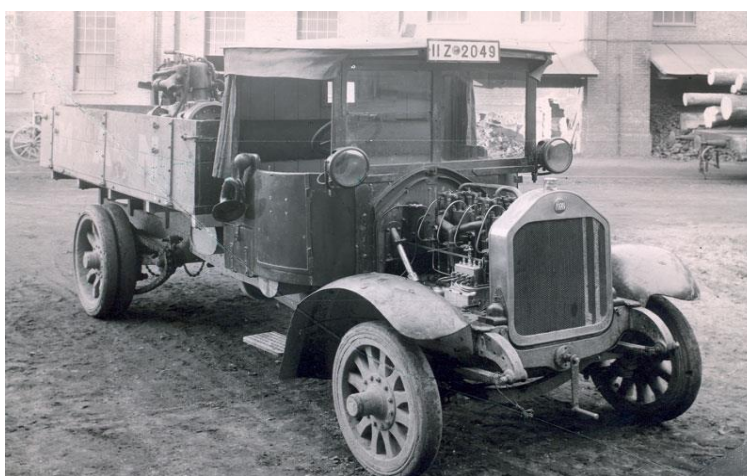
Motor pracoval při 60 otáčkách za minutu a podle jeho velikosti disponoval výkonem do 2,2 kW. Zapalování nebylo řešeno elektricky, ale pomocí plynového plamenu odkrývaného šoupátkem ve vhodný okamžik. Otto měl s Daimlerem neshody, a proto se rozdělili a založili samostatné firmy. Zajímavostí je, že ve firmě působil i Wilhelm Maybach, který se po rozdělení firmy připojil k Daimlerovi. Otto v roce 1876 vyrobil čtyřtákní motor se zvýšeným kompresním poměrem, který si nechal patentovat. Otto svoje motory nadále vylepšoval, zdokonalil elektrické zapalování a vynalezl nízkonapěťové magneto, díky kterému bylo možné spalovat kapalná paliva a učinit tak motor mobilním. Dvoudobý spalovací motor, který Otto nikdy nedokázal vynalézt se podařilo zkonstruovat v roce 1879 L. Benzovi. Benz sestrojil tříkolové vozidlo, které se mu po několika vývojových verzích podařilo patentovat a získat s ním úspěch. Vozidlo bylo poháněno čtyřtákním motorem, který byl zatím stále lepší než Benzovo dvoutákní (Hromádka, 2011).

Dvoudobý spalovací motor, který Otto nikdy nedokázal vynalézt, se podařilo zkonstruovat v roce 1879 L. Benzovi. Benz sestrojil tříkolové vozidlo které se mu po několika vývojových verzích podařilo patentovat a získat s ním úspěch. Vozidlo bylo poháněno čtyřtákním motorem, který byl zatím stále lepší než Benzovo dvoutákní a ve kterém docházelo k zapalování elektrickou jiskrou, která zapalovala látku ligroin, neboli lehký benzín, který byl odpadní látkou při výrobě petroleje. Motor pracoval na bázi benzinových par, které se získávaly zahříváním nádržky s benzínem výfukovými plyny a směšovány se vzduchem byly tak, že vzduch nasávaný do válce motoru byl prosáván přes nádržku s benzínem. Chlazení válce motoru zajišťovalo odpařování vody. Daimler chtěl malý výkon motorů vyvážit vyššími otáčkami motoru. Překážku v podobě nízkonapěťového elektrického zapalování překonal pomocí žhavicí trubičky umístěné ve stěně hlavy válce, která byla z jedné strany nahřívána plamínkem. Během komprese byla směs natlačena do trubičky a v té se teplem vznítla. Otáčky motoru pomocí tohoto řešení vzrostly až na 900 min^{-1} . Tento motor byl roku 1885 zabudován do stroje, který je dnes známý jako první motocykl. Motor byl umístěn vertikálně uprostřed stroje. Motor měl povrchový karburátor a zapalování žhavicí trubičkou. Výfukový ventil byl ovládán mechanicky, zatímco vstup směsi do válce otevíralo sání pístu. Benz uvedl roku 1896 do provozu i první plochý motor, který nazval boxermotor. Další zvýšení otáček motoru zaznamenal francouzský hrabě de Dion, který vymyslel bateriové odtrhovací zapalování. Motor pak dosahoval 3 000 otáček za minutu pomocí jednoho válce. Významný průlom v technologii

zážehového motoru zaznamenal Němec Wilhelm Maybach, který vynalezl první karburátor, jenž využíval podtlak vytvořený v zúženém místě sacího potrubí k tvorbě směsi paliva a vzduchu. Palivo v kapalně formě podtlak vysával z odměřovací trysky. Konstrukce vozidel s pohonem zážehového motoru probíhala i na území současné České republiky, kde roku 1897 vznikl automobil Tatra Präsident, který poháněl motor plochý dvouválec Benz o obsahu 2,714 l a otáčkách motoru 600 min^{-1} , který poskytoval výkon 3,6 kW (Hromádko, 2011).

1.3.4 Počátky vývoje vznětových spalovacích motorů

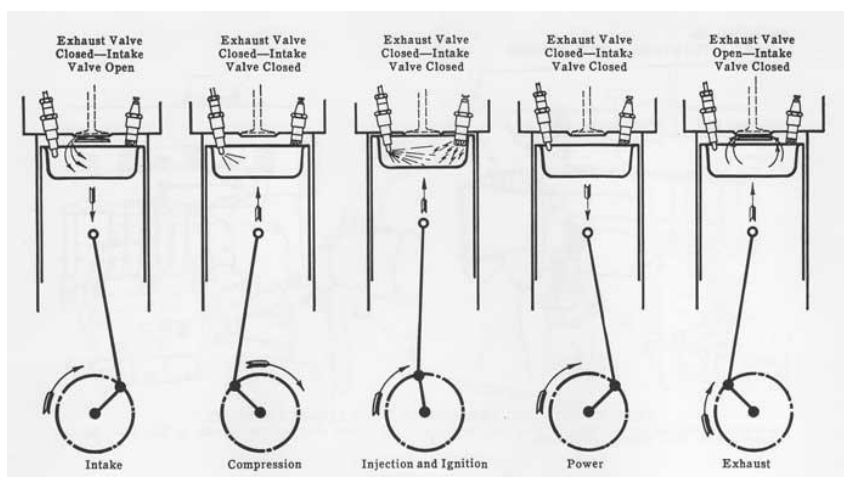
Za otce vznětového motoru je považován Rudolf Diesel. Cílem bylo vytvořit motor s účinností 70 až 80 % s tlakem od 25 do 35 MPa. První prototyp vznikl roku 1893 a využíval jako palivo uhelný prach, o tři roky později vznikl prototyp s vodním chlazením a vstřikováním benzínu, ten ale krátce na to vystřídal čištěný petrolej, s nímž motor pracoval klidněji. Za další úkol si Diesel dal snížit spotřebu paliva, což se povedlo třetímu prototypu motoru. Motor měl účinnost 26 % a výkon 14,7 kW při 170 otáčkách za minutu. Motor byl ale rozměrný, těžký a disponoval složitým vysokotlakým kompresorem. Po náhradě kompresoru vstřikovacím čerpadlem zanikla většina neduhů motoru včetně rozměrů a hmotnosti a mohlo tedy dojít k užití ve vozidle (viz obrázek 1.4), jelikož do té doby se mohl motor používat jen na lodích. Roku 1910 si James Kechni, ředitel anglické továrny Vickers nechal patentovat hydraulické vstřikování vznětových motorů. S tímž řešením přichází i Robert Bosch, který s ním experimentuje v roce 1921. V roce 1927 začala sériová výroba těchto vstřikovacích čerpadel, která přinesla průlom v oblasti vznětových motorů (Hromádko, 2011).



Obrázek 1.4: První nákladní automobil osazený vznětovým motorem od automobilky MAN z roku 1924, (automotiveworld.com/, 2014)

1.3.5 Vývoj během meziválečného období

S myšlenkou přímého vstřikování benzínu přišel švédský inženýr Jonas Hesselman již v roce 1925, kdy sestrojil hesselmanův motor (viz. obrázek 1.5), jenž byl hybridem mezi zážehovým a vznětovým motorem. Motor byl revoluční v tom, že se jednalo o první benzínový motor s přímým vstřikováním paliva, které do té doby fungovalo pouze na motorech vznětových, které využívali hydraulické vstřikování vyráběné firmou Bosch, či Vickers. Motor využíval vstřikování benzínu přímo do válce, po zahřátí motoru byla jako paliva využita nafta, či kerosin, jedná se tak o více palivový motor. Hesselmanův motor se stal sériově vyráběným během 20. a 30. let dvacátého století, a to u automobilek Volvo, Scania a Tidaholms Bruk, které motor osadily do svých nákladních vozidel a autobusů. Scania nahradila hesselmanův motor za dieselový od roku 1936 a Volvo až od roku 1947. Motor měl výhodu v nižší spotřebě, než dosahovaly benzínové motory podobného výkonu a možnosti využití více paliv. Další výhodou byla nižší váha a rozměry oproti dieselovým motorům té doby. Tuto výhodu hesselmanův motor ztratil s příchodem lepšího zpracování materiálů a rozvoji v metalurgii. Nevýhodou tohoto typu motoru byly nízké komprese, které způsobovaly problémy se zahřátím motoru, což způsobovalo nedokonalé spalování paliva, vysokou kouřivost a rychlému opotřebením zapalovacích svíček (Hromádka, 2011).

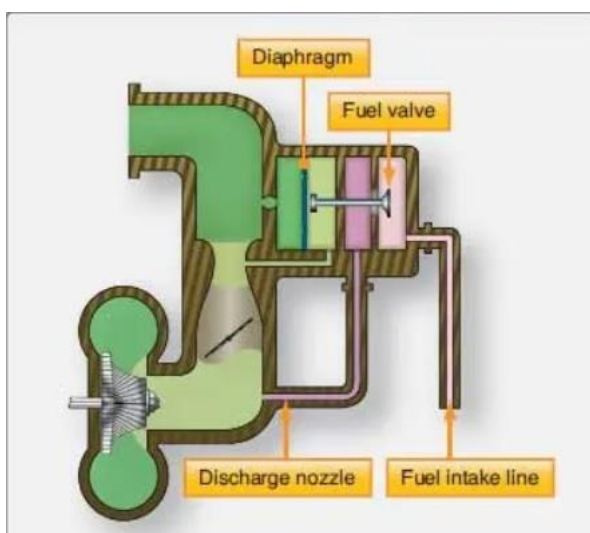


Obrázek 1.5: Průběh funkce hesselmanova motoru, (wehs.net/, 2012)

1.3.6 Vývoj během druhé světové války

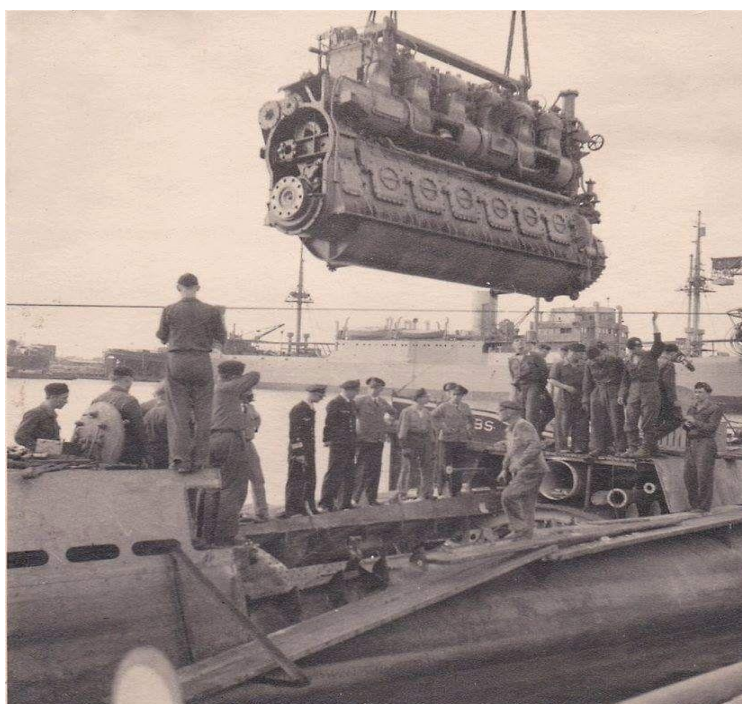
Během válečného období se soupeření válčících stran odráželo mimo bojiště i na vývoji a implementování technologií, které měly zajistit převahu nad protivníkem. První technologií, která během druhé světové války zažila svůj vstup do sériové výroby a po válce se postupně dostala do civilního automobilového průmyslu, bylo

využití technologie přímého vstřikování paliva do válce zážehového spalovacího motoru. Širokého využití se přímé vstřikování benzínu dočkalo u německých motorů využitých v letectví. Systém vstřikování byl vývojem ze systémů vstřikování dieselu od Bosche, Deckela, či Junkerse. Důvodem využití přímého vstřikování bylo zabránění přerušení dodávky paliva během manévru během leteckých soubojů, které probíhaly ve vysokých rychlostech a přetíženích. Cílem stíhače bylo dostat letoun protivníka před svůj letoun, jelikož výzbroj letounů té doby byla ve většině případů namířena dopředu. Během souboje docházelo k manévrování a na motor i letoun působily vnější síly ovlivňující chod stroje. Letoun vybavený přímým vstřikováním měl výhodu během přetížení, a to zejména během přetížení negativního. Během bitvy o Británii se střetly ve vysoké míře letouny Messerschmitt Bf-109 a Bf-110 s letouny Supermarine Spitfire a Hawker Hurricane. Německé stroje byly vybaveny přímým vstřikováním, které jim dávalo výhodu během manévrového souboje, na druhou stranu britské stroje měly přípravu směsi řešenou karburátory. Během negativního přetížení trpěly britské stroje přerušením dodávky paliva do motoru, což většinou vedlo k zhasnutí motoru a pokud se pilotovi nepodařilo motor nastartovat, tak k havárii. Vzhledem k tomuto problému vynalezla Beatrice Shilling tzv RAE-restrictor, který tento problém částečně řešil. Definitivní řešení problému poskytl RAE anti-G carburetor (viz obrázek 1.6), který pracoval pod tlakem, čímž gravitace přestala hrát v plnění motoru roli. Zároveň bylo tímto řešením dosaženo vyššího výkonu motoru (Matricardi, 2019).



Obrázek 1.6: Princip tlakového karburátoru, který vycházel z Anti-G karburátoru, (flight-mechanic.com/, 2021)

Během druhé světové války docházelo k masivní výrobě techniky, která využívala spalovací motory. Během první světové války také došlo k použití spalovacích motorů ve vojenské technice, ale teprve až druhá světová válka přinesla rozšíření masivní. Lodě během války využívaly kotle a parní turbíny, menší lodě jako torpédové čluny, či ponorky pak motory vznětové (viz obrázek 1.7). Německé lodě typu S-Boot (Doslova Schnell Boot, rychlé čluny) určené k rychlým přepadům a obraně pobřežních vod byly vybaveny třemi vznětovými motory MB 501 od společnosti Mercedes-Benz. Tato společnost také během války vyvíjela motory pro letouny, vozidla a tanky (Vanbervenn, 2012).



Obrázek 1.7: Výměna vznětového motoru v německé ponorce během války, (cz.pinterest.com/, 2021)

Letecké motory během války využívaly často koncepci buď hvězdicových motorů, či obrácených motorů do V. Výjimkou byl německý vznětový motor Junkers Jumo 205, který využíval principu protiběžných pístů. Motor měl 6 válců s 12 písty, které byly po 6 na dvou klikových hřídelích. Tento typ motoru byl zpočátku instalován na bombardéru Junker Ju-86, ale v dalších verzích byl nahrazen kvůli své nespolehlivosti během maximálního zatížení a kvůli slabé odezvě. Motor byl nejvíce využíván na létajících člunech, které operovali ve vysokých výškách a měli za úkol průzkumné mise. U těchto letounů se motor osvědčil díky nižší spotřebě paliva, která dovozovala delší setrvání ve vzduchu a delší dolet, což bylo pro průzkumná a hlídková letadla zásadní, hlavně pak po otočení průběhu války, kdy si Německo

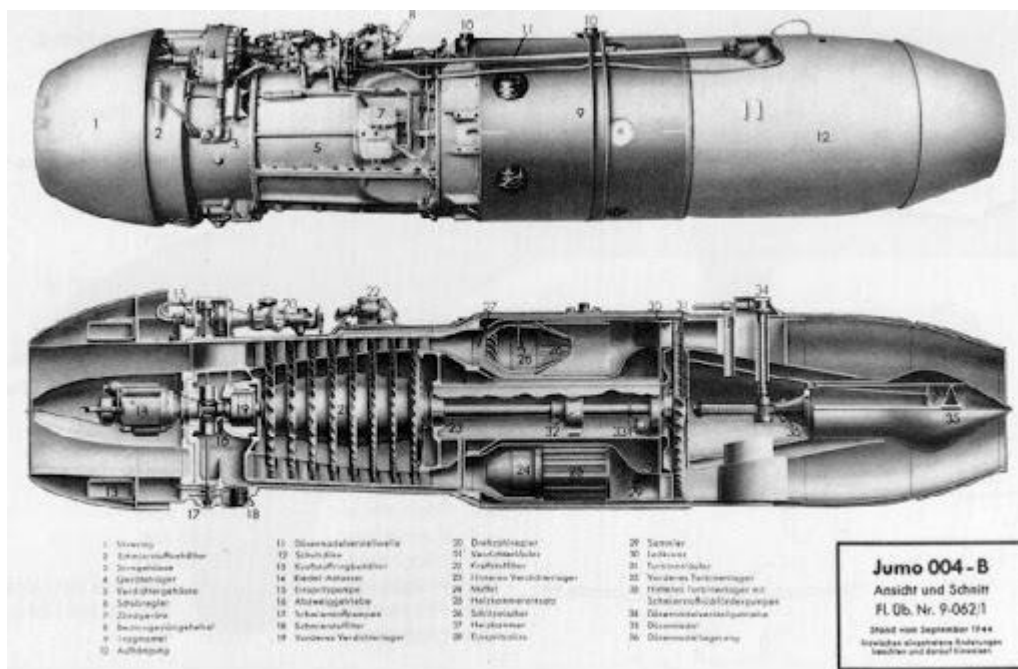
muselo více hlídat západní frontu. Dalším typem motoru, který využíval ojedinělé koncepce, byl motor typu boxer, který měl na starost startování proudového motoru na letounech Messerschmitt Me-262 či Arado Ar-234 (viz obrázek 1.8). Ke stejnému účelu byl použit u prototypů proudových letounů, které se vzhledem k průběhu války nedostaly do sériové výroby. Výhodou motoru byly jeho malé rozměry, které umožňovaly jeho umístění v sacím otvoru kompresoru na špičce proudového motoru. Motor poháněl proudový motor na hlavní hřídeli a sám byl startován elektrickým startérem, či tažnými lanky. Tento plochý motor měl zdvih pouze 2:1, výkon 8 kW a objem 270 cm³, proto dosahoval potřebných rozměrů, avšak k jeho účelu byly tyto parametry dostačující (Matricardi, 2019).



Obrázek 1.8: Motor typu boxer, který startoval proudový motor Jumo 004 B, (lucafusari.altervista.org, 2016)

Za druhé světové války, a to hlavně k jejímu konci, došlo k rozvoji proudových a raketových motorů, které měli ze strany nacistického Německa obrátit vývoj války. Tyto motory předběhly svoji dobu a odstartovaly postupné vymírání do té doby klasických pístových motorů na úkor proudových. Nejrozšířenějším typem proudového motoru byl Junkers Jumo 004 B, který využíval ke startu zmíněný plochý motor. Společnost Heinkel představila proudový motor Jumo 004 A již v roce 1937, ale německé špičky tento projekt nezaujal. Souběžně probíhal vývoj proudových motorů společnosti BMW, která vyvíjela motor BMW 003. Zpočátku měl motor BMW

pohánět většinu proudových letounů, ale kvůli problémům byli letouny navrženy pro použití tohoto motoru vybaveny motory Junkers Jumo 004 B (viz obrázek 1.9). Po válce tyto motory testovali a vylepšovali jak spojenci, SSSR, tak Japonsko. Motor BMW 003 byl vyvíjen od roku 1940, ovšem přetrvávající problémy s vývojem pokračovali celou válku. Motor měl být původně vyvážen do Japonska, k tomu ovšem nedošlo. Japonsko po válce pomocí reverzního inženýrství navrhli svůj klon motoru s názvem Ne-20. Sovětský svaz zase využil motor pro první verze poválečného stíhače Mig-9. Nejrozšířenějším letounem poháněným proudovým motorem během války se stal Messerschmitt Me-262, kterého bylo vyrobeno kolem 1 400 kusů a který se nad Evropou střetl s formacemi spojeneckých bombardérů. Stroj měl výhodu vysoké rychlosti i technické pokročilosti. Problémem byla složitost výroby a náročnost na materiální zdroje a lidskou sílu během výroby. Přes to se jednalo o nejúspěšnější proudový letoun války s kontem 542 sestřelů. Po válce byl letoun testován v zahraničí. Pod názvem Avia S-92 byl zaveden do výzbroje poválečného Československa (Matricardi, 2019).



Obrázek 1.9: Proudový motor Jumo 004 B, (lucafusari.altervista.org, 2016)

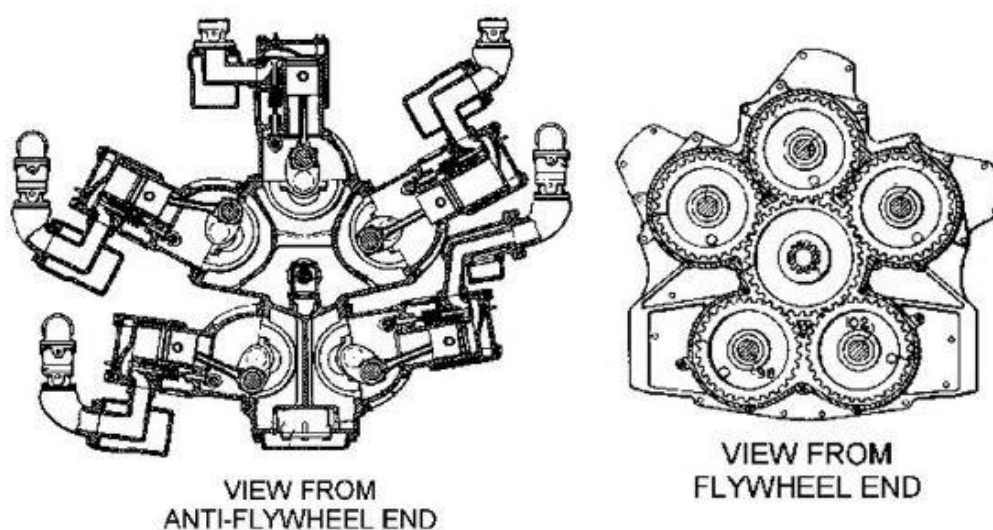
Konkurentem Me-262 byl britský Gloster Meteor, který se ale shodou okolností s Me-262 nikdy bojově nestřetl. Stroj měl stejně jako Me-262 na obou křídlech jeden proudový motor, v tomto případě Rolls-Royce W.2B/23C, který byl první operačně nasazený proudový motor v Británii. Britové využívali letouny k průzkumu, a dokonce k cvičení pilotů pístových strojů v boji proti proudovým letounům. Během konce

války došlo na přezbrojení na variantu Meteor F Mk.III. Stalo se tak ovšem až v květnu a více do bojů tak stroje nezasáhli. K největším úspěchům Meteorů patří sestřelování německých raket V1 mířících na Británii. Spolupráce s Británií přinesla proudové letouny i do USA, a to v podobě Lockheed P-80 Shooting Star. Letouny ovšem prováděly pouze nebojové lety a do války již nezasáhly. Vývoj proudových motorů byl ovšem odstartován a období po druhé světové válce se stalo jejich zlatou érou vývoje (Matricardi, 2019).

Další z odvětví vývoje spalovacích motorů během války byl rozmach tanků. Tanky prošly během meziválečných let vývojem a válka tento trend pouze uspíšila. S rostoucí vahou a nároky na stroje tak bylo třeba zajistit potřebné motory. Na Německé straně pobíhal vývoj hlavně společností Maybach, která vybavovala motory tanky od počátku až po konec války. První tanky Panzer I a II byly poháněny zážehovými šestiválci Maybach. Tanky od Panzer III až po těžké tanky Panzer VIB byly poháněny zážehovými motory V12 také od společnosti Maybach. Ten se tedy stal výhradním dodavatelem tankových motorů pro konstrukční kancelář Krupp, která byla hlavním výrobcem zbraní pro nacistické Německo, a to od tanků po slavné ponorky U-Boot. Nevýhodou použitá zážehových motorů byl nižší dojezd, a hlavně vyšší riziko požáru během zásahu stroje. Během vývoje tanků docházelo i k netradičním návrhům řešení. Například během vývoje těžkého tanku Panzer VI Tiger byl původně navržen šestiválcový zážehový motor Maybach HL 116. Druhý prototyp konstruovaný Ferdinandem Porschem měl být poháněn kombinací zážehového a elektrického motoru. Přesněji dva desativálcové motory měly pohánět generátory, které zajišťovaly pohon elektromotorů pohánějících nápravu. Tato konstrukce ale byla nespolehlivá, těžká a náročná na výrobu a údržbu. První sériový Pz VI byl poháněn motorem V12 Maybach HL 210 P45, sériová verze pak HL 230 P45. Nevýhodou těchto motorů byla vysoká spotřeba a nedostatek výkonu. Tanky také trpěly nespolehlivostí, takže se vysoký počet strojů porouchal ještě před bojem (Pejčoch, 2018).

Nejrozšířenějším spojeneckým typem tanku během války byl M4 Sherman. Tento stroj vystřídal během svého vývoje hned několik druhů motorů. První verze tanku poháněl hvězdicový zážehový devítiválec Continental R-975 C4. U verze M4A2 přišla změna s instalací motoru GM 6046, který byl konstrukcí kombinací dvou dvoudobých vznětových šestiválcových motorů Detroit Diesel 6-71, které byli spojeny u vývodů klikových hřídelí. Verze M4A3 dostala vznětový motor Ford GAA V8. U verze M4A4 dostal tank motor Chrysler A57 (viz obrázek 1.10). Tento motor má

30 válců, objem 20 500 cm³. Válce jsou po 5 kusech na 5 klikových hřídelích, které jsou vývodem z klikové hřídele ozubenými koly spojeny do jednoho ozubeného kola sloužícího jako vývod z motoru. Motor byl výsledkem rychlé poptávky po tankovém motoru. Po zařazení motorů V8 byly tanky s motory Chrysler A-57 využívány pro export spojencům USA. Motor měl podle Chrysleru údajně fungovat i po vyřazení 12 válců z funkce. M4 Sherman tedy během svého vývoje vystřídal širokou škálu neortodoxních motorů (Pejčoch, 2018).



Obrázek 1.10: Schéma motoru Chrysler A-57, (macsmotorcitygarage.com/, 2017)

Sovětský svaz šel vývojem cestou unifikace tanků i jejich motorů pro co nejsnazší a nejrychlejší výrobu a zařazení. Nejrozšířenější tanky T-34, KV a typy založené na jejich platformě, byly poháněny vznětovými motory V-2 konstrukce V12 (viz obrázek 1.11), jejichž vývoj pokračoval i po válce. Těžké tanky typu IS obdržely motor B-2IS, který měl na rozdíl od motorů V2 dostatek síly pro pohon tanku o váze 44 tun. Lehké sovětské tanky poháněl vznětový šestiválec GAZ-202, přičemž u těžších variant byly použity dva spojené motory tohoto typu. Zajímavostí spojenou s motory tanků během druhé světové války byl výcvik sovětských protitankových oddílů, které využívaly speciálně cvičené psy, kteří s postrojem naplněným trhavinou měli zaběhnout pod německý tank a ten výbuchem zničit. Problémem ovšem bylo, že ruští vojáci cvičili psy na svých strojích, jelikož německé nebyly ukořistěny v takových počtech. Ruské stroje ovšem používaly vznětové motory, zatímco německé stroje používaly zážehové motory. Psi tak byli při ostrém nasazení zmatení a stávalo se, že

v boji zničili vlastní tank. Proto bylo od tohoto způsobu boje s tanky upuštěno, a to i kvůli náročnosti výcviku a plýtvání zdroji (Pejčoch, 2018).



Obrázek 1.11: Tankový motor V-2, (muzeumgryf.pl, 2021)

Ohromný rozmach ve výrobě se týkal i výroby vojenských automobilů. Během války Německo použilo základ lidového vozu VW Brouk k vytvoření automobilů pro vojenské účely s názvem Kubelwagen, který používal podvozek i pohon modelu Brouk. Nejmasověji vyráběným automobilem za války byl americký Jeep Willys MB (viz obrázek 1.12). Vůz byl poháněn čtyř válcovým vodou chlazeným zážehovým motorem s nízkým zdvihem pístů. Díky své spolehlivosti a širokému spektru využití byl rozšířen téměř do celého světa a vyráběl se ještě po válce, kdy zasáhl i do americké války v Koreji. Stejně jako další technika byl Jeep Willys vyvážen i do SSSR v rámci smlouvy o půjčce a pronájmu (Vanberveen, 2012).



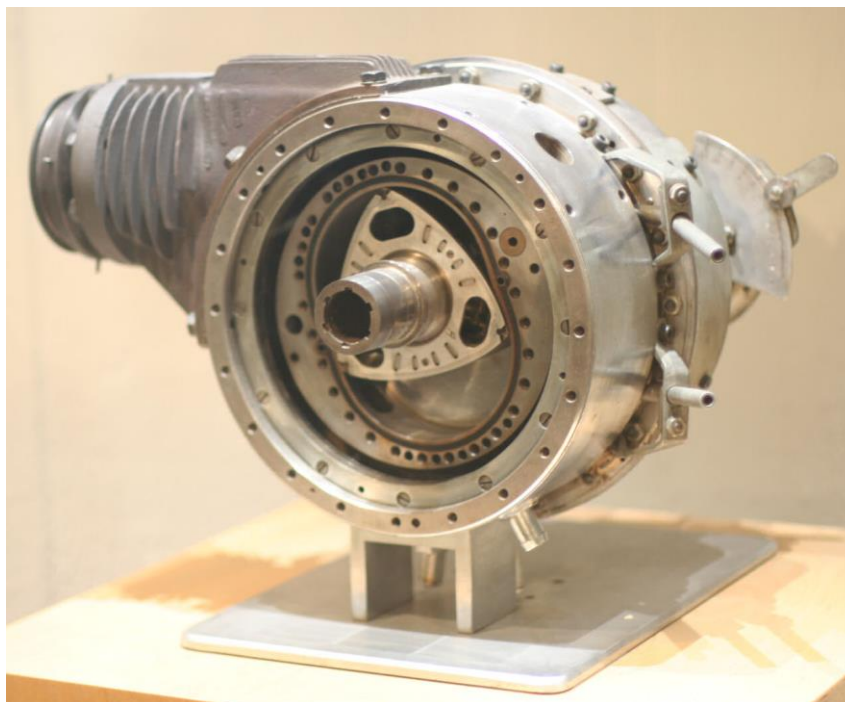
Obrázek 1.12: Jeep Willys MB bez karoserie, (lancesjeep.blogspot.com, 2013)

Stejně jako osobní automobily pro vojenské účely vznikalo i ohromné množství nákladních vozidel, které stejně jako Jeep Willys MB sloužily ještě po válce a byly exportovány do SSSR. Nejrozšířenějším nákladním automobilem tohoto typu byl GMC CCKW 2 1/2-ton 6x6. Jak již název napovídá, jednalo se o nákladní automobil s pohonem všech kol a dvěma zadními nápravami. Vůz byl poháněn vodou chlazeným řadovým šestiválcem GMC 270 s ventilovým rozvodem OHV fungujícím s použitím zdvihadel. Jednalo se o poslední motor GMC, který byl konstrukčně řadový šestiválec, jelikož další motory byly již konstrukce V6. Celkově bylo vyrobeno 572 000 vozidel GMC CCKW 2 1/2-ton 6x6 ve všech variantách. Na německé straně byl masově využíván nákladní automobil Opel Blitz, poháněný buď zážehovým čtyřválcem, či šestiválcem. Automobilka Opel byla před válkou největším německým výrobcem nákladních vozidel a modelu Blitz vyrobila kolem 130 000 kusů. Po válce bylo výrobní zařízení Opelwerk Brandenburg, kde probíhala výroba vojenských nákladních vozů rozebráno a převezeno do SSSR. Jak USA, tak i Německo během války vyráběli i polopásová vojenská vozidla, která byla využívána nejen k přepravě, ale také jako nosiče zbraní. Během války tedy došlo k použití mnoha technologických řešení motorů a k zapojení průmyslu k ohromné produkci, která nikdy předtím v takové míře neprobíhala. Po válce následovalo pokračování ve vývoji motorů, a to jak ve vojenství, tak v civilním sektoru (Vanberveen, 2012).

1.3.7 Vývoj po válce až do 70. let

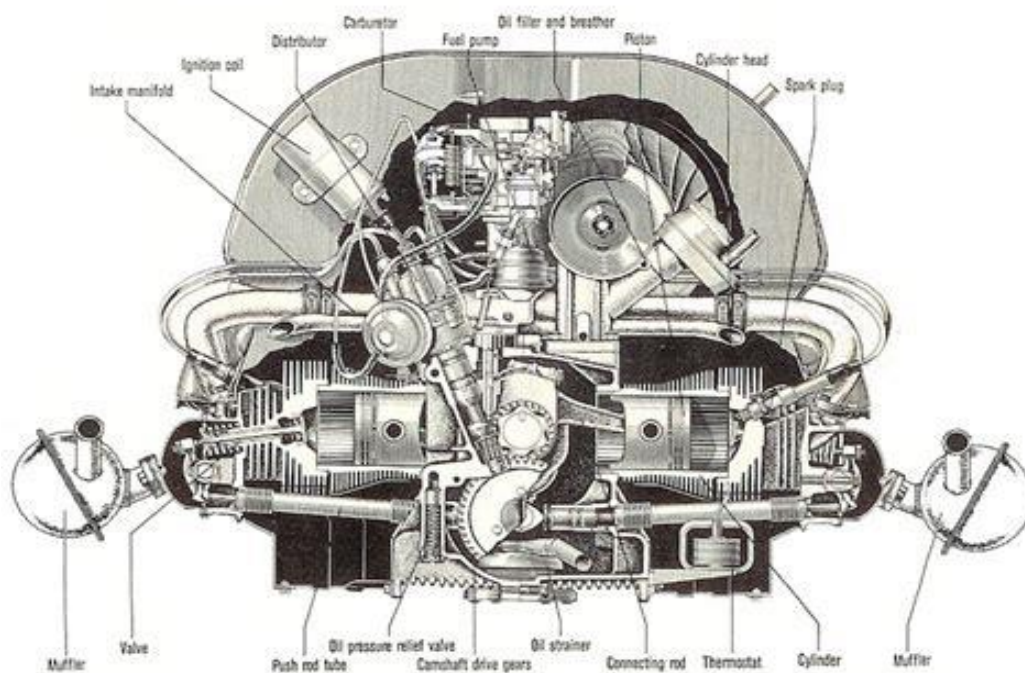
S koncem války došlo k postupnému startu války studené, ale také k rozvoji civilní dopravy a technologií. V 50. letech německá automobilka Goliath vyvinula první osobní automobil využívající přímého vstřikování benzínu pro svůj model GP700 a automobilka Gutbrod pro model Superior v roce 1952. Během 50. let několik společností jako Bosch, General Motors, či Lucas Industries, začaly používat systém nepřímého vstřikování paliva, neboli tvorbu směsi mimo válec. Během 60. let tento trend následovaly další automobilky a společnosti. První komerční využití elektronicky řízeného vstřikování vnější směsi představil ACM (American Motors) pod názvem Electrojector. Vzhledem ke složitosti a problémům s touto technologií byli tímto řešením vybaveny před produkční vozy, které nebyly nabízeny veřejnosti. Patent Electrojectoru byl prodán firmě Bosch, která z něj v 70. letech vyvinula systém Bosch D-Jetronic. Němec Felix Wankel v roce 1957 sestrojil první funkční prototyp motoru s rotačním pístem. Patent na tuto konstrukci si nechal patentovat již v 30. letech, ovšem vývoj zbrzdila válka, během které pracoval na vývoji technologií pro

německé námořnictvo a letectvo. Wankel čelil po válce restrikcím kvůli své spolupráci s nacisty, a tak pokračování vývoje pokračovalo až po zajištění prostředků společností NSU, pod níž sestrojil roku 1957 funkční prototyp s názvem DKM 57 (viz obrázek 1.13). Motor měl výkon 15,6 kW a na rozdíl od současné konstrukce motoru neměl rotující pouze píst, ale i pouzdro, ve kterém byl uložen. Pracoval jako čtyřdobý. V roce 1960 došlo k výrobě prvního rotačního motoru, v té době již známého jako Wankelův motor, s názvem KKM 250. Motor měl 2 rotory, které pracovaly, stejně jako u prototypu, v rotujícím pouzdro. První sériově vyráběný automobil poháněný rotačním motorem byl NSU Wankel-Spider, který se začal vyrábět v roce 1964 a jeho výroba trvala 4 roky. Vůz měl motor s jedním rotorem usazen nad zadní nápravou. Motor dosahoval výkonu 40 kW při 6 500 ot.min⁻¹. Během výroby motoru ovšem automobilka podcenila materiály některých součástí motoru, a proto docházelo k poruchám. Wankelův motor si tak postupně vysloužil pověst nespolehlivého a problémového. I přes to se v roce 1967 stal vůz NSU Ro 80 osazený rotačním motorem s dvěma rotory, německým vozem roku 1967. Ten samý rok také vstoupila do výroby Mazda Cosmo, která byl prvním automobilem poháněným wankelovým motorem od japonské automobilky. Automobilka vyřešila několik problémů, které motor měl a zdokonalila ho. Mimo modelu Cosmo se Mazda rozhodla instalovat wankelův motor do více svých modelů (Hromádka, 2012).



Obrázek 1.13: První Wankelův motor, (wired.com, 2007)

Během poválečného období se znovu do obliby dostaly automobilové soutěže, které nechaly vzniknout širokému spektru unikátních motorů a technologií. V roce 1950 byla založena Formule 1, jako náhrada za sérii Grand Prix, která se poprvé jela roku 1906 v Le Mans. První šampionát Formule 1 vyhrál v roce 1950 Giuseppe Farina s vozem Alfa Romeo 158. Vůz byl poháněn řadovým osmiválcem, s přeplňováním rootsovým dmychadlem, o objemu 1 497 cm³ o výkonu 261 kW. Motor dokázal dosáhnout až 8 500 ot.min⁻¹. V roce 1954 Mercedes-Benz využíval přímého vstřikování odvozeného z leteckých motorů z válečného období u osmiválce formule W196, se kterou vyhrál 9 z 12 závodů a 2 světové tituly, a to v letech 1954 a 1955. Tuto technologii v roce 1955 Mercedes-Benz použil u šestiválcového čtyřtaktuho motoru M198 ve svém osobním automobilu 300SL. Během poválečného období se ve spojených státech rozmohl trend vysoko objemových motorů, které poháněly těžká osobní auta. Naopak v Japonsku, které po válce potřebovalo obnovit průmysl, se začaly vyrábět vozy s nízko objemovými a úspornými motory. Během 70. let tyto vozy díky ropné krizi expandovaly do USA. Lidovým vozem, který se postupně rozšířil po celém světě se stal předválečný projekt VW Brouk, využívající motor typu boxer (viz obrázek 1.14), (Hromádka, 2011).



Obrázek 1.14: Vzduchem chlazený boxer z VW Brouk,
(cz.pinterest.com/, 2021)

Vůz měl po válce pomoci obnovit zničené Německo a nabídnout Němcům dostupné vozidlo pro přepravu. Brouk byl poháněn čtyř válcovým vzduchem chlazeným motorem typu boxer s objemy od 1 200 do 1 600 cm³. Stejně jako později u japonských vozů byl tento vůz úspěšný díky ceně a nízké spotřebě. Během 60. let začal Chrysler montovat do svého modelu Valiant alternátor, který je typem konstrukce podobný současným alternátorům. Během několika let došlo k převzetí tohoto řešení Fordem a General Motors. První využití alternátorů tohoto typu proběhlo již za druhé světové války. Během 70. let začaly některé automobilky využívat elektronicky řízené zapalování směsi místo mechanického. Dnes se jedná o standart. Prvním sériově vyráběným automobilem vybaveným elektronicky řízeným zapalováním byl Fiat Dino v roce 1968. Technologie se ovšem již počátkem 60. let testovala na závodních vozech (Remek, 2012).

1.3.8 70. léta až konec tisíciletí

Během roku 1973 postihla několik rozvinutých zemí ropná krize. Důvodem k této krizi bylo embargo vývozu ropy, které vyhlásila organizace arabských exportérů ropy (OAPEC) jako reakci na podporu Izraele západními mocnostmi během Jomkipurské války. Výsledkem byl nedostatek ropy například v USA, Británii, Kanadě, Japonsku, či Jižní Africe. Nejhorší vliv mělo toto embargo na USA, které se doteď nezabývalo šetření ropou a propagovalo politiku „amerického snu“. Během ropné krize se v Americe musela udělat opatření jako například povolení nákupu pohonných hmot pouze vozidlům s lichým, či sudým posledním číslem na poznávací značce a podobně. Přednost měl průmysl. Embargo vítězství arabské koalici nepřineslo. Izrael napadení odolal a embargo bylo roku 1974 zrušeno, i tak ovšem vyspělým zemím udělilo velký šok, který u části populace odstartoval poptávku po úspornějších vozech. Tuto poptávku využilo Japonsko k průniku svých automobilek do USA (Remek, 2012).

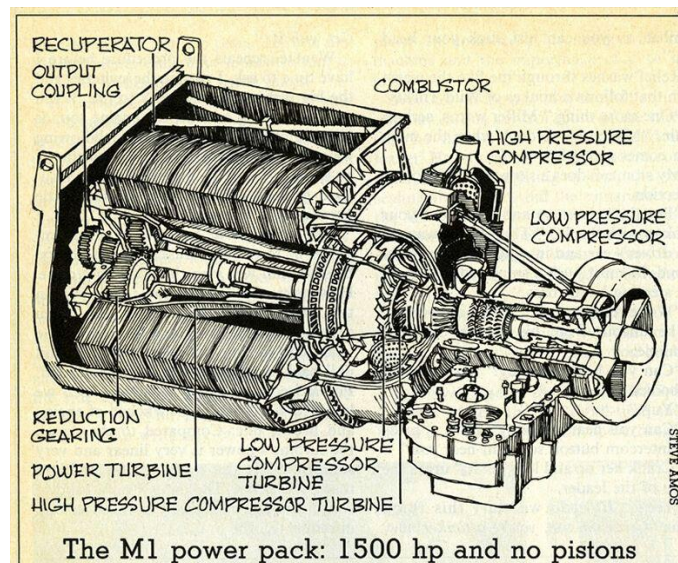
V armádním sektoru stále probíhal vývoj proudových motorů. Jednou z technologií, která se během 70. let dostala do sériové výroby pro vojenské letouny byla technologie přídavného spalování paliva. Tato technologie funguje na bázi vstříkovaní paliva do výtokové trysky, kde reaguje se zbytkem kyslíku, který již vyhořel ve spalovací komoře motoru. Tato technologie je z pohledu spotřeby paliva vysoce neefektivní, ovšem její účel je hlavně rapidní zvýšení výkonu motoru, během přechodu do nadzvukového letu, nebo manévrování. Jediné civilní letouny vybavené přídavným spalováním byli Concorde a Tupolev Tu-144 (Matricardi, 2019).

V roce 1973 inženýři Engelhard Corporation sestrojili první katalyzátor, o dva roky později byl vzhledem k enviromentální politice USA katalyzátor poprvé montován na sériově vyráběné vozy (viz obrázek 1.15), (Hromádko, 2011).



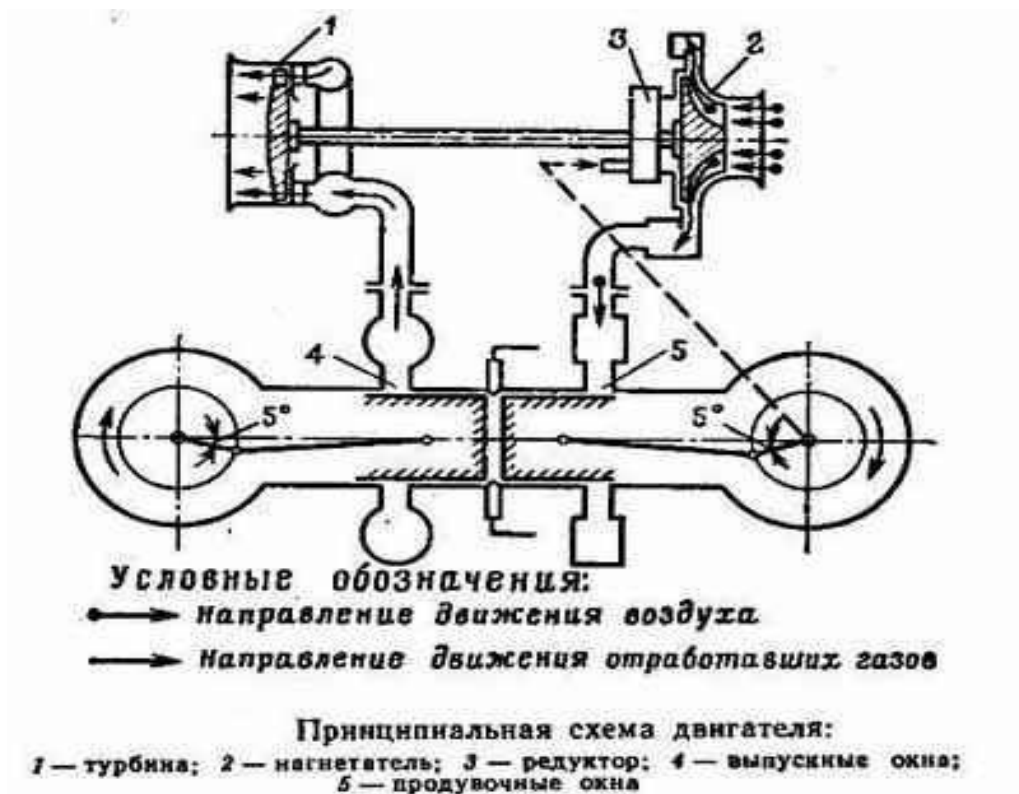
Obrázek 1.15: Průřez katalyzátorem, (a1car.com, 2019)

Během 70. let došlo k montáži více palivové turbíny (viz obrázek 1.16) do tanků M1 Abrams a T80. I přes vysokou spotřebu se toto řešení osvědčilo. Stroj disponuje vysokou mobilitou, a zvláště v polárních podmínkách funguje lépe, než konkurence vybavená vznětovými motory. Během tažení v Iráku musel motor projít instalací dalších filtrů, protože se v pouštním prostředí turbína zanášela. Nevýhodou je hlasitost a vysoká spotřeba, výhodou je snadná výměna, možnost využití více paliv a vysoká mobilita tanku, který váží až 70 tun (Hromádko, 2012).



Obrázek 1.16: Plynová turbína tanku M1 Abrams, (cz.pinterest.com/, 2021)

Dalším unikátním motorem disponoval v roce 1964 sovětský tank T-64. Motor tanku 5TDF (viz obrázek 1.17) je konstrukcí motorem s protiběžnými písty, kdy deset pístů funguje v pěti válcích. Motor má pak dvě klikové hřídele a je přepřňovaný turbodmychadlem. Chod motoru je pak dvoudobý. Motor nabízel vyšší účinnost než motory klasické koncepce, ovšem zároveň poskytoval nižší točivý moment a spolehlivost. Charkovská konstrukční kancelář navíc nestíhala motory vyrábět, a tak společnost Uralvagonzavod z tohoto typu vyvinula tank T-72, který byl již osazen vznětovým přepřňovaným motorem V12, který byl hlavním důvodem vývoje tanku. Motor s protiběžnými písty byl dále vyvíjen a dnes ho využívá ukrajinský hlavní bitevní tank T-84 Oplot. Tanky T-64 se účastnili bojů na východní Ukrajině, kdy některé kusy startovali poprvé po 20 letech po uložení. Motor lze snadno rozeznat podle charakteristického zvuku. Jednou z výhod byla nízká hmotnost a rozměry motoru, ovšem co tank ušetřil na rozměrech motoru, dohnal na velikosti chladiče, jelikož byl motor náchylný na chlazení (Pejčoch, 2018).



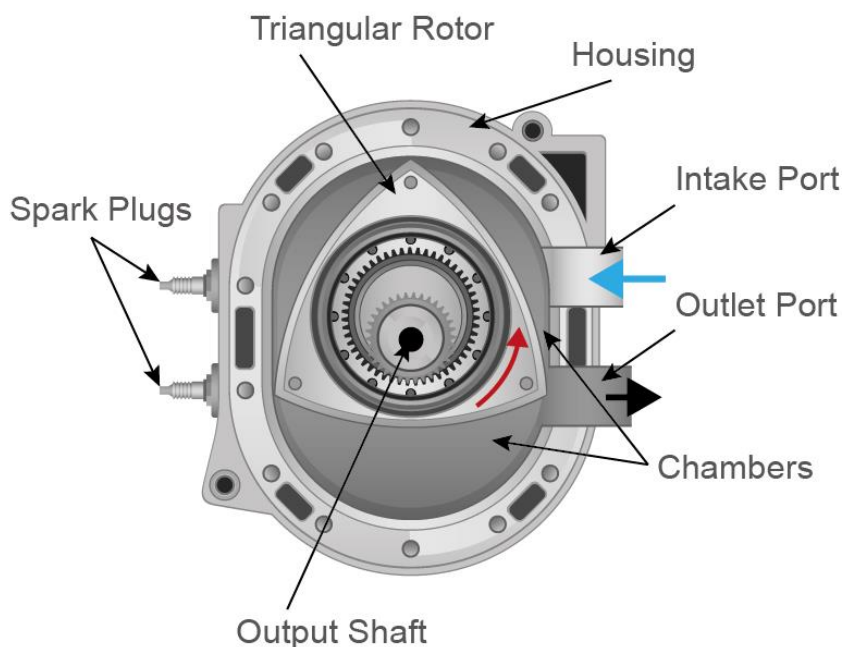
Obrázek 1.17: Schéma motoru 5TDF tanku T-64, (armedconflicts.com/, 2011)

V roce 1985 předvedla automobilka Lancia svůj závodní speciál pro automobilové soutěže rallye Lancia Delta S4. Vůz disponoval dvojitým přepřňováním kompresorem a dmychadlem a výkonem 360 kW, během testů limitů motoru až 746 kW. Motor měl

ventilový rozvod DOHC, 16 ventilů a používal technologie z Formule 1. Během roku 1986 vůz Formule 1 Benetton B186 osazený čtyř válcovým motorem s objemem 1 500 cm³, přeplňovaný turbodmychadlem dosahoval výkonu až 1 040 kW a dosahoval rychlosti až 352 km.h⁻¹. Po těchto sezónách, a v případě rallye i po těžkých haváriích, se začala zavádět omezení výkonu vozidel s ohledem na bezpečnost. Ve Formuli 1 FIA přistoupila roku 1988 k omezení tlaku přeplňování a v roce 1989 k zákazu přeplňování (Klein a Davenport, 2011).

Během 80. let pokračovala snaha o redukci emisí a škodlivých látek produkovaných automobily, a tak došlo k dalším vylepšení elektronicky řízeného zapalování. Cílem vylepšování bylo snížit emise motorů a umožnit lepší spalování směsi (Hromádko, 2011).

Během 90. let došlo k dalšímu rozvoji Wankelova motoru, který automobilka Mazda usazovala do svých sportovních modelů. Motor již neměl rotační pouzdro rotoru a jediná rotující část byl rotor a kliková hřídel (viz obrázek 1.18). Mazda zároveň v roce 1991 vyhrála vytrvalostní závod 24h Le Mans s vozem Mazda 787B osazeným Wankelovým motorem s čtyřmi rotory a atmosférickým plněním, který dosahoval maximálního výkonu 520 kW při 9 000 ot.min⁻¹ (Hromádko, 2012).

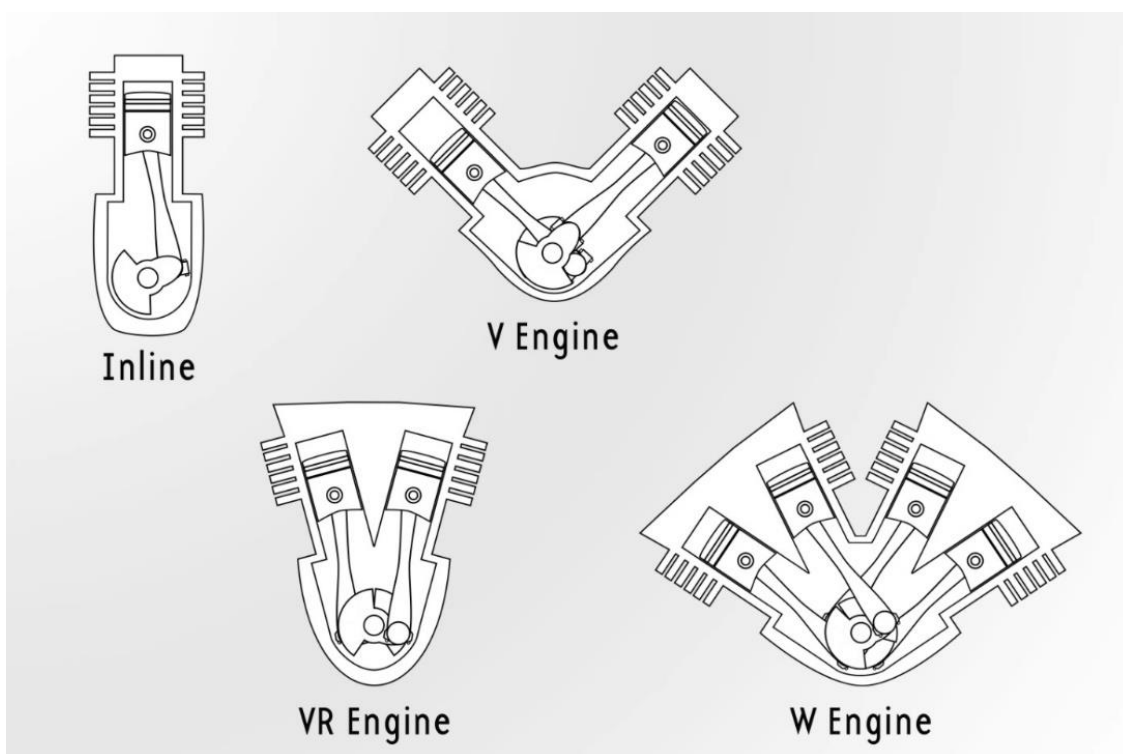


Obrázek 1.18: Schéma wankelova motoru, (wankelsupertec.de/en, 2015)

Po dokončení závodu mechanici týmu Mazda motor rozebrali a došli k závěru, že po výměně oleje by ten samý motor zvládl 24h závod ještě jednou. FIA bohužel další rok rotační motory zakázala. Wankelův motor během 80. a 90. let Mazda osadila do svého

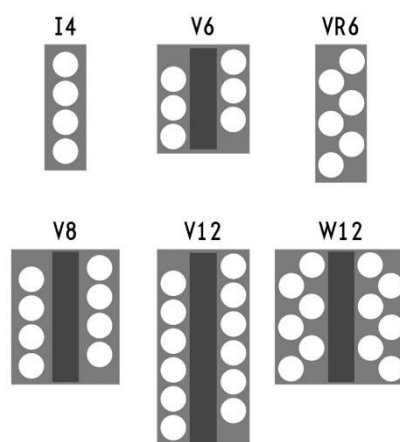
sportovního modelu RX-7. I přes nutnost specifického zacházení má tento vůz na světě stále miliony fanoušků a udržuje tak Wankelův motor naživu i po skončení jeho výroby. Motor u Mazdy RX-7 se nabízel jak ve verzi s atmosférickým plněním, tak i přepíňovaný jedním, či dvojicí turbodmychadel. Nevýhodou tohoto typu motoru je nízká výdrž těsnění na vrcholcích rotoru a nutnost šetrného ohřívání motoru. Dále se motor zanáší uhlíkem, a proto je třeba točit do otáček, aby se uhlík vypálil, což je v rozporu s motory klasické koncepce a mnoho majitelů nedodržením správných postupu motoru zajistilo pověst nespolehlivého (Hromádko, 2012).

Automobilka Volkswagen během 80. let vyvinula motory řady VR6, které jsou jakýmsi hybridem mezi motory do V a řadovými motory. Motor má vysoce úzký úhel válců $10,5^\circ$ či 15° , což umožňuje spojení konstrukce motoru do V s pouze jednou společnou hlavou válců jako u řadového motoru. Motor byl v roce 1991 nabízen ve vozech VW Passat a Corrado, v dalších letech i v modelu VW Golf. Výhodou motoru jsou nižší rozměry než motory konstrukce V, či řadové při stejném počtu válců a zároveň zjednodušení konstrukce díky využití pouze jedné hlavy motoru (viz obrázek 1.19), (Remek, 2012).



Obrázek 1.19: Řezy motory včetně VR, (partsolutions.com/, 2021)

Dalším motorem unikátní konstrukce je motor s válci do W. Tento motor využívala automobilka VW, Bentley, či Audi. V roce 1990 byl využit ve voze Formule 1 motor konstrukce W12, ale v závodech se neosvědčil a po roce byl nahrazen motorem konstrukce V8. Jediný sériově vyráběný motor této konstrukce je Volkswagen 6.0 WR12 48v, který kromě automobilky Volkswagen použily i automobilky Bentley, či Audi. Motor byl stvořen spojením dvou motorů VR6 při zachování jedné hlavy na jednu polovinu motoru. Motor konstrukce W byl využit i v letectví během meziválečného období. Výhodou motoru jsou nižší rozměry než u motoru typu V12 (viz obrázek 1.20), (Remek, 2012).



Obrázek 1.20: Púdorys motorů včetně W12, (partsolutions.com/, 2021)

Během 90. let se na výsluní dostala i automobilka Subaru, která stejně jako Mazda razila vlastní cestu v použití motorů. Automobilka Subaru si dodnes zakládá na používání motoru typu boxer (viz obrázek 1.21), který od konce 80. let usazuje do všech svých modelů. S motorem typu boxer se automobilka účastnila světového šampionátu v rallye, kde s vozy Subaru Legacy RS a Subaru Impreza WRX STI vyhrála několik titulů konstruktérů a v roce 1995 s jezdcem Colinem McRaem i titul jezdců, který zpopularizoval značku a její ikonický motor veřejnosti (Klein, 2020).

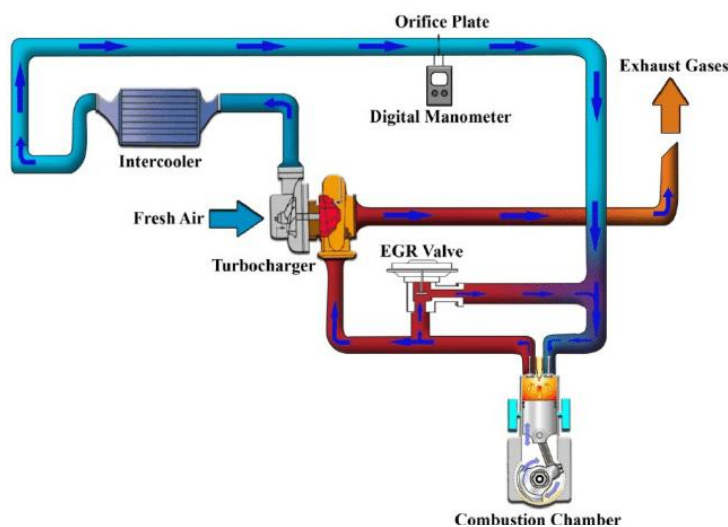


Obrázek 1.21: Průřez čtyřválcem typu boxer, (sportsubaru.com/, 2021)

Výhodami motoru jsou malá výška, nízké těžiště vozu a charakteristický zvuk, který zajistil vozům Subaru jejich popularitu. Automobilka nabízela jak atmosféricky plněné motory, tak přeplňované turbodmychadlem. Počet válců je pak ve většině případů čtyři, nebo šest. Na přelomu 80. a 90. let Subaru vyvinulo plochý 12 válec typu boxer pro použití ve vozu Formule 1. K použití ovšem nedošlo. Kdo ale používal a stále používá ploché motory typu boxer, je automobilka Porsche, která osazuje do svých civilních vozů šestiválců a do svého závodního speciálu Porsche 917 K osadila již v roce 1969 plochý dvanáctiválec typu boxer, se kterým dominovala sérii Le Mans v letech 1970 a 1971. Plochý dvanáctiválec také po změně regulí používal Mercedes Benz C291 během závodů prototypů na počátku 90. let.

Od roku 1994 se začala do vozidel sériově montovat palubní diagnostika OBD-II, která umožnila napojení na řídicí jednotku motoru a zjištění problémů s motorem i umožnění precizních úprav chodu. První OBD jednotka pro civilní vozy vznikla již v roce 1969, a to u automobilky Volkswagen pro jejich Type 3, který uměl sledovat dění v motoru. V roce 1975 přišel s použitím OBD Nissan, o 5 let později i General Motors se systémem ALDL.

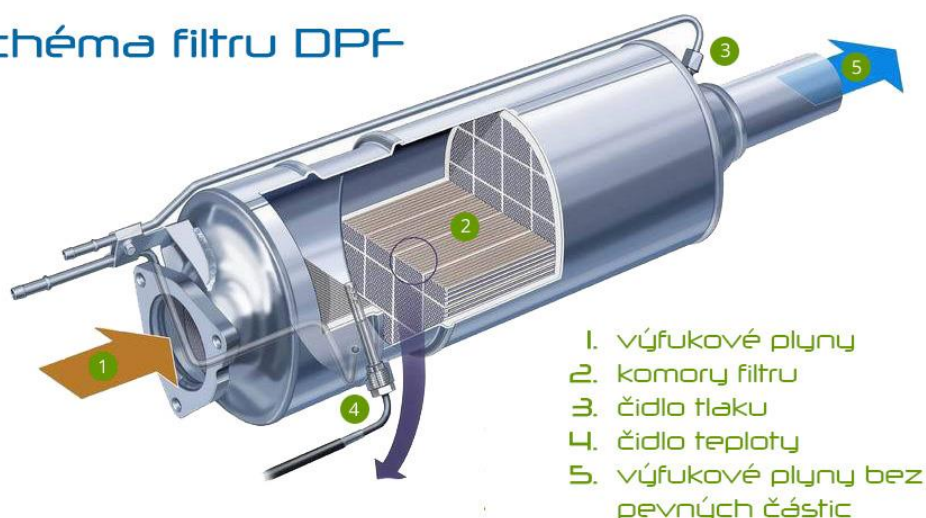
V roce 1973 také Volkswagen vyvíjel první EGR systém, který recykluje spaliny z motoru k dalšímu použití ve spalovacím procesu a redukcí emisí jejich ochlazením ve výměníku tepla a jejich navrácením ke spalovacímu procesu (viz obrázek 1.22). Zprvu měl systém problémy v podobě zvýšené spotřeby, problémů s volnoběhem, či obtížným startováním, ovšem během vývoje byly tyto dětské nemoci odstraněny a systém se stal již od 90. let standardem na poli osobních vozidel (Remek, 2011).



Obrázek 1.22: Schéma funkce EGR, (researchgate.net/, 2011)

Během 70. let také došlo k vývoji filtru pevných částic s názvem DPF (Diesel Particulate Filter). Cílem bylo snížit zdravotní dopad vznětových motorů na okolí. Filtr je umístěn ve výfukové soustavě a filtruje ze spalin karcinogenní látky (viz obrázek 1.23). Filtr má omezenou životnost. Po ujetí 300 – 1 000 km je zapotřebí zregenerovat, pokud nestačí k regeneraci běžná jízda. Filtr má ale omezenou životnost a je cílem kritiky, jelikož je jeho výměna finančně náročná, snižuje výkon motoru, zvyšuje spotřebu paliva a přidává dvě čidla, která mohou selhat (Hromádko, 2011).

Schéma filtru DPF

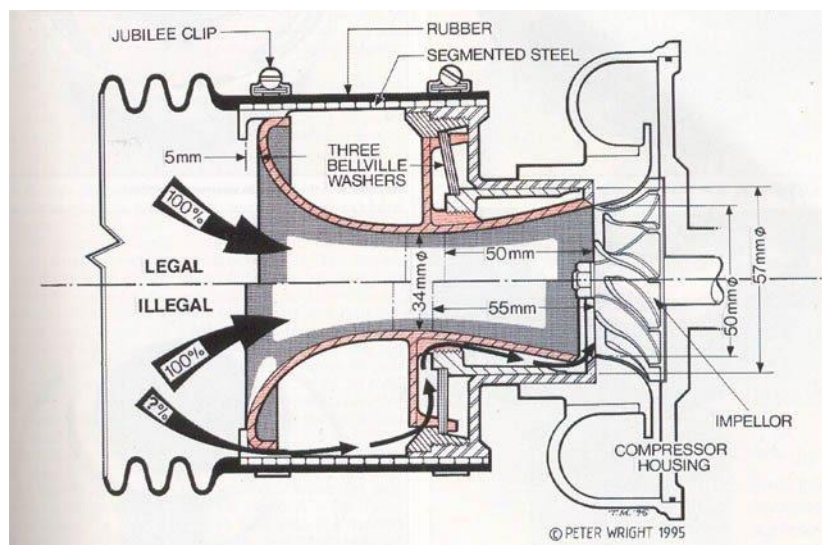


Obrázek 1.23: Schéma filtru DPF, (dpf-ftg.cz/, 2021)

Technologie spalovacích motorů se tedy během 80. a 90. let vyvíjely směrem k omezení spotřeby, emisí a k vyšší efektivitě spalovacího procesu. Během počátku 21. století pak tyto snahy ještě zesílily (Remek, 2012).

Zajímavostí ze světa technologií je plovoucí restriktor turbodmychadla, kterým se pokusila v roce 1995 obejít pravidla světového šampionátu v rallye automobilka Toyota se svým modelem Toyota Celica GT4. Vozy té doby měli dle regulí FIA mít na turbodmychadle nasazený restriktor, který umožňoval, aby do turbodmychadla proudil vzduch pouze otvorem 34 mm, a ne celým sáním turbodmychadla. Toyota přišla s řešením, kdy restriktor turbodmychadla vypadal normálně a plnil závazných 34 mm, ovšem během přidání plynu se restriktor posunul a umožnil po stranách restriktoru zvětšit otvor pro sání o 5 mm a tím dosažení vyššího výkonu, uvádí se až 37 kW. Restriktoru se díky funkci říkalo plovoucí restriktor (viz obrázek 1.24). Toyota tak chtěla vyrovnat fakt, že byl jejich vůz přibližně o 100 kg těžší než

konkurence. Během korsické rallye se ovšem na podvod přišlo a Toyota byla na následující sezónu vyřazena ze šampionátu (Klein a Davenport, 2020).



Obrázek 1.24: Nákres plovoucího restriktoru, (themechanists.com/, 2011)

1.3.9 2000 až současnost

Hybridní vozy provázely vývoj automobilů již od počátků, ale až na přelomu tisíciletí se dostaly k masivní výrobě. Již v roce 1992 přetavila automobilka Toyota v rámci své nové politiky hybridní model Prius, který byl prvním masově vyráběným a prodávaným hybridním automobilem, jenž se vyrábí dodnes, i když Toyota předvedla hybridní verze svých dalších modelů, jako například Yaris. Hybridní technologie kombinuje spalovací motor a elektromotor s baterií, který pomáhá spalovacímu motoru s dávkováním výkonu, rekuperací energie a snížením spotřeby paliva. Nevýhodou systému je cena a omezená životnost baterie spojená s likvidací baterie (Remek, 2012).

Zpříšňování emisních limitů přispělo k implementaci Adblue do zemědělské techniky i některých osobních vozů. Systém Adblue využívá vodný roztok s prvkem syntetické močoviny, která je v roztoku v objemu 32,5 %. Adblue je systémem vstříkováno před katalyzátor výfukových plynů, kde se mísí se spaliny a vlivem teploty rozkládá. Dochází k chemické reakci s oxidy dusíku, z nichž většinu neutralizuje a z výfuku pak vychází pouze pára a dusík. K vstříkování směsi dochází až při určité teplotě katalyzátoru, a proto je výfukový systém osazen čidly, které proces řídí. Výhodou je zmíněná redukce emisí oxidů dusíku. Nevýhodou je nutnost tankování Adblue a technická složitost (další součást automobilu, co vyžaduje servis

a může se porouchat). V zemědělství se do podniků instaluje čerpací stanice na Adblue, jelikož dochází k využívání ve stovkách litrů denně, vzhledem k množství a spotřebě strojů (Hromádko, 2001).

Japonská automobilka Mazda byla známá svým využíváním wankelova motoru. Automobilka se ale mimo jiné rozhodla investovat do technologie Skyactiv-X (viz obrázek 1.25) a tím přispět k trendu snižování emisí a spotřeby paliva. Motor kombinuje vlastnosti vznětového a zážehového motoru. Jako palivo používá benzín, který je zapalován buď svíčkou, nebo kompresním tlakem. Směs je velice chudá, jelikož je vzduch do směsi tlačěn kompresorem, který zajišťuje směsi více vzduchu při malém množství benzínu, dochází tak k efektivnímu spalování. Motor buď pracuje v režimu, kdy je směs zapalována svíčkou, či v režimu zapalování kompresním teplem, variantu směsi a zapalování volí počítač podle stylu jízdy. Poměr vzduchu k benzínu ve směsi je 14,7:1 u režimu zapalování svíčkou a 40:1 u režimu zapalování kompresním teplem, to zajišťuje nízkou spotřebu. V režimu chudé směsi by měl motor pracovat 80 % jízdy, tím snižuje přibližně v 80 % jízdy spotřebu paliva. Motor má podle testů i přes atmosférické plnění, výkon 132 kW a objem 1 998 cm³ průměrnou spotřebu 6,7 až 7,5 litru na 100 km, což jiné vozy dosahují pouze pomocí nízko objemových motorů (Kosowatz, 2017).

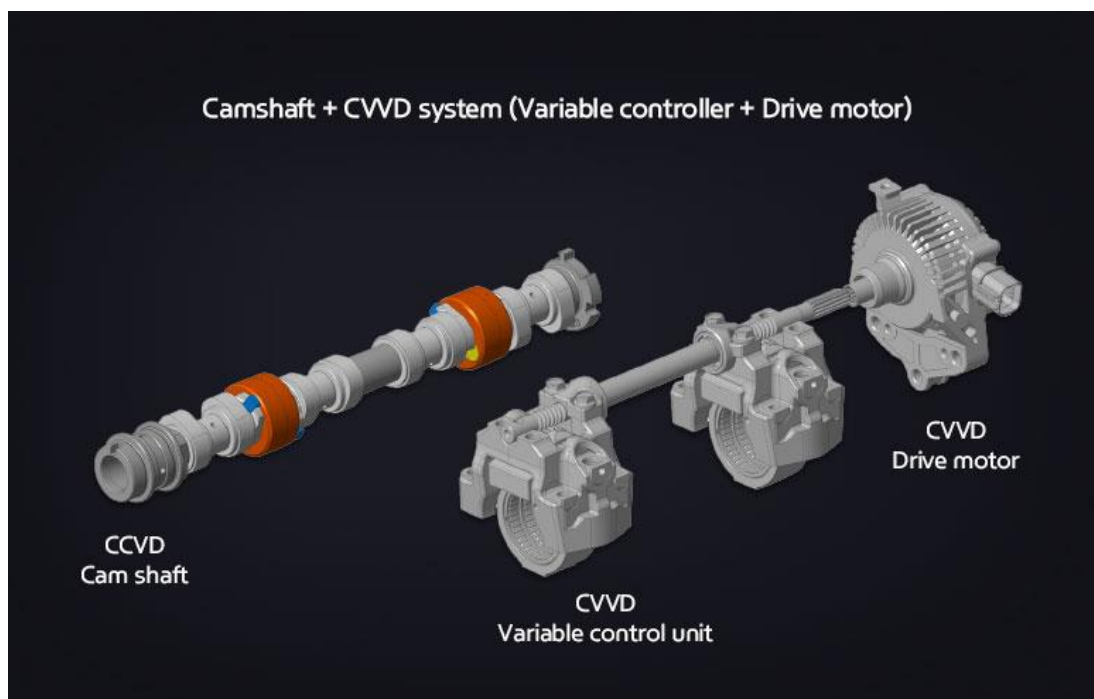


Obrázek 1.25: Skyactiv X, (carsguide.com, 2019)

Další technologií, která má snižovat emise, ale zároveň zvýšit výkon motoru, je technologie CVVD od automobilky Hyundai. Na rozdíl od technologie variabilního časování ventilů, kdy od určitých otáček motoru mění ventilový rozvod chod na sekundární vačku, technologie CVVD mění přímo dobu otevření ventilů.

Technologie pracuje na bázi variabilní doby otevření ventilů, které systém otevírá a zavírá podle provozních podmínek motoru. Výsledkem užití technologie má být snížení spotřeby o 5 %, snížení emisí o 12 % a zvýšení výkonu o 4 % (viz obrázek 1.26), (Rajput, 2018).

Podle vyjádření oficiálního zastoupení Hyundai v ČR technologie funguje následně: „Pokud vozidlo udržuje konstantní rychlost jízdy a motor musí přitom dosahovat nízkého výkonu, udržuje CVVD sací ventily otevřené až do poloviny kompresního zdvihu. Sací ventily jsou poté až do konce pracovní fáze komprese uzavřené. Snížením odporu při kompresi se zvyšuje hospodárnost. Naopak při požadavku vysokého výkonu, například při intenzivnější akceleraci nebo rychlé jízdě, se sací ventily zavírají na začátku fáze stlačování, aby se maximalizovalo množství vzduchu pro spalování. Výsledkem je vyšší točivý moment a lepší akcelerace.“ (press.hyundai.cz/,2019).

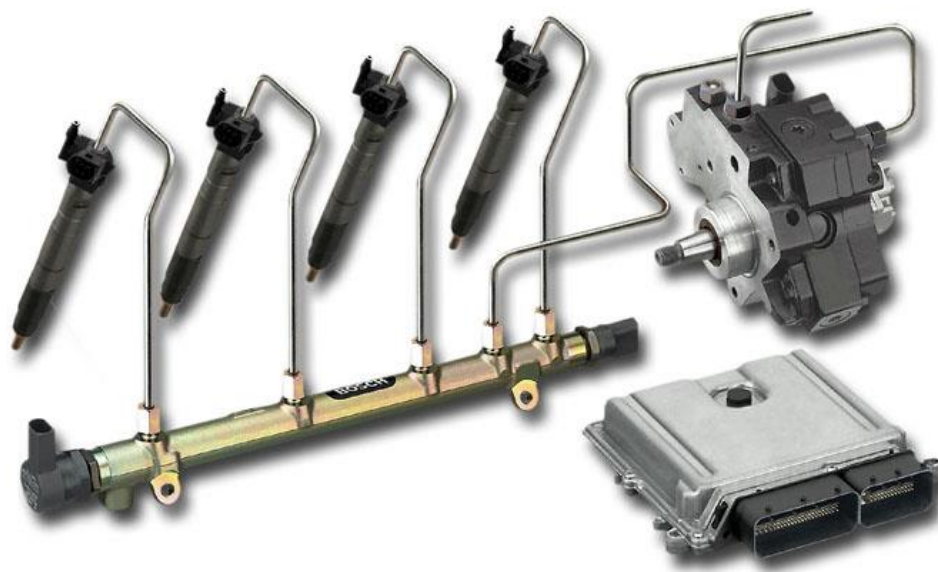


Obrázek 1.26: Konstrukce systému CVVD, (tech.hyundaimotorgroup.com/, 2021)

Na poli armádních vozidel nedošlo ve většině případů k představení výrazně odlišné koncepce motoru. Za zmínku stojí pokračující vývoj motoru s protiběžnými písty, který Ukrajina používá pod názvem KMDB 6TD-2 v moderním tanku T-84 Oplot-M, či vznětový přeplňovaný dvanáctiválcový motor A-85-3A s válci do X v ruském tanku T-14 Armata. Většina vozidel má ovšem základ stále v 70. až 80. letech minulého století, a tudíž pokračuje s moderními verzemi pohonných jednotek, které tyto stroje poháněli již dříve (Pejčoch, 2018).

Další z technologií, které v současnosti mění svět spalovacích motorů, je elektrické přeplňování, ale také elektrické roztáčení turbodmychadla. Systém přeplňování nevyužívá ani pohon klikové hřídele, ani recyklaci spalin, ale přeplňuje motor zařízením vytvářejícím tlak s elektrickým pohonem. Výhodou je okamžitá reakce a odstranění turbo díry a nulová zátěž motoru pro chod přeplňování. Nevýhodou je cena a vyšší spotřeba elektřiny ve vozu.

Technologie Common Rail (viz obrázek 1.27) procházela vývojem již od konce 60. let, do sériové produkce se ovšem dostala až koncem století. V současnosti se jedná o jednu z rozšířených technologií, kterou využívá většina vznětových motorů. Technologie pracuje na bázi vstřiku nafty pod vysokým tlakem, čímž dochází k lepšímu rozprášení paliva, které lepším hořením zamezuje tvorbě usazenin. Zároveň dochází k hoření ve výfuku, které pomáhá regeneraci filtru DPF. Vstřikovače jsou napojeny na lištu, ve které je palivo neustále pod tlakem pomocí vysokotlakého čerpadla. Technologii Common Rail dnes používá na dvě desítky automobilek a koncernů (Hromádko, 2011).



Obrázek 1.27: Součásti systému common rail, (apm.cz/, 2021)

Automobilka Koenigsegg používá u svého moderního supersportu Gemera technologii motoru bez vačkové hřídele Free Valve. Ventily motoru jsou otevírány pomocí pneumatického tlaku, který je dávkován podle počítače. Tím motor může variabilně měnit otevírání ventilů a přizpůsobit tak spalovací proces pro co nejlepší chod motoru a výkon. V motoru se tedy místo vačkové hřídele, která odebírá část výkonu motoru a vyžaduje vlastní rozvod, nachází ventily, pružiny, senzory polohy a hydraulická

zdvihadla. Motor tak může produkovat méně emisí a podávat vyšší výkon. Teoreticky je také možné přecházet mezi dvoutaktním a čtyřtákním chodem a spalovat více druhů paliv. Automobilka se také nechala slyšet, že plánuje výrobu levného modelu, který bude vybaven touto technologií, a který bude mít za cíl vyšší ekologičnost právě pomocí technologie Free Valve (viz obrázek 1.28), (Kim, 2007).



Obrázek 1.28: Technologie ventilů od automobilky Koenigsegg, (caranddriver.com, 2016)

2 Cíl práce

Cílem práce je vyhledání a vyhodnocení vzniku a vývoje konstrukcí spalovacích motorů a odpovědět na otázky:

1. Jaké jsou hlavní etapy vývoje spalovacích motorů?
2. Jaké jsou vývojové trendy v konstrukcích spalovacích motorů?

Dílčí cíle práce:

1. Zjistit vznik a vývoj konstrukcí spalovacích motorů.
2. Přehledně ukazatele zpracovat.
3. Odpovědět na otázky z cíle této práce.
4. Výsledky zhodnotit a uvést závěry pro praxi.

3 Metodika

Zdroje pro práci jsou čerpány z odborných publikací české i zahraniční produkce, které se zabývají tématem této bakalářské práce. Následně je průřez informací ze zdrojů zpracován pod jednotlivá témata, v pořadí dle rozdělení období vývoje spalovacích motorů. Zdroje obrázků jsou z internetu, v práci bylo také využito záznamu z konference a vědecké publikace pro témata, která ještě nejsou v žádné publikaci popsána. Jedná se o moderní technologie staré teprve několik let, o kterých se v publikacích nedají zjistit současné informace.

4 Diskuze

Odpovědi na otázky z cíle práce:

Jaké jsou hlavní etapy vývoje spalovacích motorů?

Hlavními etapami vývoje spalovacích motorů v této práci označujeme několik historických etap. Počínaje úvahami o využití páry.

Remek (2012) uvádí, že v 15. století se zabýval využitím páry Leonardo Da Vinci (1452-1519). Sestrojením prototypu parní turbíny ve století 16. začíná práce prezentovat historické období před rozmachem spalovacích motorů s vnějším spalováním, které jsou známé jako parní stroje. Následné historické období již popisuje skutečný počátek éry parních strojů, které daly vzniknout celému odvětví výzkumu a průmyslu, zároveň také rozmachu v dopravě, kdy se parní stroj používal jako hnací ústrojí pro první lokomotivy, na lodích, či jako pohon prvních vozidel. Po tomto období práce přechází do tématu vývoje zážehových motorů a jejich zdokonalování, vývoj dvoutaktního a čtyřtaktního spalovacího motoru a jejich první praktické využití. Následná kapitola práce shrnuje vývoj vznětových motorů a jejich rozšíření po vynálezu vysokotlakého vstřikování paliva. Po shrnutí počátků těchto konstrukčních řešení, které vrcholily před a během první světové války se dostáváme do meziválečného období, kde přichází Hesselmanův motor a jeho příchod na pole pozemní dopravy zboží. Po meziválečném období přichází druhá světová válka, která přináší mnoho technologií spalovacích motorů, z nichž jsou v období po druhé světové válce až do 70. let vyvinuty jejich civilní deriváty, které znamenají spolu s novými vynálezy na poli spalovacích motorů jejich masové zavedení do osobní dopravy. V kapitole 70. léta až konec tisíciletí pak v práci postupně prezentuji technologie spalovacích motorů, které zásadně měnili svět motorismu a spalovacích motorů, stejně tak využívám poznatků z vývoje motorů v motorsportu. Poslední kapitolou literárního přehledu je konec tisíciletí až po současnost, kde prezentuji moderní technologie a trendy na poli spalovacích motorů a zvýšení jejich efektivity i ekologické zátěže na okolí. Tímto odpovídám na otázku z cíle práce, jaké jsou hlavní etapy vývoje spalovacích motorů.

Jaké jsou vývojové trendy v konstrukcích spalovacích motorů?

Trendy vývoje spalovacích motorů se mění podle období a technologického poznání. Od prvních úvah Leonarda Da Vinciho, přes Cugnotův parní stroj a Ottův

čtyřtákní motor, až po první zážehové a vznětové motory, a následně druhou světovou válku, se dostáváme k funkčním spalovacím motorům, u kterých byla dále vylepšována spolehlivost, výkonost i spotřeba paliva. Až v 70. letech se dostává ke slovu ekologie a snaha regulovat ekologickou zátěž působenou stroji, které znamenaly revoluci ve vývoji lidstva. V současnosti se vývojové trendy pohybují kolem snížení dopadu provozu spalovacích motorů na životní prostředí a zároveň zamezení vyčerpání fosilních paliv. Proto se v současnosti dostávají do výroby alternativní pohony v čím dál vyšší míře.

Hromádko (2012) uvádí, že možnost brzkého vyčerpání zásob fosilních paliv představuje jeden z hlavních důvodů, proč podporovat alternativní pohon. Hlavní trendy se tedy mění na zvýšení tepelné účinnosti, produkování co nejmenšího množství emisí a snížení spotřeby paliv, také kvůli ekologické zátěži.

Hromádko et al. (2011) uvádí, že tepelná bilance motoru má vykazovat ve všech režimech práce takové hodnoty, které zajistí co nejhospodárnější provoz. Dále také uvádí, že produkce škodlivých emisí je dalším důvodem, který vede k hledání nových alternativních způsobů pohonů vozidel. Proto se vývojové trendy u automobilek jako je Hyundai, či Koenigsegg zaměřují na přepracování principu funkce hlavy motoru a tím pádem spalování směsi a dosažení vyšší tepelné účinnosti. U jiných automobilek naopak roste podíl vozů s alternativními pohony, které mají pomoci snížit ekologické dopady. Tím odpovídám na otázku z cílů práce, jaké jsou vývojové trendy konstrukcí spalovacích motorů.

Závěr

Budoucnost dopravy nabízí mnoho variant, a to od elektromobility, přes hybridní ústrojí až po moderní vznětové a zážehové motory s využitím syntetických paliv a vyšší tepelnou účinností než u jejich současníků. I přes politický tlak na omezení, či ukončení vývoje spalovacích motorů v Evropě dochází k dalšímu vývoji a zefektivnění funkce spalovacích motorů.

Seznam použité literatury

Seznam monografií

Hromádko, J. et al. (2011). *Spalovací motory*. Nakladatelství Grada.

Praha- ISBN: 978-80-247-3475

Hromádko, J. (2012). *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada., ISBN 978-80-247-4455-1.

Klein, R. a Davenport, J. (2011). *Group B*. McKlein Publishing, Cologne. ISBN 9783927458567

Klein, R. a Davenport, J. (2020). *Group A*. McKlein Publishing, Cologne. ISBN 9783947156214

Matricardi, P. (2019). *Velká kniha bojových letadel*. Edice knihy Omega, Praha. ISBN 978-80-7585-514-5

Pejčoch, I. (2018). *Encyklopedie Svět Tanků*. Zoner Press, Brno. ISBN 978-80-7525-166-4

Remek, B. (2012). *Automobil a spalovací motor*. Grada Publishing a.s, Praha. ISBN 8024735385.

Vanbervenn, B. (2012). *Historická vojenská vozidla*. Poznání, Praha. ISBN 978-80-87419-17-5

Seznam vědeckých periodik

Kosowatz, J. (2017). Rekindling the spark. *Mechanical Engineering*, 139.11: 28-33.

Kim, J., Lieu, D. K. (2007). A new electromagnetic engine valve actuator with less energy consumption for variable valve timing. *Journal of mechanical science and technology*, 21.4: 602-606.

Seznam článku ve sborníku z konference

Rajput, O. et al. (2018). Numerical Analysis of a Six-Stroke Gasoline Compression Ignition (GCI) Engine Combustion With Continuously Variable Valve Duration (CVVD) Control. *Proceedings of the ASME 2018 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference. Volume 1: Large Bore Engines; Fuels; Advanced Combustion*. San Diego, California, USA. 1-15.

Seznam webových zdrojů

commons.wikimedia.org (2005). *Nicolas-Joseph Cugnot: Cugnot's Cart*. [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FardierdeCugnot20050111.jpg>

en.wikipedia.org (2005). *Stephenson's Rocket* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Stephenson%27s_Rocket#/media/File:Stephenson's Rocket_drawing.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Stephenson%27s_Rocket#/media/File:Stephenson's_Rocket_drawing.jpg)

gasenginemagazine.com (2016). *The Mighty 175 Otto Engine* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.gasenginemagazine.com/gas-engines/otto-engine-zm0z16amzhur>

automotiveworld.com (2014). *A milestone in mobility: MAN drove the first truck with diesel direct injection 90 years ago* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.automotiveworld.com/news-releases/milestone-mobility-man-drove-first-truck-diesel-direct-injection-90-years-ago/>

wehs.net (2012). *Waukesha-Hesselman Oil Engines*. [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.wehs.net/hesselman.html>

flight-mechanic.com (2021). *Pressure Injection Carburetors – Typical Injection Carburetor* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.flight-mechanic.com/pressure-injection-carburetors-typical-injection-carburetor/>

cz.pinterest.com (2021). *Replacement of diesel engine in Type VIIC U-593* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/822751425652388059/>

<http://lucafusari.altervista.org> (2016). *Junkers Jumo 004-B* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <http://lucafusari.altervista.org/page7/RiedelAnlasser.html>

macsmotorcitygarage.com (2017). *Weird Warrior: Chrysler's A57 30-Cylinder Tank Engine* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.macsmotorcitygarage.com/weird-warrior-chryslers-a57-30-cylinder-tank-engine/>

muzeumgryf.pl (2021). *V-2 tank engine* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <http://muzeumgryf.pl/en/exhibits/v-2-tank-engine/>

lancesjeep.blogspot.com (2013). *1943 Willys MB Jeep Restoration Project* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <http://lancesjeep.blogspot.com/2013/06/engine-installed.html>

wired.com (2007). *Aug. 13, 1902: Birth Date of Rotary Engine's Inventor* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.wired.com/2007/08/dayintech-0813/>

cz.pinterest.com (2021). *VW Beetle engine diagram* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/237424211589334877/>

aa1car.com (2019). *Catalytic Converter* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.aa1car.com/library/converter.htm>

cz-pinterest.com (2021). *MI Abrams Power Pack* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/335307134734886311/>

armedconflicts.com (2011). *5TDF* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.armedconflicts.com/5-1058-1044-1060-t116589>

wankelspec.de (2015). *About Wankel Rotary Engine* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: https://www.wankelsupertec.de/en_rotary_engines.html

partsolutions.com (2021). *Engineering Hall of Fame: The Volkswagen "W" Engine and the Bugatti W16* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://partsolutions.com/engineering-hall-of-fame-the-volkswagen-w-engine-and-the-bugatti-w16/>

sportsubaru.com (2021) *Subaru Boxer Engine Explained* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.sportsubaru.com/subaru-boxer-engine.htm>

researchgate.net (2011) *A schematic diagram of EGR system* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-diagram-of-EGR-system_fig1_49619470

dpf-ftg.cz (2021) *Funkce DPF* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.dpf-ftg.cz/funkce-dpf>

themechanists.com (2019) *A cheat so brilliant it was applauded by rule makers* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.themechanists.com/2019/03/11/a-cheat-so-brilliant-it-was-applauded-by-rule-makers/>

carsguide.com (2019) *Mazda 3 2019: Skyactiv-X confirmed for Australian arrival this year* [online] [cit. 19.4. 2021]. Dostupné z: <https://www.carsguide.com.au/car-news/mazda-3-2019-skyactiv-x-confirmed-for-australian-arrival-this-year-73189>

tech.hyundaimotorgroup.com (2021) *Hyundai's Breakthrough Engine that Answers a 133-year Challenge* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://tech.hyundaimotorgroup.com/article/hyundai-announces-breakthrough-engine-that-answers-a-133-year-challenge/>

apm.cz (2021) *Díly systému common rail* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.apm.cz/dily-systemu-common-rail/>

caranddriver.com (2016) *Koenigsegg's Camshaftless Engine Explained; Watch It in Action* [Video] [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.caranddriver.com/news/a15349580/koenigseggs-camshaft-less-engine-explained-watch-it-in-action-video/>

press.hyundai.cz (2019) *Hyundai představil první motor na světě s technologií CVVD, která zvyšuje výkonnost a snižuje emise* [online] [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z: https://press.hyundai.cz/tiskove-zpravy/detail/27_2488-hyundai-predstavil-prvni-motor-na-svete-s-technologiei-cvvd-ktera-zvysuje-vykonnost-a-snizuje-emise

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Cugnotův parní stroj (wikimedia.org, 2021).....	11
Obrázek 1.2: Stephensonova lokomotiva Rocket (en.wikipedia.org, 2021).....	12
Obrázek 1.3: Ottův motor (gasenginemagazine.com, 2016).....	13
Obrázek 1.4: První nákladní automobil osazený vznětovým motorem od automobilky MAN z roku 1924 (automotiveworld.com, 2014).....	15
Obrázek 1.5: Průběh funkce hesselmanova motoru (wehs.net, 2012).....	16
Obrázek 1.6: Princip tlakového karburátoru, který vycházel z Anti-G karburátoru (flight-mechanic.com, 2021).....	17
Obrázek 1.7: Výměna vznětového motoru v německé ponorce během války (flickr.com, 2021)...	18
Obrázek 1.8: Motor typu boxer, který startoval proudový motor Jumo 004 B (ucafusari.altervista.org, 2016).....	19
Obrázek 1.9: Proudový motor Jumo 004 B (leteckemotory.cz, 2008).....	20
Obrázek 1.10: Schéma motoru Chrysler A-57 (macsmotorcitygarage.com, 2017).....	22
Obrázek 1.11: Tankový motor V-2 (muzeumgryf.pl 2021).....	23
Obrázek 1.12: Jeep Willys MB bez karoserie (lancesjeep.blogspot.com, 2021).....	23
Obrázek 1.13: První Wankelův motor (pinterest.com, 2021).....	25
Obrázek 1.14: Vzduchem chlazený boxer z VW Brouk (list-zone.cosavedereanapoli.it, 2021).....	26
Obrázek 1.15: Průřez katalyzátorem (aa1car.com, 2021).....	28
Obrázek 1.16: Plynová turbína tanku Abrams (pinterest.com, 2021).....	28
Obrázek 1.17: Schéma motoru 5TDF tanku T-64 (armedconflicts.com, 2004).....	29
Obrázek 1.18: Schéma wankelova motoru (wankelsupertec.de, 2015).....	30
Obrázek 1.19: Řezy motory včetně VR (partsolutions.com 2021).....	31
Obrázek 1.20: Půdorys motory včetně W12 (partsolutions.com, 2021).....	32
Obrázek 1.21: Průřez čtyřválcem typu boxer (sportsubaru.com, 2021).....	32
Obrázek 1.22: Schéma funkce EGR (researchgate.net, 2011).....	33
Obrázek 1.23: Schéma filtru DPF (dpf-ftg.cz, 2021).....	34
Obrázek 1.24: Nákres plovoucího restriktoru (themechanists.com, 2019).....	35
Obrázek 1.25: Skyactiv X (carsguide.com, 2019).....	36
Obrázek 1.26: Konstrukce systému CVVD (tech.hyundaimotorgroup.com, 2021).....	37
Obrázek 1.27 Součásti systému common rail (apm.cz, 2021).....	38
Obrázek 1.28: Technologie ventilů od automobilky Koenigsegg (caranddriver.com, 2016).....	39
