

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

**ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

VÝZKUMNÉ SPALOVACÍ MOTORY

INTERNAL COMBUSTION ENGINES FOR RESEARCH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN CHROMÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUBOMIR DRÁPAL

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2009/10



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Chromý Martin

který/která studuje v bakalářském studijním programu

obor: Stavba strojů a zařízení (2302R016)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výzkumné spalovací motory

v anglickém jazyce:

Internal combustion engines for research

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Průřez oblastí výzkumných spalovacích motorů z hlediska účelu, vývoje a konstrukce.

Cíle bakalářské práce:

Nastiňte oblasti výzkumu, pro něž se využívá právě výzkumných spalovacích motorů. Rozdělte tyto motory podle výzkumného účelu a nákladnosti na pořízení. Zmapujte historický vývoj v této oblasti. Pojednejte o konstrukci, parametrech a možnostech současných výzkumných spalovacích motorů, případně je mezi sebou porovnejte. Závěrem shrňte přínos těchto zařízení pro vývoj spalovacích motorů obecně.

Seznam odborné literatury:

- [1] RICARDO, H., HEMPSON, J. G. G. The High-Speed Internal-Combustion Engine. Blackie & Son Limited, London and Glasgow, Fifth edition, 1968.
- [2] KOŠTÁL, J., SUK, B. Pistové spalovací motory. Nakladatelství Československé akademie věd, První vydání, Praha, 1963.
- [3] PAYNE, M. L., Philosophy and Design of a Flexible Medium Speed Single Cylinder Research Engine. Society of Automotive Engineers, Inc., 1987. Document Number 871372
- [4] GEORGE, S. R., Design of a High-Compression, Direct-Injection, Spark- Ignition, Methanol-Fueled Research Engine With An Integral Injector-Ignition Source Insert. Society of Automotive Engineers, Inc., 2001. Document Number 2001-01-3651

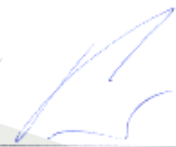
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lubomír Drápal

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 26.10.2009

L.S.




prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu


doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá vývojem a historií výzkumných spalovacích motorů. Pojednává o jejich konstrukci, parametrech a možnostech současných výzkumných motorů, dále nastiňuje oblasti výzkumu, po něž se využívají. Najdeme zde také, jaký je přínos těchto zařízení pro vývoj v této oblasti obecně.

Klíčová slova:

Historie

Testovací spalovací motor

Konstrukce

Typy spalovacích motorů

Annotation:

This Bachelor's Thesis is devoted to the evolution and history of experimental combustion engines. It is describing their construction, proportions and possibilities of the today's experimental engines and it also outlines the areas of research, what they are used for. We can also find here, what benefit means this equipment for the evolution in this area of research.

Keywords:

History

Test Combustion Engine

Construction

Types of Combustion Engines

Bibliografická citace mé práce:

CHROMÝ, M. *Výzkumné spalovací motory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 55 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lubomír Drápal.



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Ing. Lubomíra Drápala s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 28. května 2010

.....
Martin Chromý



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Poděkování

Poděkování věnuji panu Ing. Lubomíru Drápalovi za jeho obětavou pomoc, cenné rady, připomínky a návrhy při zpracovávání bakalářské práce. Dále chci poděkovat rodičům za podporu při studiu na vysoké škole a všem, kteří mě pomáhali během tohoto studia.

Obsah

1	Úvod	9
2	Historie spalovacích motorů	11
3	Rozdělení spalovacích motorů	16
3.1	Rozdělení dle druhu paliva	16
3.2	Rozdělení dle výměny náplně ve válci	16
3.3	Rozdělení dle způsobu tvoření směsi	17
3.4	Rozdělení dle způsobu zapálení směsi	17
3.5	Rozdělení dle průběhu hoření paliva	17
3.6	Konstrukční úprava, účel motoru	18
3.7	Hlavní typy pístových spalovacích motorů	18
3.7.1	Motory čtyřdobé	18
3.7.2	Motory dvoudobé	20
4	Termodynamika spalovacích motorů	21
4.1	Rozdělení diagramů	21
4.2	Početní model	21
4.3	Základní spalovací oběhy	21
4.3.1	Ottův cyklus	22
4.3.2	Dieselův oběh	23
4.3.3	Sabatův cyklus	23
5	Výzkumné spalovací motory	25
5.1	Historie testovacích motorů	25
5.2	Rozdělení výzkumných spalovacích motorů	36
5.2.1	Koncepce ekonomická	36
5.2.2	Standardní koncepce	36
5.2.3	Účelová koncepce	37
5.3	Současná nabídka výzkumných motorů na trhu	38
5.3.1	Ricardo	38
5.3.2	FEV	39
5.3.3	AVL	40

5.3.4	Lotus - The Omnivore.....	42
6	Moderní měřicí metody	44
6.1.1	Měření teploty pomocí vlnové délky	44
6.1.2	Diagnostika míchaní paliva ve válci	44
6.1.3	Měření tloušťky palivového filmu na dně pístu	45
6.1.4	Vysokorychlostní kamera pro sledování geometrie vstříku paliva	46
6.1.5	Diagnostika průběhu spalování	47
7	Přínos výzkumných testovacích motorů pro spotřebitele	48
7.1	2/4 Sight – Motor s plynulým přechodem mezi dvoud. a čtyřdob. režimem	48
7.2	Měření pasivních odporů pomocných agregátů spalovacích motorů	50
7.3	Určování oktanového a cetanového čísla	52
8	Možnost konstrukce výzkumné jednotky domovskou univerzitou	53
9	Závěr	54
10	Seznam použité literatury	55

1 Úvod

Tato práce pojednává o výzkumných spalovacích motorech. Nastiňuje oblasti výzkumu, ve kterých se užívají a zároveň popisuje základní rozdělení dle účelu a nákladnosti na pořízení. Mapuje historický vývoj a rozebírá konstrukci namátkově vybraných testovacích jednotek. V této práci byla také provedena studie nynějšího trhu a vytvořeno porovnání parametrů tří největších výrobců: Ricardo, FEV a AVL. Dále zde nalezneme pojednání o přínosu těchto jednotek pro vývoj spalovacích motorů obecně v podobě popsání dvou nynějších výzkumných grantů, které buď probíhají, nebo nedávno dokončeny. Nalezneme zde i historický vývoj spalovacích motorů obecně. Spolu s jejich jednoduchým rozdělením a popisem základních termodynamických cyklů užívaných v dnešních spalovacích motorech.

Dnešní automobilový průmysl je nucen požadavky, které na něj klade spotřebitel, k neustálému vývoji spalovacího motoru. Ať se jedná o výzkum na poli spalovacího procesu, nebo na poli vývoji paliv. Všude je nejprve užito tzv. testovací jednotky, na které je provedeno ověření a vyhodnocení nového poznatku a na základě výsledku měření, je až poté nasazen do praktické sériové výroby. Užitím tohoto postupu se značně minimalizují náklady na výzkum. Většina těchto testovacích jednotek je jednoválcových, tudíž zde jde ruku v ruce úspora nákladů, jak konstrukčních, tak i provozních.

Konstrukce těchto jednotek však není jednoduchá, jsou zde kladeny požadavky na univerzálnost a velkou modifikovatelnost celé konstrukce. Nezbytnou součástí moderního testovacího stanoviště je také kompletní diagnostický a měřicí systém, který je možno rozšířit i o systém automatického řízení, který zvýší efektivitu testovacího procesu v oblastech, pro které je jej možno užít. Co se týče moderních měřících metod, tomu se v této práci věnuje celá kapitola.

Vývoj motoru není levnou záležitostí, ale je životně důležitý k úspěchu na trhu. Motor je jednou z hlavních částí vozu, a proto je důležité, aby byl navržen tak, aby jeho výkon a trvanlivost byla vysoká a náklady na výrobu a údržbu nízké. Musí také splňovat předpisy, které jsou platné pro provoz na území, na kterém bude provozován, jako jsou různé emisní limity, limity hlučnosti a ekologické limity.

Směrem, kterým se dnes vývoj vozů a vozidlových motorů ubírá, se nazývá „downsizing“. Jedná se o snížení spotřeby paliva a tím i výraznému snížení tvorby tzv. „skleníkového plynu“ CO_2 , který probíhá snižováním objemu jednotky za dodržení stejného výkonu např. přeplňováním. Každá přední automobilka se v reklamních letácích dnes pyšní co nejmenší hodnotou spotřeby paliva na sto kilometrů a zároveň svojí ekologičností motoru, díky nízkému obsahu CO_2 , v hodnotách pohybující se ve stovkách gramů na kilometr. Toto bylo docíleno díky různým elektronickým systémům. Jedním z nich je systém schopný vypnout motor v režimu, kdy běží na volnoběh, tedy například při čekání na křižovatce, a posléze, když je potřeba, jej znovu okamžitě nastartovat. Dalšími způsoby z mnoha jsou speciální

úpravy spalovacích prostor nebo úpravy konstrukce vstřikovacího ústrojí. Všechny tyto systémy je nejdříve nutné navrhnout, posléze vyrobit a otestovat, aby byly plně použitelné do výroby. Zde se opět užívá testovacích jednotek, které jsou k tomuto účelu upraveny a jsou nenahraditelnou pomůckou, která napomáhá k velkým úsporám a poskytuje nejlepší možnost testování v rámci rentability výzkumu.



2 Historie spalovacích motorů

První myšlenka spalovacího motoru se datuje k roku 1791. Jejím tvůrcem byl anglický vědec Barber. Jeho vize spočívala v pohánění motoru proudem spalín plynu a vzduchu. První prototyp však neseštrojil on, ale roku 1794 jeho kolega Street, který pokračoval ve zdokonalování jeho myšlenky. Jednalo se o pístový spalovací motor poháněný parami terpentýnového oleje a vzduchu. Byl však pro svoji složitost prakticky nepoužitelný. (1)

Zhruba o 70 let později, tedy roku 1860, vznikl ve Francii spalovací motor, který používal jako palivo tehdy dosti rozšířený svítiplyn. Navrhnul a sestavil jej vědec Lenoir, který díky přelomové konstrukci umožnil jeho hojné využití v průmyslu. Jeho velikost však nedovolovala aplikaci ve všech segmentech průmyslu jako je například pohon vozu. Jednalo se o ležatý dvojčinný pístový motor se šoupátkovým rozvodem po vzoru tehdejších již funkčních parních strojů. Tyto motory byly schopny dosáhnout výkonu až 12 koní, jejich nevýhodou však byla nízká účinnost a vysoká spotřeba mazacího media. (1)

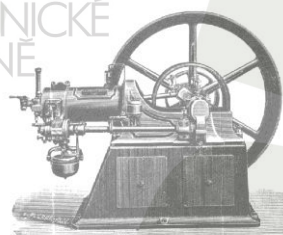
Další vývojový stupeň konstrukce motoru se datuje k roku 1867, kdy do vývoje zasáhla Německá konstrukční škola v podání Otta a Lageny z Kolína nad Rýnem. Představili na celosvětové výstavě v Paříži první atmosférický plynový motor, který byl řešen jako jednočinný stojatý. Místo klikového mechanismu, byla k pístu pevně připojena ozubená tyč, která zabírala do ozubeného kola na hlavní hřídeli. Tento motor měl velký celosvětový úspěch, protože v porovnání s předchozí konstrukcí měl nižší spotřebu pohonných hmot a maziva. Hlavní nevýhodou tohoto motoru byla velká stavební výška a nadměrná hlučnost spojená s nerovnoměrností chodu. (1)

Další koncepcí byl motor čtyřdobý s umělým zažehováním stlačené směsi. Princip tohoto motoru vznikl díky Francouzi Beau de Rochase z roku 1860. I když tato myšlenka byla pro vývoj motoru zlomovou, nepovedlo se její potenciál v tehdejší době plně využít. První funkční čtyřdobý motor o výkonu 0,5 koně při 200 otáčkách za minutu představil v Mnichově hodinář Reithmann roku 1873, který jej použil k pohonu své dílny. Motor byl však konstrukčně nedokonalý a proto byl jeho vývoj pozastaven. (1)

Jako počátek výroby spalovacích motorů na území Rakouskouherské monarchie, do které patřilo i území naší republiky, je označován rok 1875. Ve Vídni byla založena pobočka firmy Deutz pod názvem Langen & Wolf, obrázek vyráběného motoru můžete vidět na Obr. 1. (1)

Dalším milníkem v konstrukci motorů byl rok 1860, tehdy oživil Otto myšlenku hodináře Reithmanna a zdokonalil ji natolik, že mohl předvést na výstavě v Paříži roku 1878 ležatý čtyřdobý vodou chlazený motor na svítiplyn, který měl výkon 4 koně při 170 otáčkách za minutu. Tato koncepce měla hodně společného s myšlenkou dnešního používaného motoru, který můžeme vidět na Obr. 2. Provedení motoru bylo na tuto dobu velmi kvalitní a

projevovalo se klidným chodem. Jeho hlavní nevýhoda však spočívala ve vyšší spotřebě paliva. (1)



Obr. 1 - Langen & Wolf z roku 1875
(2)

Roku 1879 byl navržen ruským vědcem Kostovičem první motor používající jako palivo dnes tolik rozšířený benzín. Do této doby se benzín považoval za bezcennou složku ropy. Motor byl použit na pohon horkovzdušné vzducholodi. (1)

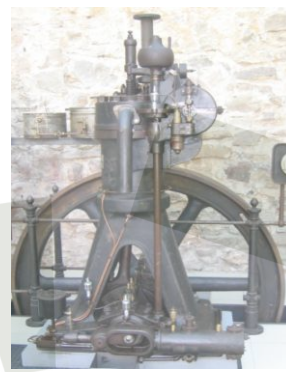
Počátkem roku 1884 byl postaven německým Daimlerem, na tu dobu dosti rychloběžný benzínový motor, který pracoval při 800 otáčkách za minutu, byl použitý pro pohon osobního automobilu. Tento historický moment by se dal označit jako zlomový, dokázal otevřít pole působnosti spalovacího motoru v automobilovém průmyslu. (1)

Historie vznětového motoru se datuje k roku 1883, kdy byl v Augsburgu Rudolfem Dieselem sestaven první pokusný prototyp, který však neměl chlazený válec. K vidění je na Obr. 3. Jeho účinnost se pohybovala okolo 26%, což bylo více než dvojnásobek účinnosti tehdejších parních strojů. V únoru 1897, sestrojil Rudolf inovovaný model, který běžel se 75% účinností. Jeho konstrukce byla vhodná pro průmyslové užití a byl demonstrován na veletrhu ve Francii v roce 1898. Tento motor byl provozován na arašídový olej. Důvodem použití tohoto zdroje energie, byla vize Diesela, že toto palivo bylo skvělé jak pro malé podnikatele, tak i pro zemědělce, z hlediska úspornosti a lehkosti jeho výroby. (3)

Přepřepřování motoru do menší a kompaktnější verze proběhlo roku 1920. Toto umožnilo širší spektrum aplikací, dokonce i v automobilovém průmyslu. (3)



Obr. 2 - Ottův motor z roku 1878
(4)



Obr. 3 - Dieselův motor z roku 1893
(3)

Vývoj vznětového motoru pokračoval dál, i po smrti Diesela, díky řadě vynálezců jako Clessie L. Cummins, který pracoval na odstranění mnoha chyb, jako je velikost, hmotnost a nestabilita palivového systému a tím dovedl vznětový motor do dnešní podoby, kdy jeho stěžejní využití spočívá k pohonu nákladních automobilů. (3)

Nyní se v popisu historie zúžíme jen na území naší republiky. Dalším důležitým rokem pro zážehový motor, byl rok 1887, kdy se dočkalo prvního výrobce i území naší republiky, jednalo se o firmu Bromovský a Schulz. První zmínka a této firmě byla z výstavy architektů a inženýrů v Praze, kde představovali benzínový spalovací motor vyrobený dle patentů vídeňského mechanika Marcuse. (1)

Na začátku 20 století, přesněji roku 1902, začala na našem území výrobu čtyřdobých motorů vlastní konstrukce firma František Wichterle v Prostějově, které sloužily pro pohon zemědělských strojů. Motor můžete vidět na Obr. 4. (1)



Obr. 4 - František Wichterle z roku 1902
(5)

Roku 1908 se již na výstavě, konané v Praze, vystavovalo větší množství výrobců jako například Fr. Kovařík – Prostějov, Wiesner – Chrudim, Colloredo-Mansfeldova strojírna v Dobříši, Strojírna a slévárna Antonína Dobrého – Mladá Boleslav, Bratři Jouzové v Pečkách, Vindyš na Smíchově, Malý v Libni a jiní. Byly zde vystaveny motory převážně benzínové o výkonu do 30 koní. Výjimku však tvořil motor Wiesnerův, který měl na tuto dobu úctyhodných 50 koní. Dále zde byl vystaven ležatý naftový motor firmy Ringhofferovy strojírny v Praze, schopný dodat výkon 50 koní při 175 otáčkách za minutu, který pod licencí také vyráběla Královopolská strojírna. Vystavovala zde i Kudliczova strojírna a slévárna v Praze svůj naftový motor vlastní konstrukce, který měl neuvěřitelný výkon 60 koní, v praxi se však neuplatnil. (1)

V období před první světovou válkou začala vyrábět motory větších výkonů i První Brněnská strojírna ve Velké Bíteši, vyráběly se dle licence Švýcarské Sulzerovy strojírny a motory byly určené na export do Rumunska. (1)

Rok 1899 datuje vznik automobilky Laurin a Klement, která roku 1910 spustila výrobu naftových bez kompresorových motorů dle patentu Holanďana Bronse. Tyto motory

dosahovaly výkonu od 4 do 20 koní. Byly zde později vyráběny i dvouválce o výkonech okolo 32 koní. Tímto vývoj vznětových motorů na našem území do první světové války skončil. (1)

Po první světové válce se vývoj pomalu začínal opět rozvíjet. Strojírna Breitfeld-Daněk v Praze začala vyrábět těžké motory pro říční lodě o výkonech 350 až 400 koní, dle patentu německé strojírny MAN Ebermann. Roku 1925 začala ČKD vyrábět rychloběžný naftový motor s uzavřenou konstrukcí. Motory se využívaly převážně pro lodě a drážní vozidla. Dosahovaly výkonů 1000 koní při průměru válce 420 mm. (1)

V bývalých Škodových závodech byla zavedena výroba dvoudobých naftových motorů typu Elwe, dle Švédské licence. Od roku 1930 se ale v závodech začalo pracovat na vlastní konstrukci dvoudobých a čtyřdobých motorů, které o dva roky později vytlačily výrobu těch licenčních. Brněnská Královopolská strojírna roku 1930 vyvinula a sestrojila v úzké spolupráci s Vídeňskou firmou Simmering několik naftových motorů konstrukce Lietzenmayer, které měly výkon 240 – 350 koní a byly použity pro osazení do železničních vozů. (1)

Uvádí se, že první vozidlový motor vyrobený na našem území byl představen roku 1897, kdy světlo světa spatřil první automobil „President“, který byl vyroben Kopřivnickou vozovkou na Moravě. Motor použitý v tomto voze byl čtyřdobý dvouválec o výkonu 5 koní při 600 otáčkách za minutu dle Benzových návrhů z roku 1895. V období let 1900 – 1905 byla značně zdokonalena tato konstrukce, která však už lehce zaostávala za požadavky kladenými spotřebitelem. Proto roku 1905 v automobilce začali vyrábět motor vlastní konstrukce, který se začal sériově vyrábět od roku 1914. Jeho užití bylo možné jak v nákladních, tak i v osobních vozech. Roku 1923 byla společnost spojena s Ringhofferovými závody, kompletně přebudována a získala dnes světoznámé jméno Tatra. Tato automobilka proslula svým světoznámým motorem chlazeným vzduchem. Jejich benzinový motor měl výkon 95 koní. Také zde vyvinuli i jeden z prvních naftových motorů, který byl chlazen jen vzduchem a byl určen pro nákladní automobily. Tento motor díky své univerzálnosti byl dokonce nasazován i k pohonu odlehčených železničních vozů. (1)

Rokem 1906 započala výroba osobních a nákladních automobilů a autobusů firmou Laurin a Klement, která se stávala stále známější a exportovala své výrobky převážně do zahraničí. Rok 1913 se vyznačoval pro automobilku tím, že došlo, ke spojení s Libereckým automobilovým závodem RAF. Díky tomuto spojení L&K převzala výrobu šoupátkových automobilových motorů konstrukce Knight. První světová válka automobilku značně oslabil a východisko našla až roku 1925, kdy byla sloučena s bývalými Škodovými závody v Plzni. Tímto úkonem vznikla automobilka Škoda roku 1919. Po začlenění Plzeňské automobilky do koncernu Škodových závodů, se této automobilce podařil velký vývojový skok. Po válce došlo k rozdělení Škodovky na jednotlivé závody. (1)

Automobilka Praga, později automobilové závody Klementa Gottwalda, která působila ve Vysočanech, byla založena dle písemných historických údajů roku 1909. První osobní automobil Praga, vyroben dle francouzského vozu Charon, vyjel roku 1907. Za více jak pětadesát letou historii si vybudovala jak u nás, tak i v zahraničí pověst výrobce automobilů s velkou trvanlivostí a bezporuchovostí. Jejich vozy byly osazovány nejčastěji benzinovými, vodou chlazenými motory s ventily po straně a se spalovacím prostorem dle Ricarda. Pro nákladní vozy Praga byl vytvořen u nás první vodou chlazený naftový motor dle koncepce Deutz. (1)

Pro náš trh a vývoj v historii spalovacích motorů také nesmíme opomenout vývoj v motocyklovém průmyslu. Díky motocyklům vznikly některé výše uvedené továrny a závody. Do této skupiny patří neodmyslitelně závod JAWA (Česká zbrojovka ve Strakonici). Zde se konstruovaly a vyráběly dvoudobé vzduchem chlazené jednoválcové motory kubatur od 50 cm^3 - 350 cm^3 . Také zde byly vyvinuty i motory čtyřdobé pro speciální modely motocyklů. Tyto stroje si vybudovaly velmi dobré renomé v zahraničí, proto byl o ně velký zájem a převážná část jich byla exportována. (1)

Tento historický nástin neobsahuje všechny důležité historické události, slouží pouze k informačnímu náhledu a doplnění mé práce.

3 Rozdělení spalovacích motorů

Spalovací motor je velice složité zařízení a jeho členění je komplikovanější záležitostí. Dělení se provádí podle základních charakteristických konstrukčních vlastností a celků.

Jako základní rozdělení můžeme považovat způsob spalování palivové směsi. Probíhá buď spojitě, což znamená, že směs je do spalovacího motoru neustále přiváděná a jsou souvisle odváděny spaliny vykonávající užitečnou práci (proudové, popř. turbínové motory), nebo nespojitě, kdy probíhají jednotlivé termodynamické děje, cyklicky se opakující. Užitečná práce je vykonávána pomocí expanze v uzavřeném prostoru. Tyto motory nazýváme pístovými spalovacími. Vzhledem k zaměření práce nyní bude dále pojednáno o rozdělení této druhé zmiňované skupiny. (1)

Pístové spalovací motory lze účelně členit pomocí několika hlavních hledisek. Podle druhu paliva, způsobu tvorby směsi, postupu plnění pracovního válce, způsobu zapálení palivové směsi, průběhu hoření palivové směsi a konstrukční úpravy. (1)

3.1 Rozdělení dle druhu paliva

V dnešních pístových spalovacích motorech je možné spalovat všechna skupenství paliv, některá jsou využívána hojněji, jiná jen výjimečně. Podmínkou účelného a hospodárneho spalování je schopnost paliva tvořit se vzduchem, nejčastěji s atmosférickým kyslíkem, dobře zápalnou směs s velkou výhřevností. (1)

Plynná paliva mají v dnešní době velký potenciál a čeká se, že jejich užití bude v budoucnu podstatně vyšší než dnes. Nyní se užívá nejčastěji zemního plynu a LPG, probíhají však funkční studie se spalováním vodíku, který je dnes považován za palivo budoucnosti. (1)

Kapalná paliva jsou dnes vzhledem k jejich lehkému skladování jedněmi z nejrozšířenějších. Jedná se nejčastěji o deriváty ropy v podobě benzínu, nafty a leteckých benzínů. Jejich hlavní nevýhodou je jejich omezené množství, které nás v budoucnu donutí přejít na jiný druh paliva. (1)

Pevná paliva dnes používána jen zřídka, v úvahu lze vzít nanejvýše jejich použití pro výrobu paliv ve skupenství plynném a kapalném v podobě hydrogenace uhlí. Důvodem je špatné prohoření spalované směsi a nízká životnost motoru použitého k jejich spalování, z hlediska zvýšené tvorby uhlíku. (1)

3.2 Rozdělení dle výměny náplně ve válci

Toto dělení spočívá v typu děje, použitého v pracovním cyklu motoru, při kterém probíhá odvod spalin a přívod nové směsi ke spálení. K plnění spalovacího prostoru dochází buď pomocí podtlaku při nasávacím zdvihu, což je typické pro čtyřdobý motor s přirozením

sáním, nebo přetlakem nové náplně, který je charakteristický pro motory dvoudobé, či čtyřdobé přeplňované. (1)

3.3 Rozdělení dle způsobu tvoření směsi

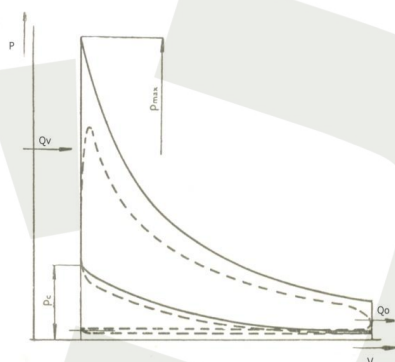
Tvorba směsi paliva a plynu může probíhat buď vně spalovacího prostoru, nebo těsně před ním (karburátor, vstřikování paliva do sacího, resp. plnicího potrubí). V dnešní době s rozvojem vstřikovacích systémů je značně rozvinuta forma přímého vstřikování do spalovacího prostoru. Palivo se dodává do nasávaného vzduchu při plnění a kompresi. Toto řešení značně zvyšuje efektivitu spalování paliva. (1)

3.4 Rozdělení dle způsobu zapálení směsi

V dnešní době se k zapálení spalované směsi u zážehového motoru používá výhradně umělého zážehnutí pomocí vnějšího zdroje. Důvodem je přesná řiditelnost, která je dnes potřebná z hlediska efektivit a chodu motoru. U vznětových motorů se využívá samočinné vznícení kompresí, které probíhá tak, že ve válci se vzduch stlačuje do bodu, kde je jeho teplota vyšší než teplota vznícení paliva. V tento okamžik je do spalovacího prostoru vstříknuta přesná dávka paliva, která se vznítí a odpaří. (1)

3.5 Rozdělení dle průběhu hoření paliva

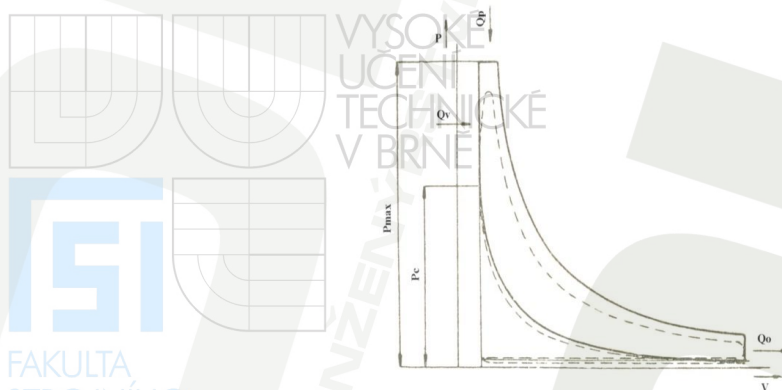
Toto dělení probíhá dle použití typu nejdůležitějšího pracovního cyklu motoru, který je závislý na počátečním tlaku a je odvozen od typu pracovního děje motoru. Probíhá buď při stálém objemu (spalování izochorické), viditelné na Obr. 5, nebo při stálém tlaku (spalování izobarické), viditelné na Obr. 6, nebo kombinovaně. Kdysi navrhované spalování při stálé teplotě (spalování izotermické), viditelné na Obr. 7, zůstalo zcela bez významu díky složitosti udržení požadované teploty a řízení děje. Diagram s rovnotlakým přívodem tepla zobrazuje poměrně vysoký kompresní tlak, který je shodný s nejvyšším spalovacím tlakem, který již při hoření paliva neroste. (1)



Obr. 5 - Teoretický a indikátorový diagram
čtyřdobého motoru s izochorickým přívodem tepla
(1)



Obr. 6 - Teoretický a indikátorový diagram
čtyřdobého motoru s rovnotlakým přívodem tepla
(1)



Obr. 7 - Teoretický a indikátorový diagram čtyřdobého motoru se smíšeným přívodem tepla
(1)

3.6 Konstrukční úprava, účel motoru

Toto členění motorů je velmi obsáhlé, a proto bude poněkud zjednodušeno, v podobě vypsání několika základních dělení.

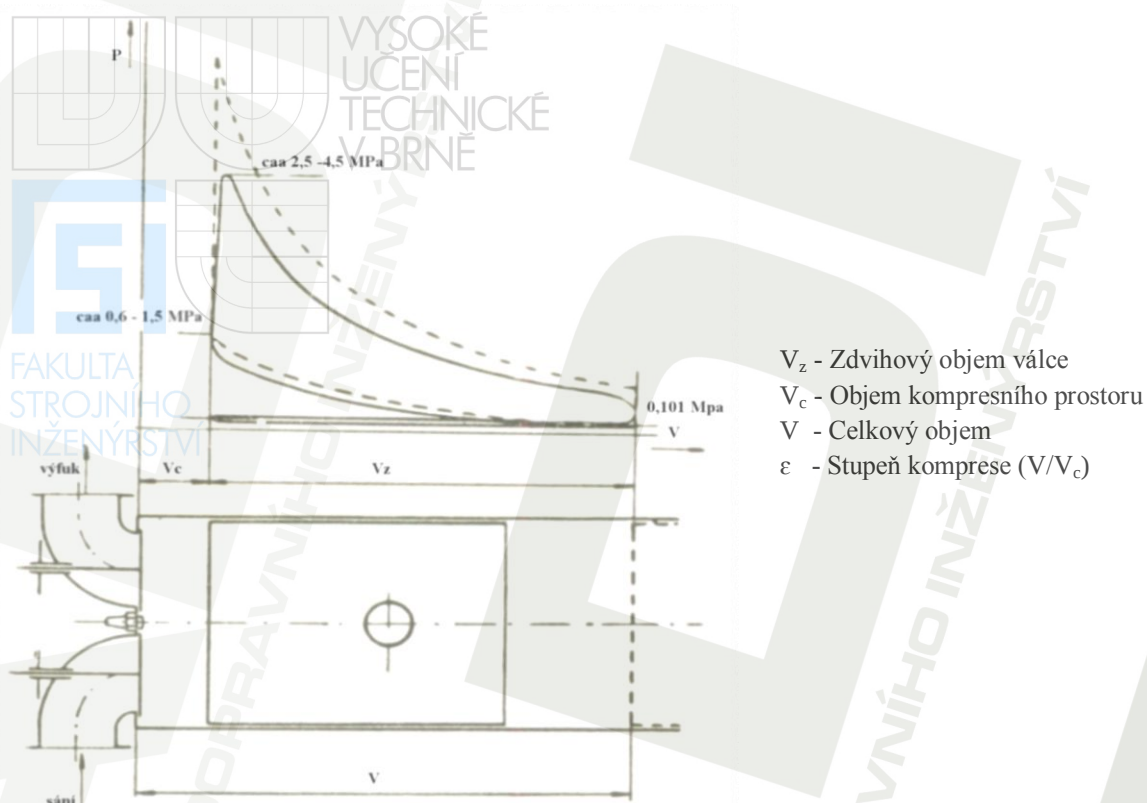
Z hlediska konstrukčního lze motory rozdělit na stojaté-ležaté, jednoválcové-víceválcové, jednočinné-dvojčinné, bez křížáku-křížákové a jiné. Dle účelu dělíme motory na stacionární, lodní, vozidlové, drážní, automobilové, letadlové a speciální. K dalšímu dělení je použito nejvyšších jmenovitých otáček motoru, na volnoběžné, rychloběžnější a rychloběžné. Jako další faktor je použito členění dle určitých charakteristických vlastností a uspořádání válců na řadové (myšleno v rámci jedné roviny), vidlicové (s dvěma řadami válců nad klikovým hřídelem do tvaru V), ploché (zpravidla se dvěma řadami válců proti sobě ve vodorovné rovině), hvězdicové, tandemové. Ve zvláštních případech se používají i konstrukční řešení a uspořádání válců do tvaru písmen: W, U, H. U spořádáním do tvaru trojúhelníku, čtyřúhelníku i více úhelníku. (1)

3.7 Hlavní typy pístových spalovacích motorů

Pístové spalovací motory lze dle výměny náplně ve válci rozdělit do dvou hlavních skupin: na motory čtyřdobé a dvoudobé. Každou z nich pak lze dále dělit dle průběhu spalování na rovnotlaké, výbušné a smíšeně spalující. (1)

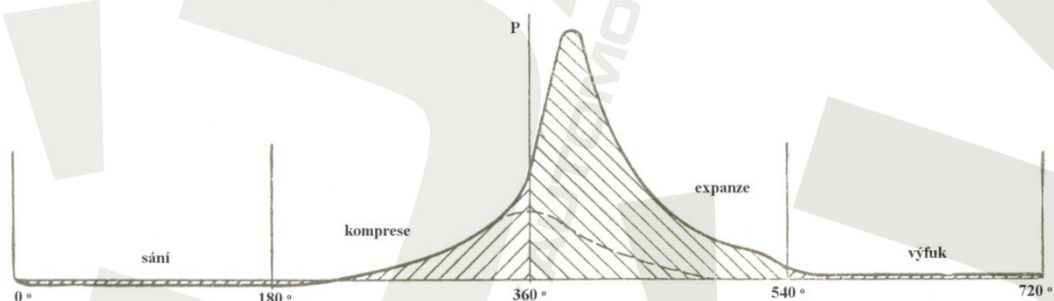
3.7.1 Motory čtyřdobé

Pro tuto koncepci je charakteristické, že jejich pracovní cyklus probíhá ve čtyřech zdvizech, což jsou dvě otáčky klikového hřídele. Pracují na plynná nebo kapalná paliva při nižším stupni komprese. Na Obr. 8 je znázorněn pracovní cyklus. (1)



Obr. 8 - Schéma pracovního válce a indikátorový diagram čtyřdobého výbušného motoru (1)

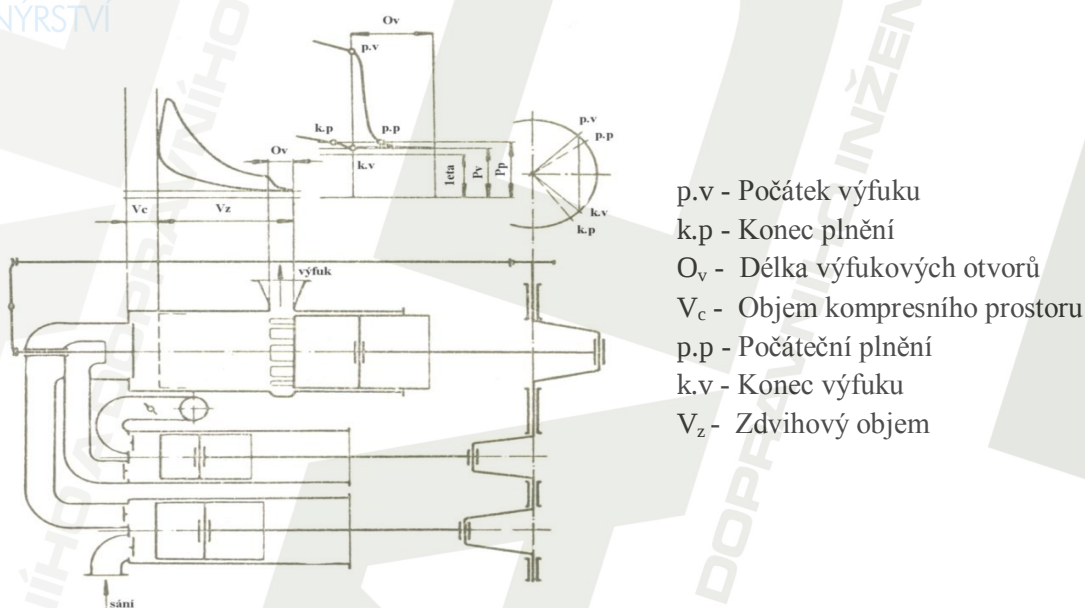
Prvním zdvihem je do spalovacího prostoru nasávána směs. Následujícím kompresním zdvihem se nasávací ventil zavře a stlačuje se nasátá směs. Třetí zdvih, expanzní, je pracovním zdvihem a po zažehnutí a vznícení palivové směsi je píst působením expanzního tlaku spalín posunut do dolní úvratí. Poté následuje čtvrtý zdvih, výfukový, při kterém se otevře výfukový ventil, spaliny odcházejí z válce, tím klesne tlak a píst se posouvá opět do pozice, kdy začíná první zdvih. Na konci tohoto zdvihu, jsou v jeden moment otevřeny oba ventily, po krátké chvíli je výfukový ventil uzavřen a celý cyklus se opakuje. Na Obr. 9 je zobrazen i indikátorový diagram, který umožní udělat si přehled o tom, jaký je průběh tlaků ve válci. (1)



Obr. 9 - Rozvinutý indikátorový diagram čtyřdobého výbušného motoru (1)

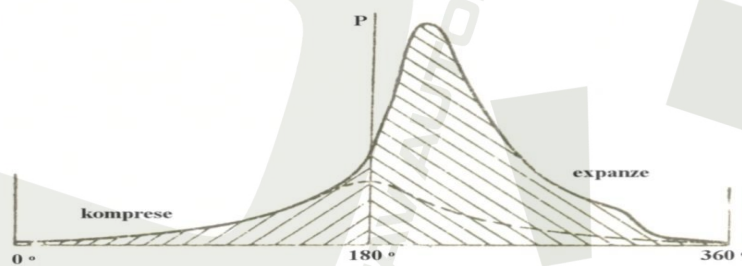
3.7.2 Motory dvoudobé

Jak již z názvu této podkapitoly vyplývá, že se jedná se o motory, jejichž pracovní cyklus probíhá během dvou zdvihů pracovního válce, tj. při jediném otočení klikového hřídele. Konstrukce pístu dvoudobého motoru se od toho čtyřdobého výrazně liší. Je to způsobeno jiným typem plnění tohoto motoru. U čtyřdobého je k plnění užito ventilů, kdežto u tohoto motoru je toto provedeno jen v ojedinělých případech, kde ventily slouží jako výfukové. Častěji se k plnění a vyprazdňování válce využívá otvorů vyvrtaných v jeho stěně, které jsou však speciálně umístěny, aby plnily svůj účel. Pracovní oběh je zobrazen na Obr. 10. (1)



Obr. 10 - Schéma pracovního válce a indikátorový diagram dvoudobého výbušného motoru
(1)

První zdvih, nazývaný expanzní, probíhá tak, že stlačená směs je ve válci zažehnuta a vzniklý tlak tlačí píst kupředu. Tím dojde k odkrytí výfukových otvorů a přecházíme k druhému zdvihu výfukovému a plnicímu. Do pístu je tlačena nová směs pod vyšším tlakem, která je opět zažehnuta. Opět uvádím pro představu průběhů tlaků ve válci indikátorový diagram, který je k vidění na Obr. 11.



Obr. 11 - Rozvinutý indikátorový diagram dvoudobého motoru
(1)

4 Termodynamika spalovacích motorů

Termomechanika spalovacího motoru je velmi složitý proces, který je složen z několika termodynamických změn, které tvoří uzavřený cyklus a tento je možné v daném zařízení opakovat. Popisován je pomocí tepelných diagramů v souřadnicích p - V a T - S , kterých známe několik druhů. (6)

4.1 Rozdělení diagramů

Diagramy se zjednodušeně dělí podle znázornění zobrazovaných veličin.

Indikátorový diagram – Diagram popisující průběh tlaků ve válci v závislosti na poloze pístu. Tento typ diagramu je sestavován převážně na pokusných motorech při přímém měření a slouží jako výstup z měřicího zařízení. (6)

Ideální diagram – V tomto diagramu jsou zobrazeny termodynamické změny základních veličin v idealizovaném zařízení s ideálním plynem, jedná se spíše o teoretický diagram. (6)

Porovnávací diagram – Jedná se o diagram, který spojuje předchozí dva typy do jednoho. Slouží k porovnání reálného děje s teoretickým. (6)

4.2 Početní model

Početní model spalovacího procesu motoru je velice složitý a výpočet je možný jen za pomoci počítačové techniky a vhodného matematického modelu. Pro zjednodušený modelový výpočet, který lze provádět bez výpočetní techniky, se muselo zavést mnoho zjednodušujících předpokladů, které jsou uvedeny níže. (6)

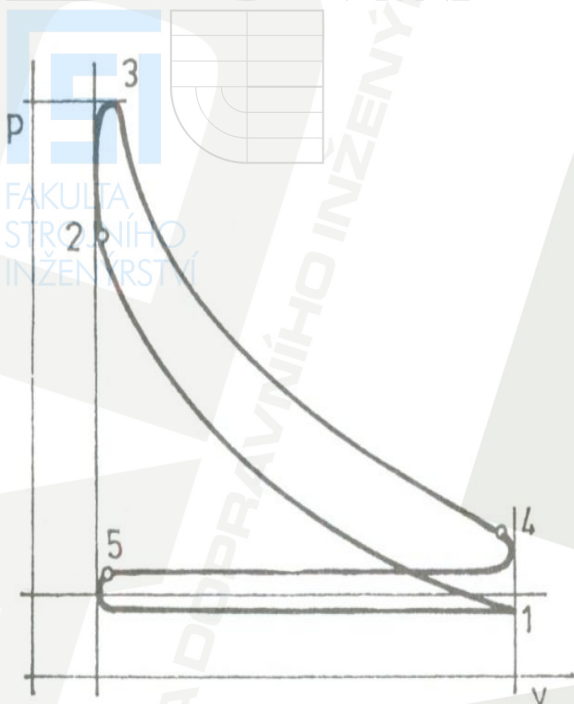
- 1) Pracovní oběh je dokonale vratný
- 2) Pracovní oběh je uzavřený a nedochází k výměně náplně válce
- 3) Pracovní látkou je ideální dvouatomový plyn nebo vzduch
- 4) Pracovní válec je dokonale těsný, tepelně izolovaný
- 5) Přívod tepla do cyklu, a také jeho odvod, probíhá buď při stálém objemu (izochoricky) nebo při stálém tlaku (izobaricky), případně oběma způsoby a to nejprve izochoricky a následně izobaricky. (6)

4.3 Základní spalovací oběhy

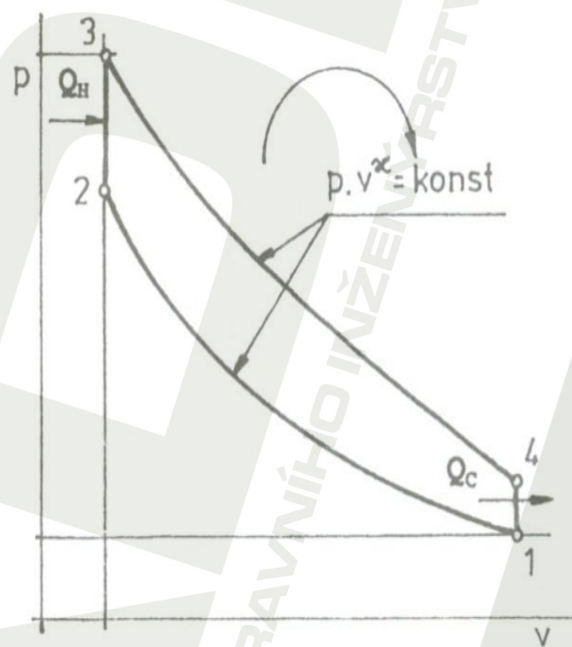
V této části práce budou uvedeny pro představu tři základní spalovací oběhy užívané dnes ve spalovacích motorech.

4.3.1 Ottův cyklus

Tento cyklus modelově popisuje činnost čtyřdobého zážehového spalovacího motoru, který dnes hojně využívá pro pohon osobních automobilů. (6)



Obr. 12 - Indikátorový diagram zážehového motoru
(6)



Obr. 13 - Porovnávací diagram
(6)

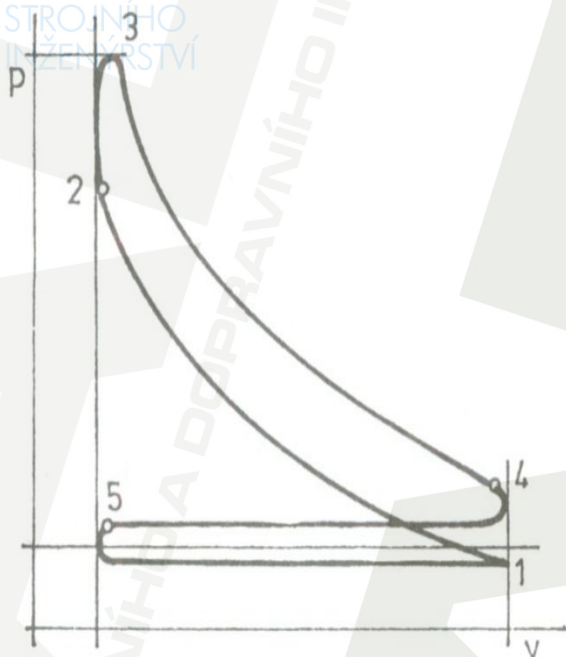
Na Obr. 12 je indikátorový diagram, který popisuje stav, který probíhá v motoru. Při pohybu pístu z levé krajní polohy do pravé krajní polohy probíhá sání. Do pracovního prostoru motoru proudí směs vzduchu a benzinových par, toto končí v bodě 1. Při pohybu vlevo začíná komprese při zavřených rozvodových ventilech. V bodě 2 je pracovní látka zapálena elektrickou jiskrou. Dochází následně k hoření směsi a tlak prudce stoupá až k hodnotě dané bodem 3. Poté následuje expanze vzniklých zplodin. V bodě 4 se otevře výfukový ventil a spaliny jsou vytlačovány do okolí při mírném přetlaku v pracovním prostoru. V bodě 5 je výfuk ukončen a cyklus opět začíná sáním čerstvé směsi. (6)

Porovnávací diagram, který je zobrazen na Obr. 13, je značně zjednodušen a skládá se z následujících 4 termodynamických změn. (6)

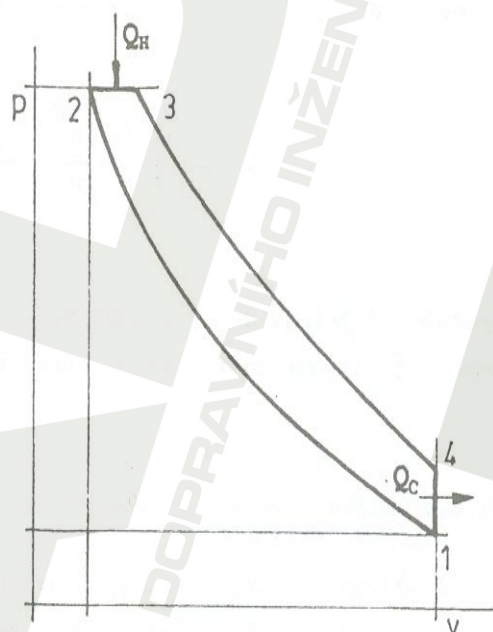
1. 1-2 Adiabatická komprese pracovní látky
2. 2-3 Přívod tepla - izochora
3. 3-4 Expanze zplodin, hoření, adiabata
4. 4-1 Odvod tepla - izochora

4.3.2 Dieselův oběh

Cyklus je charakteristický tím, že pracovní prostor je naplněn čistým vzduchem, který je posléze stlačován. Tímto jeho teplota prudce vzrůstá do stavu, kdy se dosáhne teploty vznícení paliva – motorové nafty. V tomto momentu je pomocí vstřikovací jednotky rozprášeno do spalovacího prostoru palivo, které hoří při téměř konstantním tlaku. Kompresní poměr u tohoto způsobu tepelného oběhu je vysoký, což je nutné k tomu, aby výsledná teplota po kompresi byla vyšší, než teplota vznícení paliva. (6)



Obr. 14 - Indikátorový diagram
(6)



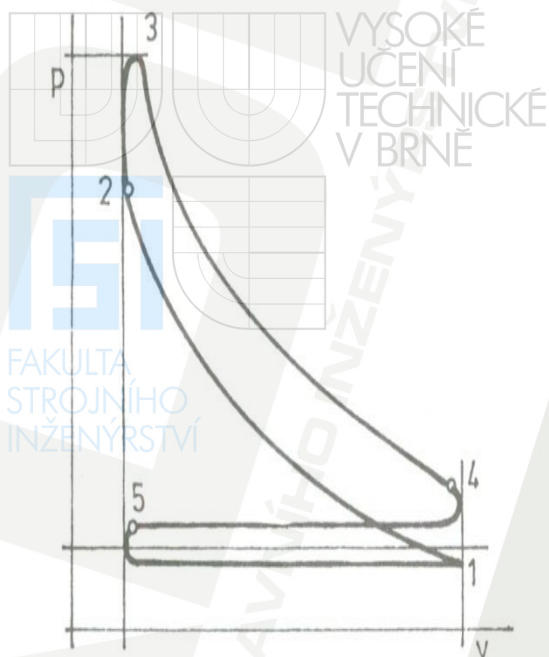
Obr. 15 - Porovnávací diagram
(6)

Porovnávací diagram Dieselova oběhu je zobrazen na Obr. 15 a skládá se ze 4 termodynamických změn. [6]

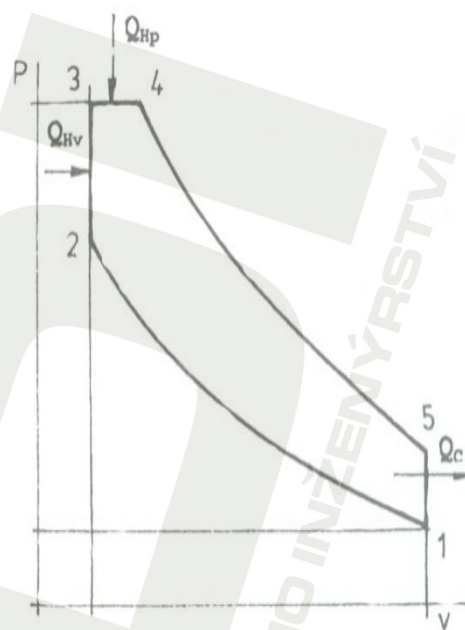
1. 1-2 Komprese pracovní látky - adiabata
2. 2-3 Izobarický přívod tepla
3. 3-4 Adiabatická expanze zplodin - hoření
4. 4-1 Odvod tepla - izochora

4.3.3 Sabatův cyklus

Tento cyklus z hlediska přívodu tepla zahrnuje kombinaci obou předchozích, tedy teplo je dodáváno jak za konstantního objemu, tak tlaku. Proto bývá pro tento oběh používáno označení „Cyklus se smíšeným přívodem tepla“. (6)



Obr. 16 - Indikátorový diagram
(6)



Obr. 17 - Porovnávací diagram
(6)

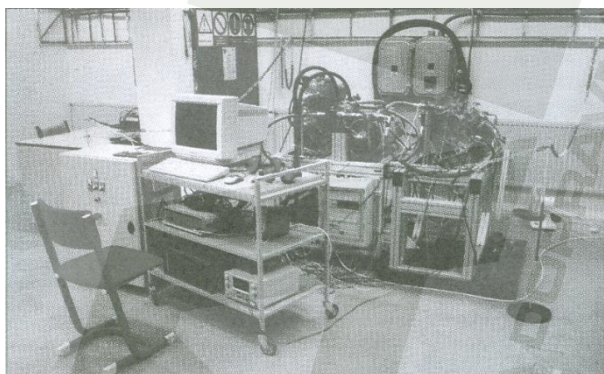
Na Obr. 16 je znázorněn opět indikátorový diagram Sabatova oběhu. Tento diagram se od minulého liší pouze způsobem přívodu tepla. Porovnávací diagram Sabatova oběhu je zobrazen na Obr. 17 a skládá se z 5 termodynamických změn. (6)

1. 1-2 Komprese pracovní látky – Adiabata
2. 2-3 Izobarický přívod tepla
3. 3-4 Izochorický přívod tepla,
4. 4-5 Adiabatická expanze
5. 5-1 Odvod tepla – Izochora

5 Výzkumné spalovací motory

Účelem výzkumného spalovacího motoru je poskytnout provozní informace o testované součásti či ději na bázi výstupních naměřených dat v podobě záznamu o teplotě, tlaku, otáčkách, výkonu, množství spotřebovaného paliva a všech ostatních požadovaných informací, které se odvíjejí od zaměření výzkumu. Využití těchto jednotek je dnes podmínkou k úspěšnému řešení konstrukčních úprav a zhodnocení jejich dopadu na celkovou konstrukci motoru a jeho životnosti.

Moderní testovací stanice jsou dnes vybaveny kompletní soustavou měřících, diagnostických a řídicích systémů, které jsou schopny vyhodnocovat průběh testu v reálném čase a na základě zadaných limitních hodnot a jsou schopny test samy pozastavit, aby nedošlo k poškození celé soustavy, která není levnou záležitostí. Příklad takovéto jednotky je viditelný na Obr. 18. Tuto jednotku sestrojila firma Lenam na objednávku ministerstva průmyslu a obchodu České republiky. (7)



Obr. 18 - Moderní výkonné hospodářství firmy Lenam
(7)

5.1 Historie testovacích motorů

Z dostupných zdrojů doporučené literatury jsem zvolil k popsání historie výzkumných motorů informace z knihy The High-Speed Internal-Combustion Engine, která je směřována k popisu vývoje ve firmě Ricardo.

Sir Harry Ricardo výzkumu spalovacích motorů věnoval celý svůj život. První zmínky o jeho výzkumné činnosti se datují roku 1904 v období, kdy dokončil univerzitu v Cambridgi. Zde v laboratořích při svém studiu, pod vedením profesora Bertrama Hopkinsna, prováděl výzkum na třech dostupných motorech. Prvním byl plynový jednoválcový motor o výkonu 40 koní. Dalším motorem byl čtyřválcový Daimler o výkonu 16 koní poháněný benzínem. Poslední jednotkou v laboratoři byl dvouválcový motor domácí výroby poháněný benzínem o výkonu 12 koní. Zde se spolu s profesorem zabývali problematikou spalování rychloběžných motorů. Diagnostické a měřící zařízení bylo v té době velmi hmotné a nepřilíš přesné, proto

Hopkinson ve spolupráci s Ricardem vynalezli velice efektivní optický indikátor, který zaznamenával velmi rychle a přesně změny tlaku při spalování. Díky tomuto zařízení se mohl začít řešit problém se samovznícením tak, aby nedocházelo k detonačnímu spalování, často popisovaném slangově jako “klepání”. Tato otázka byla velice časově náročná a profesor Hopkinson ji nestihl úplně vyřešit. (8)

Ricarda však tento problém velice zaujal, a proto se rozhodl, že ve výzkumu bude pokračovat sám. Roku 1907 tedy veškerý svůj volný čas věnoval k jeho řešení. Pozoroval, že pokud motor běží na plný výkon, tak je náchylný k samovznícení benzín, na rozdíl od benzolu. Dále, pokud motor nechal spalovat petrolej, tak samovznícení nenastalo vůbec, nebo jenom minimálně. Tímto zjištěním došel k názoru, že náchylnost k samozápalům, kterou řešil spolu s profesorem Hopkinsonem, se odvíjí od typu použitého paliva a jeho vlastnostech. Dále konstatoval, že samovznícení je velice důležitý fenomén, který se velice špatně ovládá a přímo ovlivňuje výkon motoru, proto se rozhodl, že je třeba zkoumat palivo a jeho vlastnosti. (8)

Tato oblast nebyla v té době dostatečně probádána, a proto se pro Ricarda stala velkou výzvou. Navrhl a vyrobil speciální jednoválcovou čtyřdobou testovací jednotku, která byla primárně určena ke zkoušení paliva. Později však byla využita i k výzkumu vlivu přeplňování, kterého se využívalo v tehdejších leteckých motorech. Pro tuto simulaci užil speciálně upraveného uzavřeného karburátoru na simulaci nadmořské výšky. Tato konstrukce byla hotova roku 1913. (8)

Při práci na této výzkumné jednotce využil předchozí návrhy, jako motor s nezkráceným klikovým mechanismem (použitý v roce 1916 pro pohon tanků) a speciální tvar spalovacího prostoru částečně v bloku motoru. U tohoto spalovacího prostoru byly použity talířové ventily, přičemž výfukový byl umístěn v bloku a sací (mechanicky ovládaný) přímo nad ním. Svíčka se pak nacházela v blízkosti ventilů. Jejichž vinou musel být upraven i píst a hlava válce. Spodní strana pístu sloužila (podobně jako u dvoudobých motorů) k předběžnému stlačení vzduchu, který byl dále využit k plnění samotného motoru, jehož výkon byl měřen ve stejnosměrném dynamometru s derivačním zapojením. Rotor dynamometru byl v rámu uložen na kuličkových ložiskách. S kompresním poměrem 4,6 : 1 a přeplňováním se motor při plném zatížení projevoval značnými detonacemi při spalování benzínu, na rozdíl od benzolu, který zvládl spalovat i s nejvyšším plnicím tlakem. (8)

Další výzkumnou jednotku sestavil Ricardo v období po první světové válce. Cílem bylo vytvořit motor s proměnným kompresním poměrem, který umožnil jeho měnitelnost za chodu ve velkém rozsahu a vytvořit tak nástroj na efektivní testování paliv. Motor byl osazen válcem na tuto dobu s dosti velkým objemem, který se pohyboval okolo 2 litrů. Byl vrtán na průměr 114 mm a dosahoval zdvihu 203 mm. Hlava válce byla díky těmto rozměrům robustní a větší, než byla používána v soudobých motorech. Uvnitř válce se pohyboval velmi lehký hliníkový píst s tenkým pláštěm, který byl prostřednictvím pístního čepu spojen s lehkou

ojnicí s trubkovým dříkem. U tohoto motoru bylo použito kuličkových ložisek tam, kde se běžně používají kluzná. Toto mělo za následek výrazné snížení třecích ztrát, generujících teplo, a tímto se značně ovlivnilo tepelné přetěžování klikové skříně při plném zatížení motoru. (8)

Válec byl chlazen vodním pláštěm po celé své délce, aby se tepelně nedeformoval. Hlava válce pak byla opatřena dodatečnými chladícími žebry, obtékanými chladicí kapalinou, zejména v tepelně velmi exponovaných místech zapalovací svíčky a sedla výfukového ventilu. Toto mělo za úkol držet celý válec, pokud možno při konstantních teplotách a snížit tím i teplotu oleje a udržovat ji v předepsaných mezích, kdy byla dosahována požadovaná viskozita. Proměnného kompresního poměru je u tohoto motoru dosaženo pomocí mechanismu s mikrometrickým závitem, přičemž maticí je vložka, otočně uložená na klikové skříně, a pohybovým šroubem pak celý válec, čímž se přímo ovládá objem kompresního prostoru. Mikrometrický šroub je doplněn o stupnici, která umožňuje přesné odečtení hodnoty kompresního poměru. (8)

Tato ojedinělá konstrukce umožňovala okamžitou změnu kompresního poměru při plném zatížení motoru. Tento poměr bylo možno měnit z 3,7 až na 8:1. Motor byl konstruován na nepřetržitý provoz při kompresním poměru 6,5:1, což odpovídalo provoznímu tlaku 4,8 MPa. Spotřeba paliva byla měřena pomocí dvou nádob, které měly předepsaný objem. Přepínání mezi nimi měl na starost trojcestný ventil s indikací výšky hladiny v jednotlivých nádobách. Doba chodu motoru na objem paliva z jedné nádoby se přibližně pohybovala od 1 - 4 minut při nejvyšším zatížení. (8)

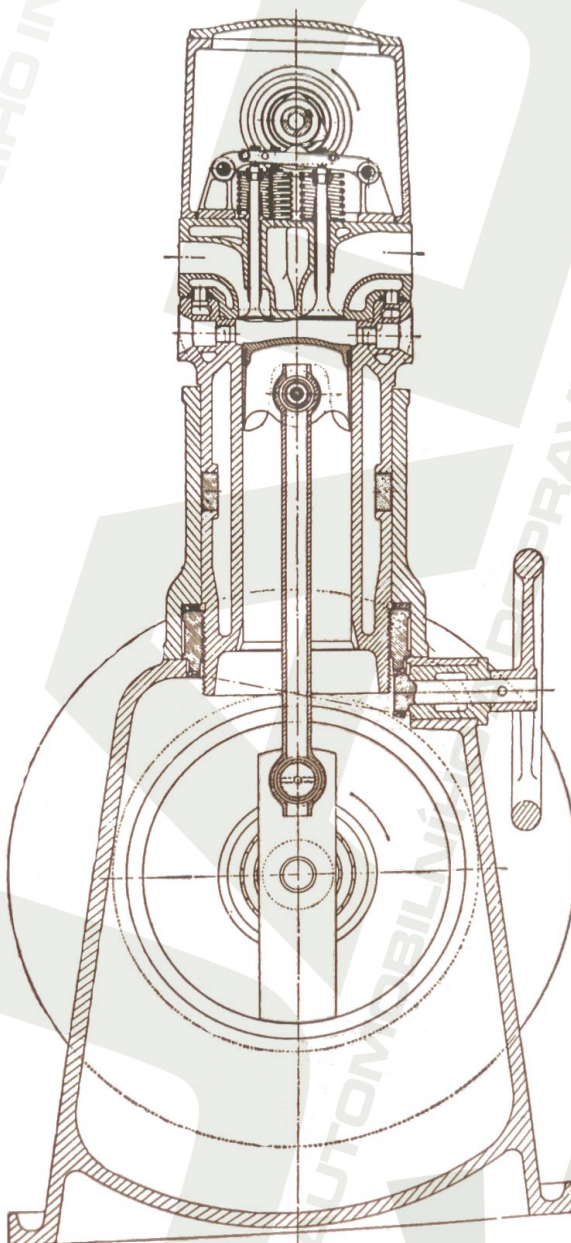
Jako další příslušenství byl přidán snímač otáček, pracující na magnetickém principu, který poskytoval přesné informace o aktuálních otáčkách motoru a byl umístěn u volného konce vačkového hřídele. Palivová směs byla připravována v karburátoru leteckého typu dle návrhu Claudel-Hobsona, který byl upraven pro možnost změny směšovacího poměru paliva a vzduchu v celém provozním rozsahu motoru, což bylo ovlivňováno změnou průtočné plochy hlavní trysky karburátoru skrze jehlový ventil kuželového tvaru. Na boku karburátoru byl otvorem k tomu určeným nasáván předehřátý vzduch. Před dokončením toho motoru se Ricardo rozhodl označit tento motor jako E35. (8)

Tento motor byl plně funkční a byl umístěn na jaře roku 1919 v jeho laboratoři v Shoreham-by-Sea. Motor z mechanického hlediska fungoval velmi dobře a splnil požadovaný cíl. Jednotku je možné vidět na Obr. 19. (8)

Roku 1927 byla tato konstrukce modifikována pro řadu firem a univerzit. Jednalo se o zmenšení celkové konstrukce a použití šoupátkového mechanismu. Šoupátkový mechanismus byl zvolen díky své mechanické spolehlivosti a tichosti chodu. Richardo ve svém návrhu dosáhl kompresního poměru v rozmezí od 5 až 12:1, který byl upraven pro možnost změny směšovacího poměru paliva a vzduchu v celém provozním rozsahu motoru, což bylo

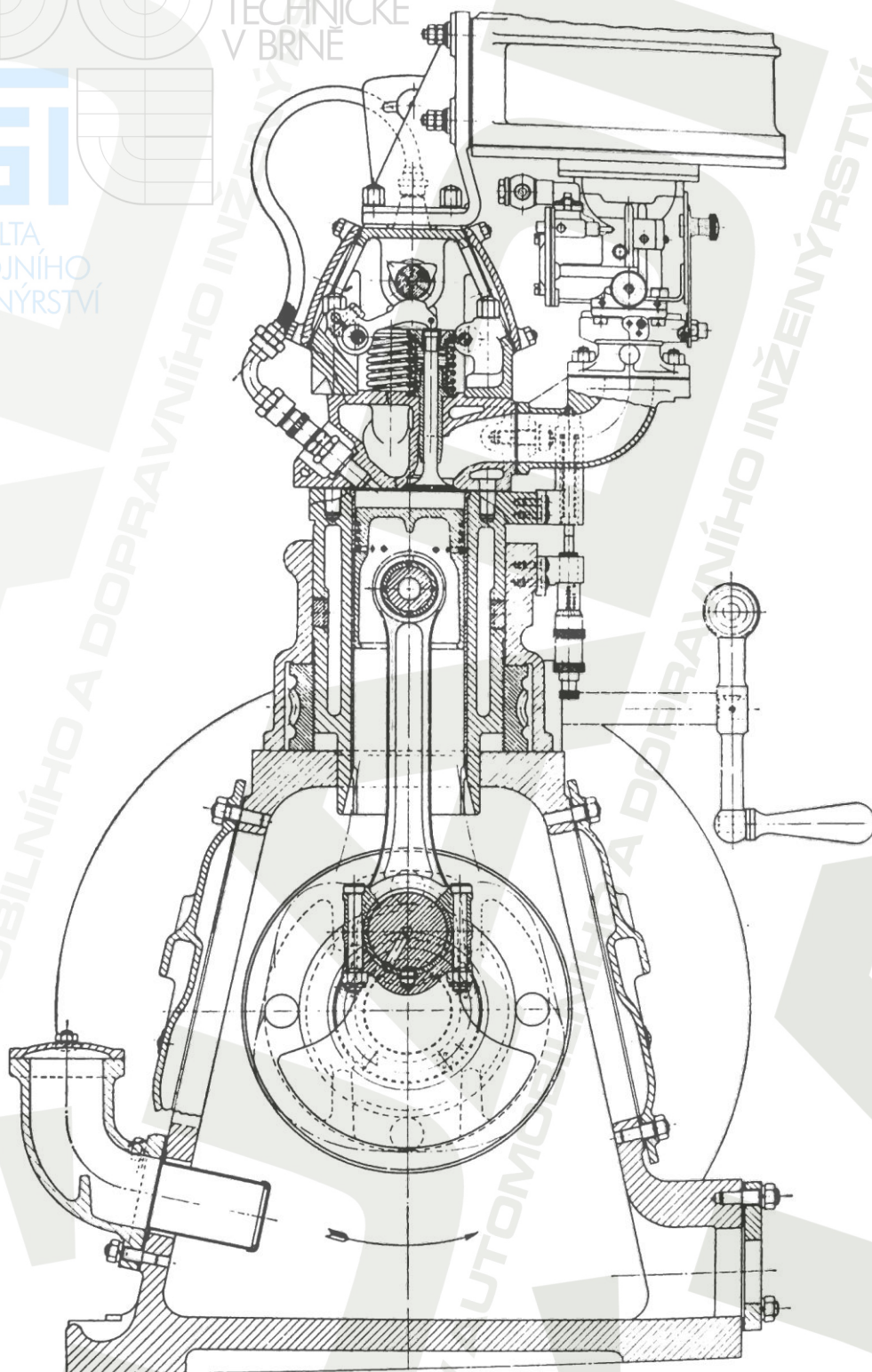
ovlivňováno změnou průtočné plochy hlavní trysky karburátoru skrze jehlový ventil kuželového tvaru. Zobrazení této modifikace je k vidění na Obr. 20 a Obr. 21. (8)

O pár let později byl vyvinut nový motor, velikostně o něco menší než řada E35. Rozsah kompresního poměru byl 4,5 - 20:1, jeho vrtání bylo provedeno na 76,2 mm se zdvihem 112 mm. Motor využíval rozvod OHC se dvěma ventily v hlavě válce a pohonem vačkového hřídele kuželovým soukolím a tzv. „královským hřídelem“.



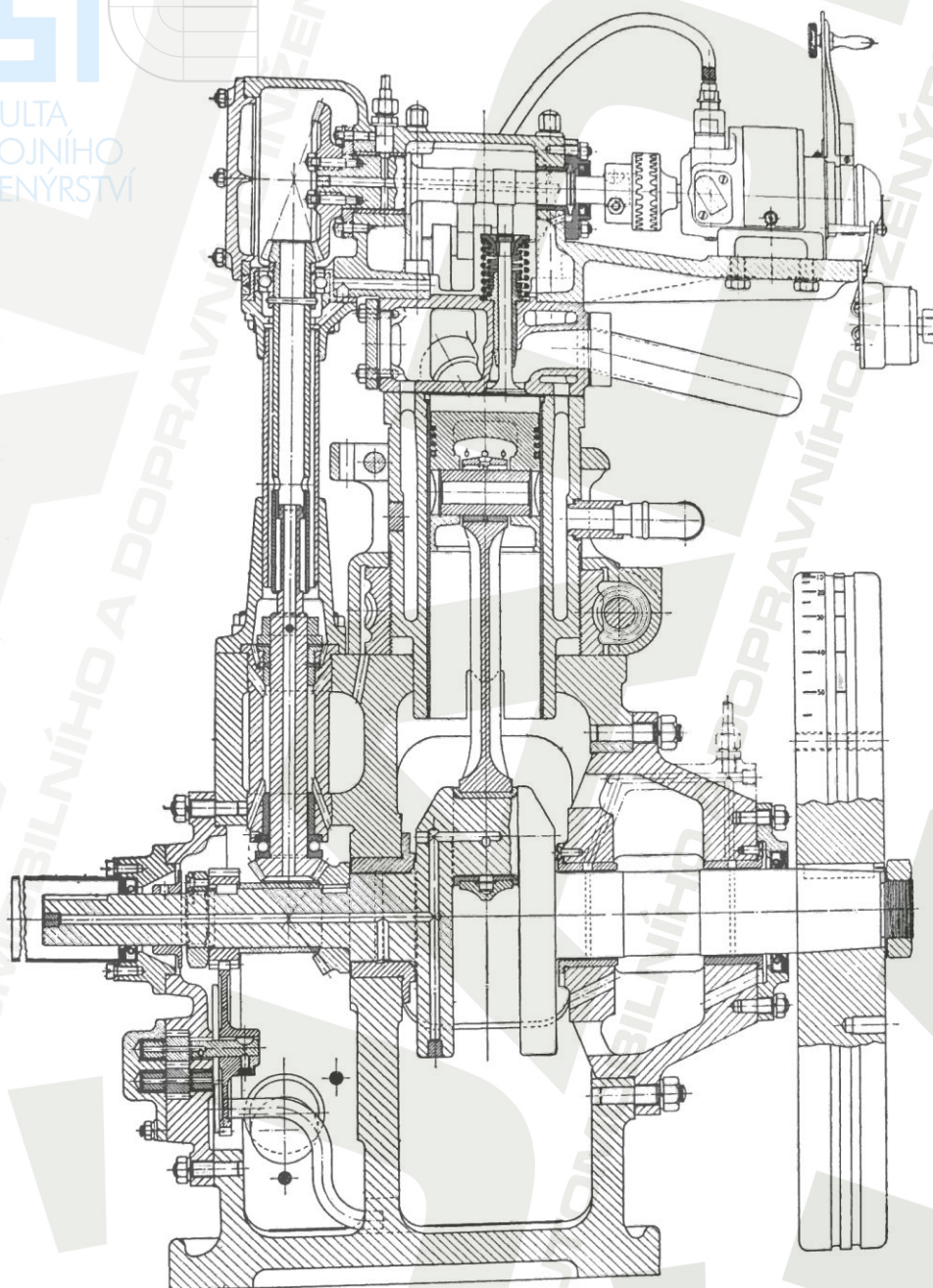
Obr. 19 - Jednotka společnosti Ricardo s variabilní kompresí E35
(8)

Samotné vačky byly navrženy z hlediska nízké hlučnosti rozvodového mechanismu, měly pozvolnou náběžnou část a dosahovaly poměrně nízké úrovně zrychlení/zpomalení ventilů.

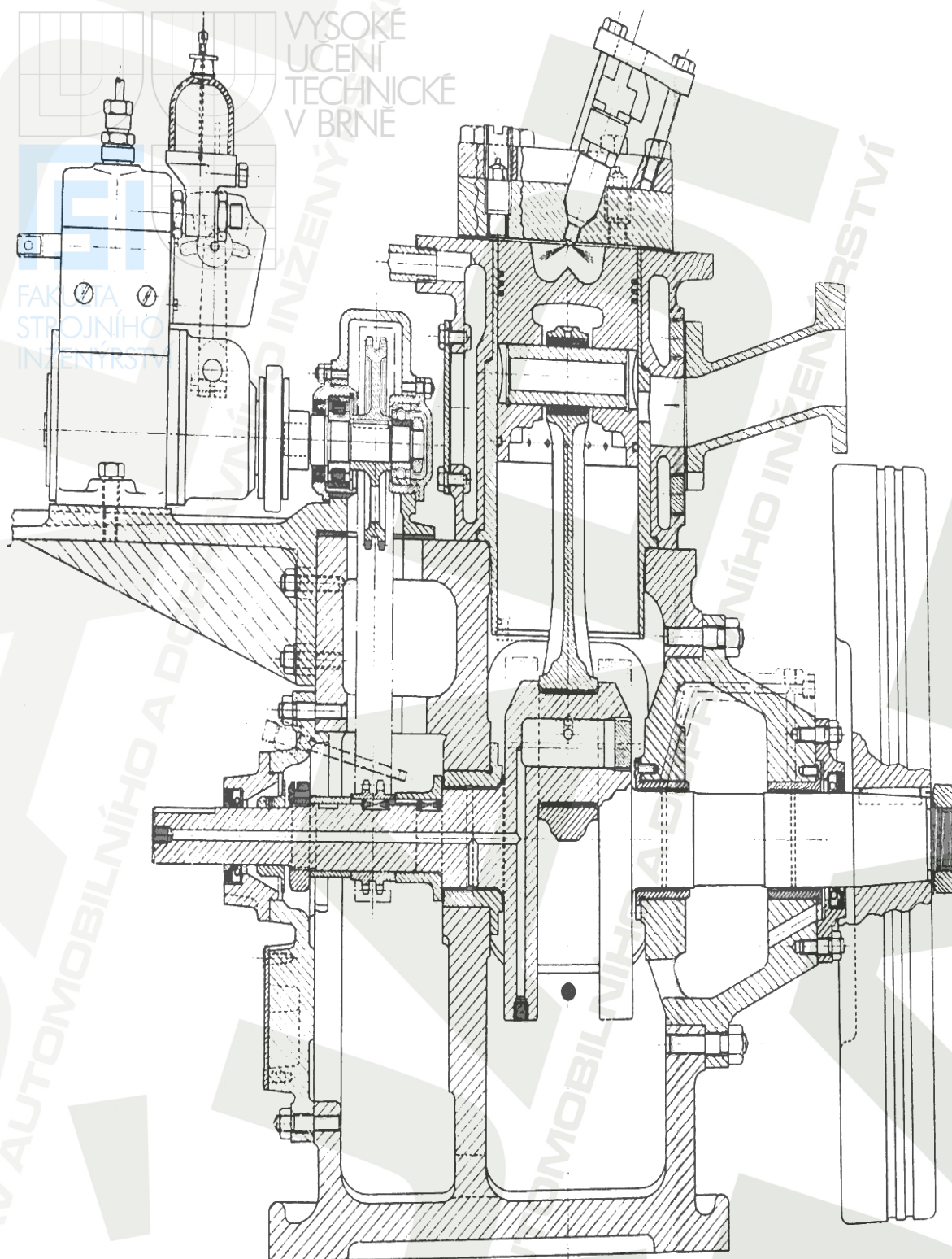


Obr. 20 - Upravená testovací jednotka společnosti Ricardo s variabilní kompresí E35
(8)

Motor byl navržen na nejvyšší spalovací tlaky 12,5 MPa. Novinkou v konstrukci bylo užití olejového chladiče, který měl za účel udržovat teplotu oleje v předepsaných provozních podmínkách. Jednotka je k vidění na Obr. 22. (8)



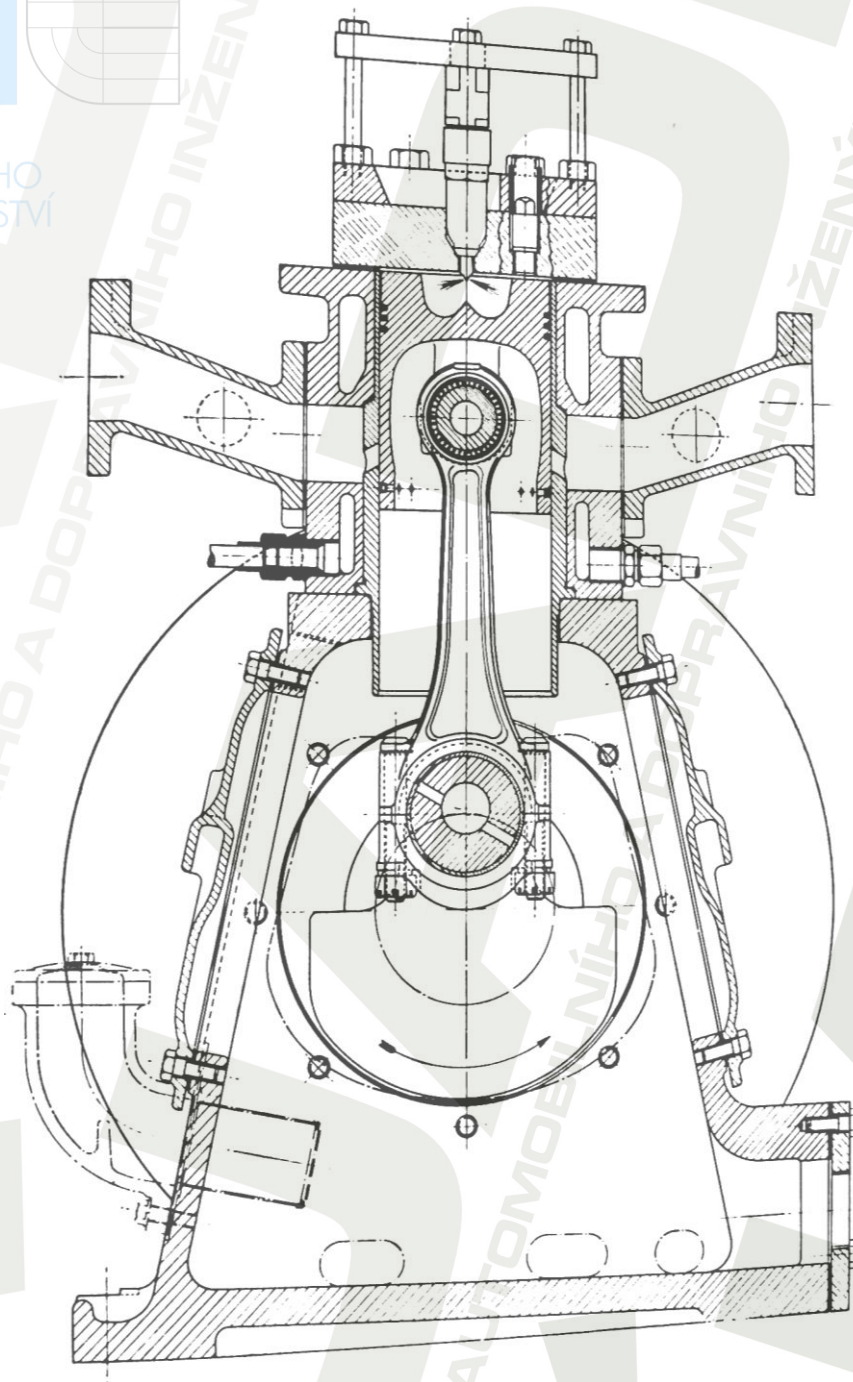
Obr. 21 - Upravená testovací jednotka společnosti Ricardo s variabilní kompresí E35
(8)



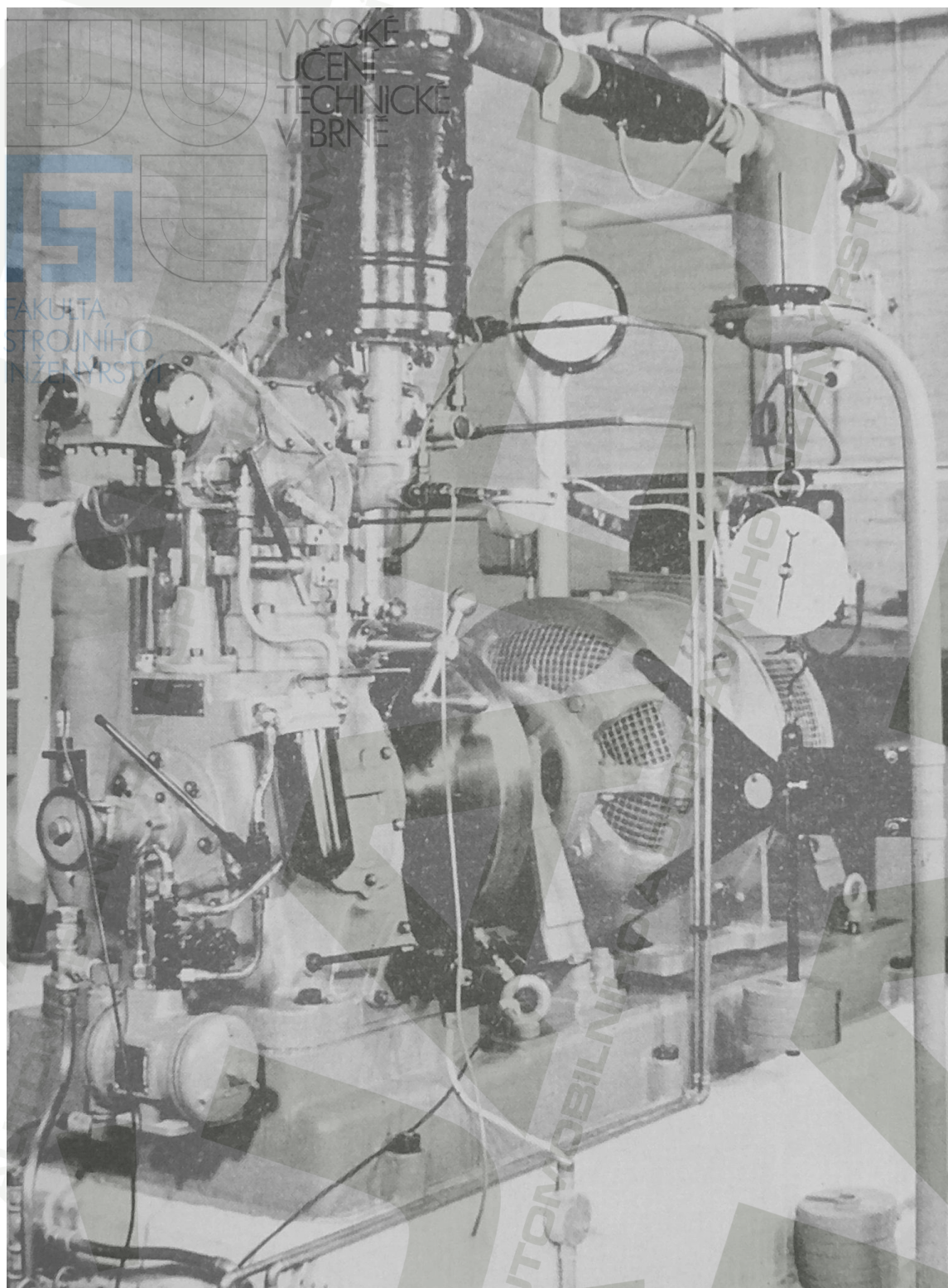
Obr. 22 - Upravená testovací jednotka společnosti Ricardo s variabilní kompresí E35
(8)

Obr. 23 zobrazuje jednotku E6 s přepřínováním, původní vznětová verze nevykazovala dostatečný výkon. Proto bylo původní provedení spalovacího prostoru s předkomůrkou

Comet Mark II a plochým dnem pístu nahrazeno modernější verzí komůrky Comet Mark V a odpovídajícím vybráním v pístu, která je zobrazena na Obr. 24.

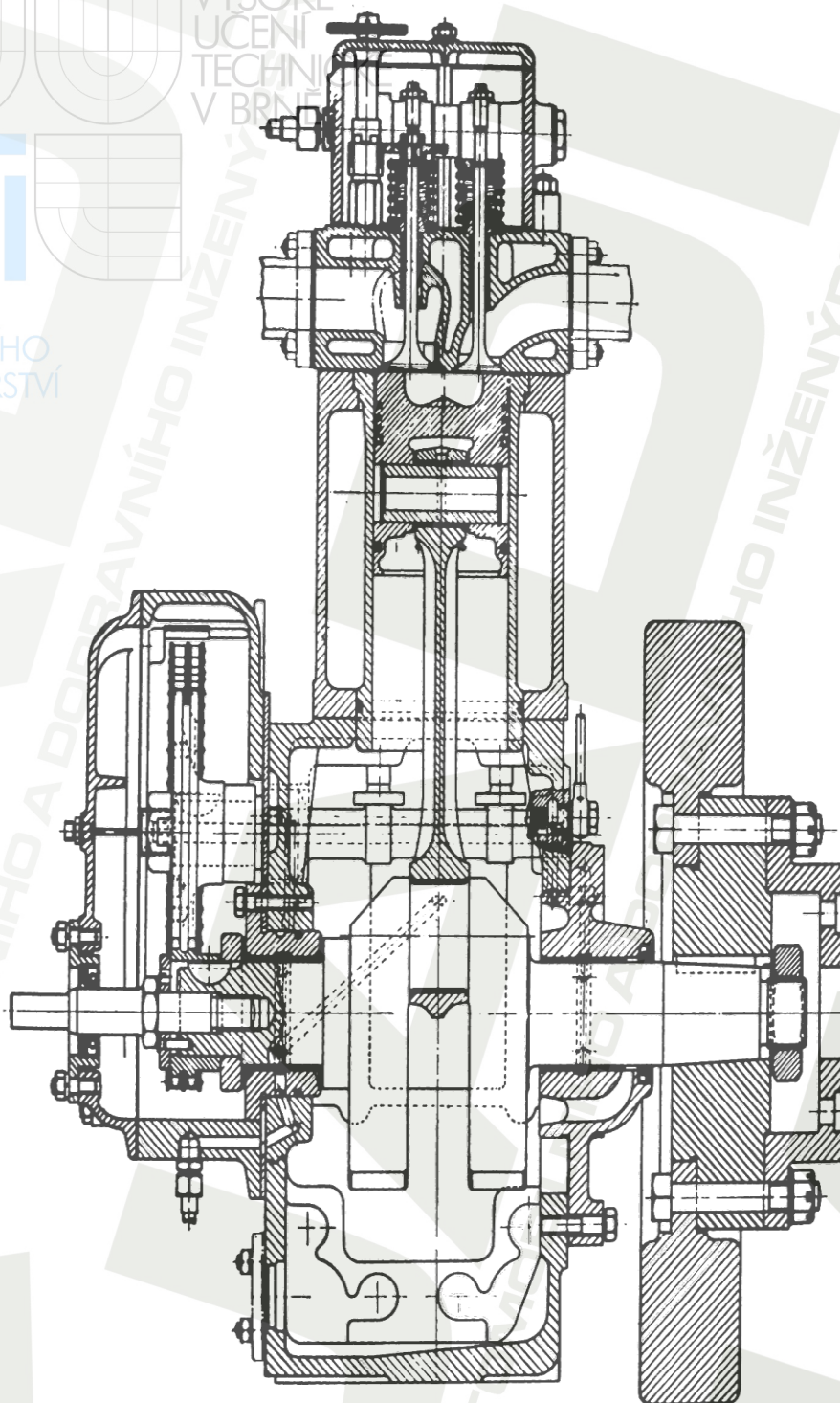


Obr. 23 - Upravená testovací jednotka společnosti Ricardo s variabilní kompresí E6
(8)



Obr. 24 - Jednotka E6 s přeplňováním
(8)

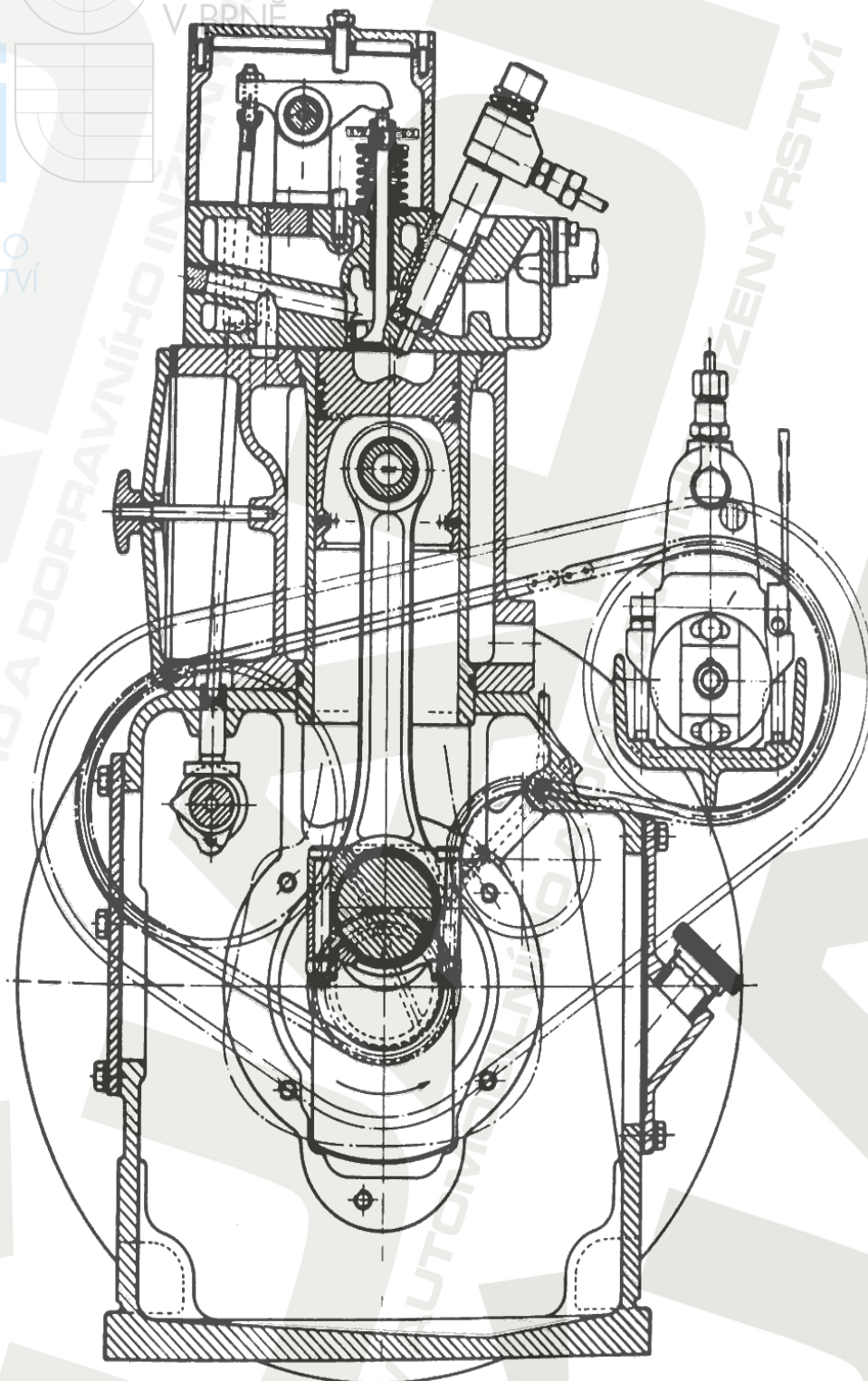
V období před druhou světovou válkou Ricardo navrhl testovací jednotku E16, která se vyznačovala dále zdokonaleným tvarem předkomůrky, olejových chlazením pístu a středotlakým přeplňováním.



Obr. 25 - Jednotka E16
(8)

Zdvihový objem tohoto provedení činil 1,6 l. Aby se tato válcová jednotka svými rozměry přiblížila více motorům osobních vozů, byla navržena menší verze se stejným vrtáním i zdvihem 85 mm (0,48 l), která dosahovala až 4000 otáček za minutu. Na Obr. 25 a Obr. 26 je

zobrazena tato novější generace s přímým vstřikováním motorové nafty do spalovacího prostoru v pístu (volitelně).



Obr. 26 - Jednotka E16
(8)

5.2 Rozdělení výzkumných spalovacích motorů

V této části práce bude pojednáno něco málo o rozdělení testovacích spalovacích motorů. Jejich dělení podléhá zde již zmiňovanému rozdělení klasických motorů, ale jedná se o speciální účelový stroj, tím pádem je jeho dělení poněkud specifickéjší.

V dnešní době není problém nechat si vyrobit testovací jednoválcový spalovací motor od již zavedených specializovaných firem v zahraničí jako je Ricardo, FEV a AVL, ale tyto motory jsou značně finančně náročné. Další možností je úprava stávajícího sériového motoru, toto řešení je levnější, ale nese s sebou určité nároky na technologickou úpravu, která je potřebná k úpravě a přestavbě motoru, tak aby z něj vznikla požadovaná výzkumná testovací jednotka. Přejdeme tedy k rozdělení. Dle konstrukčního řešení testovací jednotky můžeme rozdělit do třech základních skupin.

5.2.1 Koncepce ekonomická

Poslední koncepce, ekonomická, je nejlevnější, a proto často využívanou metodou, jak vytvořit testovací motorovou jednotku. Spočívá v úpravě stávajícího velkosériově vyráběného motoru. Výsledkem této úpravy je výzkumný motor netypické konstrukce. Z motoru je pro spalování využít jen jediný válec, který je osazen snímači pro snímání veličin a zbývající válce jsou upraveny tak, aby byly schopny pracovat jako pístové kompresory a dodávat do spalovacího válce stlačený vzduch. Jako příklad bych uvedl upravený řadový šestiválec v Technickém ústavu v Liberci, který je k vidění na Obr. 27. (9)

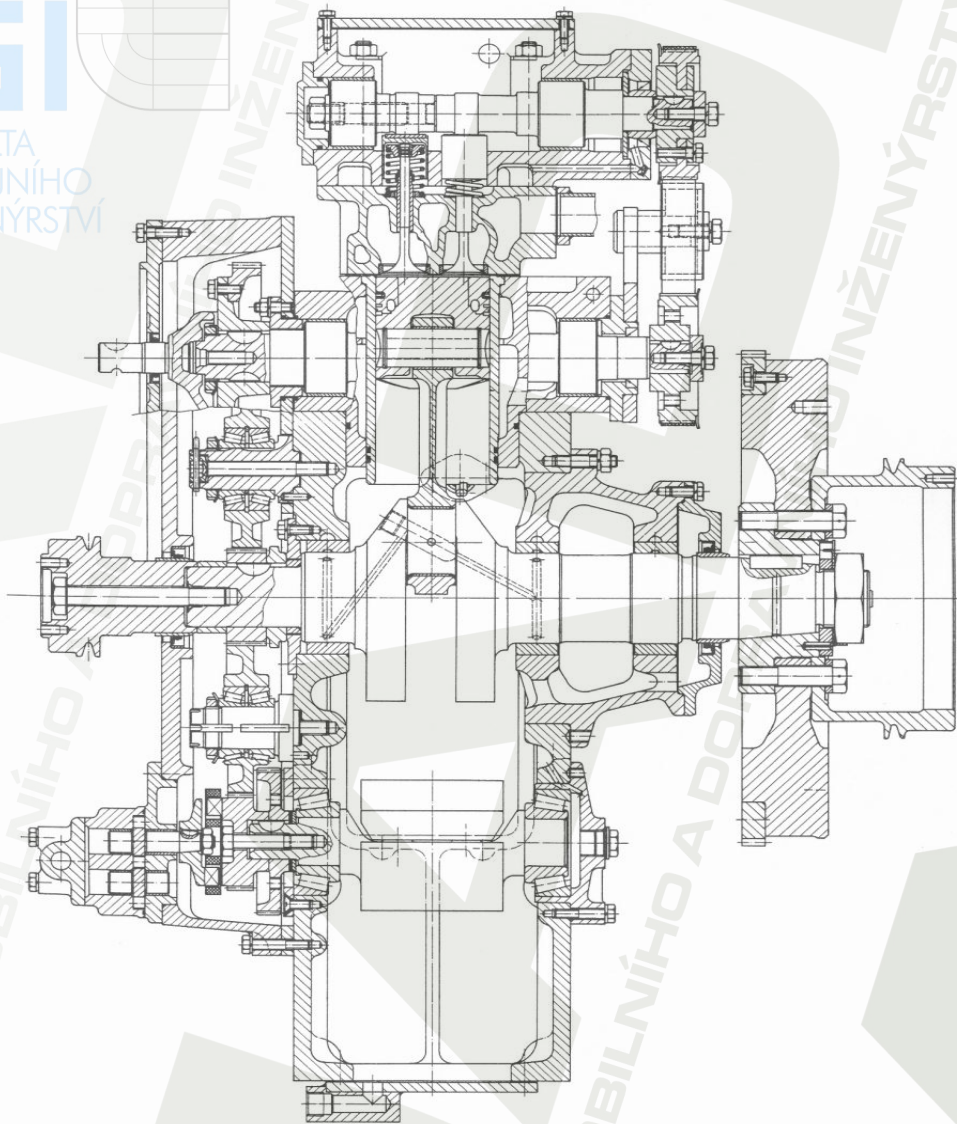


Obr. 27 - Řadový šestiválec upravený na testovací jednotku v technickém ústavu v Liberci
(9)

5.2.2 Standardní koncepce

Tato koncepce vychází z typů motoru dodávaných již výše zmiňovanými firmami. Je to řešení, které je nejjednodušší pro zákazníka, protože veškerou konstrukci, instalaci a

zprovoznění soustavy provede daná firma. Zaškolení do systému řízení je také samozřejmostí, ovšem tento servis si firma nechá zaplatit nemalou částkou. Jako příklad zde uvedu výkres testovací jednotky dodávané firmou AVL s typovým označením 528, který byl využíván pro vývoj pohonné jednotky Liaz roku 1980 u nás, který je zobrazen na Obr. 28. (9)



Obr. 28 - Testovací jednotka typ 528 od firmy AVL
(9)

5.2.3 Účelová koncepce

Vychází většinou z rekonstrukce již fungující testovací jednotky, nebo její účelové přestavby na jinou. Jako příklad uvedu testovací jednoválcovou jednotku OKC-Oktan, která sloužila pro měření oktanového čísla, ale došlo k její přestavbě na přímé spalování plynných paliv, jako je vodík, na Technickém ústavu Liberci v roce 2000. Její zobrazení můžete vidět na Obr. 29. (9)



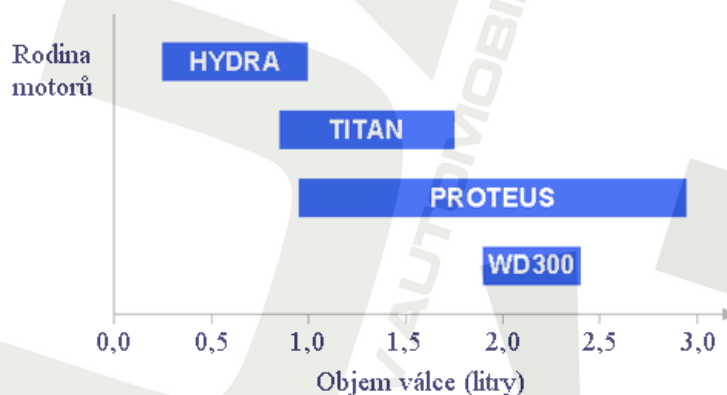
Obr. 29 - Testovací jednotka jednoválce OKC-Oktan
(9)

5.3 Současná nabídka výzkumných motorů na trhu

Situace na dnešním trhu není moc jednoduchá, v tomto odvětví existuje mnoho firem, které se zabývají buď tvorbou jednotlivých komponent, nebo dodávají kompletní systém. Dlouhodobou tradici v tomto oboru má jenom malá skupina firem, které ovšem zároveň patří mezi přední dodavatele v tomto odvětví. Pro průzkum nabídky jsem zvolil tři největší firmy a to Ricardo, FEV a AVL.

5.3.1 Ricardo

Firma Ricardo na poli výzkumných motorů působí asi 70 let. Za tuto dobu vypracovala svůj všestranný sortiment. Jednotky od této firmy jsou vhodné jak pro výzkum a studium spalovacího procesu, tak i jako vzdělávací nástroj pro vysoké školy. Sortiment této firmy lze charakterizovat jednoduchým grafem zobrazeným na Obr. 30. (10)



Obr. 30 - Rozdělení skupin motorů firmy Ricardo
(10)

Hydra - Lehké výzkumné motory

Vyrábějí se s vrtáním od velikosti 56 mm až do 110 mm. Konstrukce je univerzální, lze v nich spalovat jak benzín, tak naftu i alternativní paliva jako je stlačený zemní plyn CNG, vodík či metanol. Konvenční zážehová a vznětová provedení lze osadit například přímým vstřikováním benzinu v případě zážehových verzí (GDI), systémem řízeného samovznícení palivové směsi (CAI) a zařízením pro bezvačkové hydraulické ovládání ventilů (HVA). Dále může být osazen vyvažovací jednotkou a připraven pro instalaci čidel a měřicích zařízení, jako jsou snímače pro indikaci tlaku ve válci za chodu motoru a snímače polohy klikového hřídele atd. (10)

Titan - Střední výzkumné motory

Tato řada tvoří přechod mezi motory typu Hydra a Proteus. Je reprezentována vznětovým motorem se čtyřventilovou technikou s vrtáním od 96 do 120 milimetrů se zdvihy od 120 do 150 milimetrů, vybavený vyvažovací jednotkou pro eliminaci setrvačných sil posuvných částí prvního a druhého řádu. Motor může být osazen vstřikovacím systémem typu: čerpadlo-potrubí-vstřikovač (PLD), Common rail a čerpadlo se sdruženým vstřikovačem (PDE). Podobně jako Hydra je Titan připraven pro instalaci měřicí techniky. (10)

Proteus - Těžké výzkumné motory

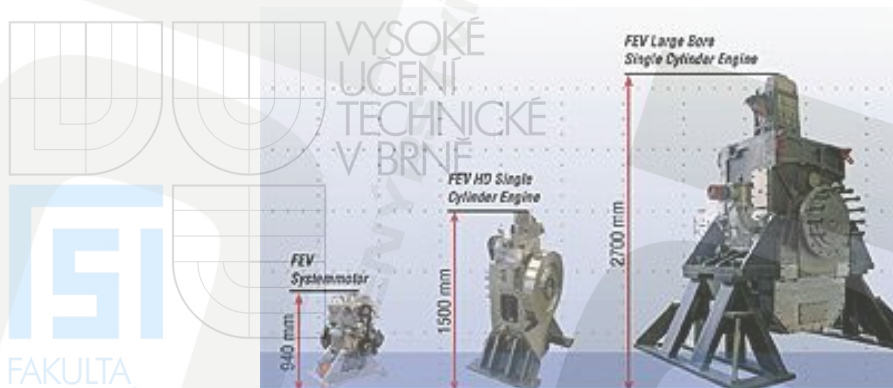
Motor je k dodání jak ve čtyřventilovém, tak i dvouventilovém provedení. Vrtání válců může být provedeno od 100 do 150 milimetrů se zdvihy v rozmezí od 120 do 165 milimetrů. Jednotku lze osadit vstřikovacím systémem typu: čerpadlo-potrubí-vstřikovač (PLD), Common rail a čerpadlo se sdruženým vstřikovačem (PDE), dále lze měřicí technikou. (10)

WD300 - Motory pro velmi těžký užitkový výzkum

Jedná se o řadu motorů určenou k sledování degradačního vlivu paliva na mazivo spalovacích motorů. Motor je dodáván s vrtáním v rozmezí 125 až 160 milimetrů a zdvihem 140 až 190 milimetrů. S toroidním, a nebo bezvírovým spalovacím prostorem. Motor snese střední efektivní tlak až do výše 4 MPa při špičkovém spalovacím tlaku 24 MPa. (10)

5.3.2 FEV

Německá společnost FEV, působící po celém světě, byla založena roku 1978. Za dobu 32 let se její sortiment vyvinul v dnešní nabídku testovacích jednoválcových jednotek do této podoby. Společnost nabízí své motory ve třech základních skupinách, které jsou členěny dle velikosti, jak je tomu vidět na Obr. 31. (11)



Obr. 31 - Rozdělení skupin motorů firmy FEV
(12)

Malá válcová jednotka (Systemmotor)

Typ motoru, který je určen ke zkoumání spalovacího cyklu u osobních automobilů. Jedná se o malý rychloběžný motor. Vrtání provedeno v rozmezí 50 až 115 mm se zdvihem 60 až 135 mm. Maximální otáčky 8000 ot/min a tlak 250 MPa. Jednotka je velice variabilní, lze v ní spalovat jak benzín, tak naftu i alternativní paliva jako jsou vodík a CNG. Lze osadit všemi dostupnými technologiemi použitými pro ventilový rozvod, jako jsou například OHV, SOHC, DOHC. (11)

Středně velká válcová jednotka (HD Single Cylindre Engine)

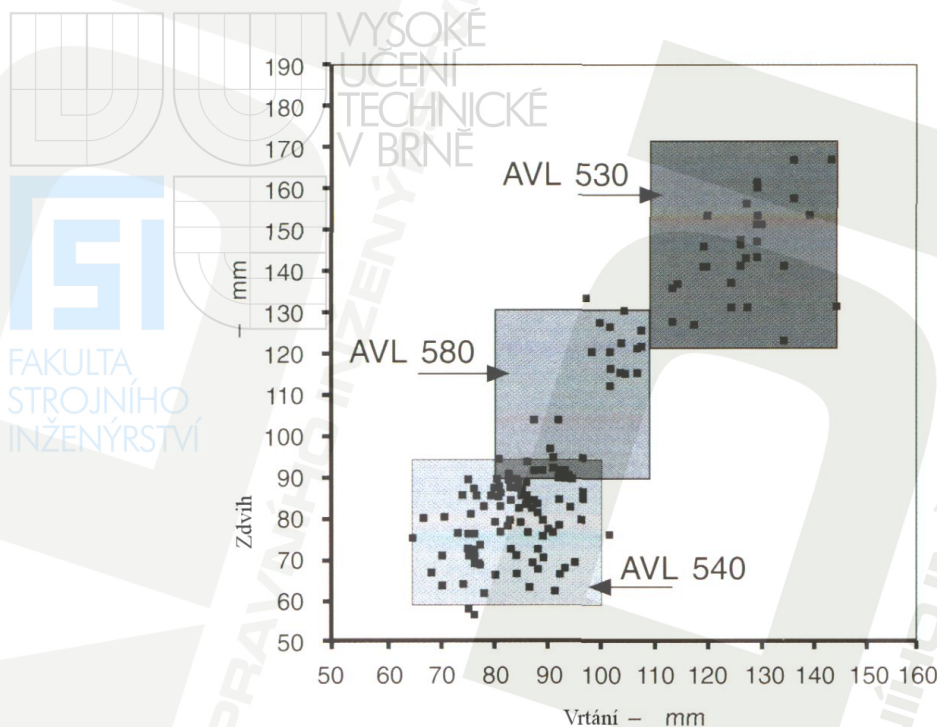
Motor středně velké konstrukce, který je určen na zkoumání spalovacího děje v konstrukci nákladních vozů a průmyslu. Vrtání válce se pohybuje v rozmezí od 95 do 150 mm se zdvihem 110 až 170 mm. Maximální otáčky jednotky jsou 3500 ot/min s mezní hodnotou tlaku 300 MPa. I tento typ je plně variabilní a lze je osadit všemi možnými typy ventilových rozvodů. (11)

Velká válcová jednotka (Large Bore Cylinder Engine)

Tato řada je určena pro zkoumání spalovacího procesu, velkých lokomotivních, průmyslových a lodních motorů. Vrtání válce zde dosahuje rozmezí 240 až 320 mm se zdvihem v rozmezí 300 až 450 mm. Maximální otáčky 1200 ot/min s hraničním tlakem 250 MPa. I tato řada má velice propracovanou konstrukci a je ji možno osadit všemi dostupnými ventilovými rozvody. (11)

5.3.3 AVL

Firma AVL je přední soukromou firmou dodávající veškeré komponenty, které napomáhají k výzkumu a zdokonalování hnacího ústrojí. Za dobu asi 65 let si vypracovala na trhu pevné postavení a upravila svůj sortiment dle široké poptávky na nynějším trhu. Sortiment je členěn do třech základních skupin dle schématu, které je vidět na Obr. 32. (13)



Obr. 32 - Rozdělení skupin motorů firmy AVL
(13)

Série 540 – Řada pro osobní vozy

Tato řada je určena k pokrytí testů prováděných na hnacím ustroji osobních vozů. Je vyráběná v rozmezí 0,2 – 0,75 l na jeden válec. Hlavním představitelem této řady je benzínový motor s vrtáním o průměru 86 mm a totožným zdvihem. Jednotka je vybavena moderní 4 ventilovou technikou s rozvodem DOHC s proměnným EMS (Electro Mechanical System) s přípravou pro přímé vstřikování a možností řízení přes PC pomocí vstřikovacích a zapalovacích „map“. Dodávaným příslušenstvím je např. kompletní vyvažovací jednotka, na kterou lze instalovat kompletní vyvažovací zařízení, které odstraní kmitání prvního i druhého řádu, které motor při spalování vytváří a tímto mohou být nepřímo ovlivněny výsledky měření. Jako další příslušenství, které lze přiojednat, může být celá řada měřicích čidel pro měření tlaku ve válci a ve výfukovém potrubí. Vstřikovací systém lze osadit mechanickým vstřikováním, nebo elektrickým vstřikovacím systémem. Motor lze také modifikovat pro možnosti moderní metrologie v podobě průhledného okna v boku válce, které umožní pozorovat spalování. (13)

Série 580 – Řada pro lehké nákladní automobily

Základní jednotka této řady je navržena pro lehké nákladní vozy a těžké osobní vozy, které jsou osazeny vznětovým motorem. Je vyráběn v rozsahu 0,45 – 1,24 l na jeden válec. Standardní jednoválcové testovací jednotky, které jsou dostupné, jsou uvedeny v. (13)

Tabulka 1 - Motorové řady pro lehké nákladní automobily
(13)

Typové označení	Vrtání	Zdvih	Konstrukce
5801	105 mm	115 mm	2 ventilová OHC
5802	85 mm	90 mm	2 ventilová OHC
5803	85 mm	90 mm	2 ventilová OHC
5804	85 mm	90 mm	4 ventilová DOHC
5805	85 mm	90 mm	2 ventilová OHC
5806	95 mm	110 mm	2 ventilová OHC

Tato řada je navržena tak, aby bylo možné provádět velmi rychle změny v geometrii pístu. Jednotku je možno plně konstrukčně modifikovat dle přání zákazníka a osadit ji celou řadou moderních systémů vstřikování paliva a měřicího příslušenství. (13)

Série 530 – Řada pro těžké nákladní automobily

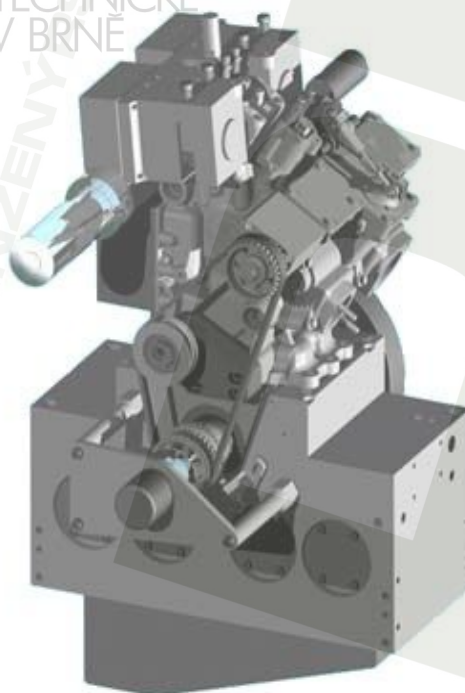
Tato řada motorů má kompletní olejové hospodářství. Je navržena tak, aby pokryla motory používané v těžkých nákladních vozech. Vyrábí se v rozsahu 1,14 – 2,8 l na jeden válec. Oproti ostatním řadám má tento motor masivnější konstrukci skříně. I tento motor je plně modifikovatelný dle přání zákazníka a lze jej osadit veškerou moderní technikou řízení spalovacího děje. (13)

I společnost AVL je schopna sestavit i větší výzkumné motory. Jedná se o speciální motory, které jsou konstruovány na zakázku pro každého zákazníka zvlášť.

5.3.4 Lotus - The Omnivore

Nesmím opomenout zmínit, v poslední době dosti známý, jednoválcový dvoutaktní koncept testovací jednotky firmy Lotus nazvaný The Omnivore „Všežravec“, který byl představen na 79. mezinárodním autosalonu v Ženevě. Tento motor se vyznačuje tím, že je schopen pracovat s ropnými i alkoholovými palivy, smísenými v jakémkoli poměru. Výhodou alkoholových paliv je skutečnost, že pocházejí z obnovitelných zdrojů a umožňují efektivnější spalování. Prototyp byl vytvořen z grantu, který financovala Irská vláda. Na vývoji se kromě firmy Lotus podílela Univerzita Belfast a společnost Jaguar. (14)

Funkce motoru je předvedena velmi povedenou flash animací, která se nachází na adrese (15). Jednotka pracuje v nízkých otáčkách v jakémkoliv zatížení jako klasická vznětová jednotka. Při přesunu k vyšším otáčkám je při nízkém a středním zatížení užito stejného schématu provozu, ovšem při plném zatížení při vysokých otáčkách motor přepíná do režimu zážehového. Toto řešení však není takto jednoduché, vyžaduje si velice složité řízení. Vrtání jednotky je provedeno na průměr 86 mm, hodnota zdvihu je totožná s hodnotou vrtání. Kompresní poměr se pohybuje 10:1 - 40:1. Motor je chlazen kapalinou. (14)



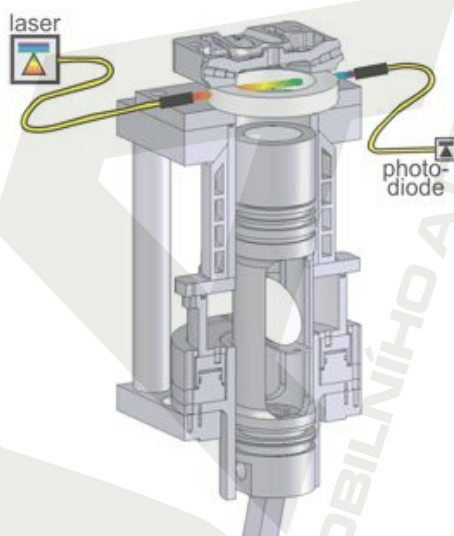
Obr. 33 - Testovací jednotka The Omnivore
(14)

6 Moderní měřicí metody

Technický vývoj motoru jde ruku v ruce s možností vývoje vhodné diagnostiky a přesného odměření požadované veličiny. Ta však může být ovlivněna i samotným odměřením, jako například měření teploty chladícího media ve válci za použití klasického termálního čidla. Čidlo značně ovlivní ideální proudění kapaliny a i tato drobnost vnáší do měření nezanedbatelnou chybu. S vývojem techniky lze použít nové postupy a poznatky k vytvoření metod měření, které již touto chybou výzkumný motor nezatěžují a jsou tímto schopny dodat přesnější naměřená data a v reálném čase je vyhodnotit. V této podkapitole uvedu lehký nástin některých z těchto metod.

6.1.1 Měření teploty pomocí vlnové délky

Tato operace využívá absorpční spektroskopie pro měření teploty nepřímou metodou. Pro měření se využívá změny vlnové délky světla, které prochází kapalinou při různé teplotě a tlaku. Tyto změny vlnové délky, potažmo frekvence, jsou přepočítávány na základě naměřených hodnot na teplotu a tlak. Vyhodnocení je velice rychlé a přehled o teplotě je schopen zpracovat měřicí systém do 5 milisekund s vazbou na polohu klikové hřídele. Na Obr. 34 je schéma měřící jednotky instalované na válci výzkumného motoru. (15)

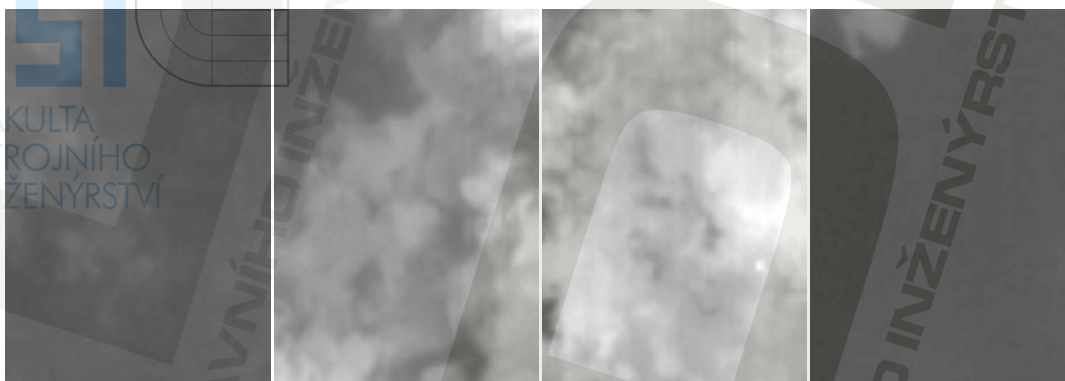


Obr. 34 - Testovací soustava na měření teploty
(15)

6.1.2 Diagnostika míchaní paliva ve válci

Dobré promísení paliva se vzduchem a jeho odpaření je velmi důležitým předpokladem pro kvalitní spalování. Do paliva se často přidávají látky, které promíchání paliva podporují, jako jsou například izooktan a tri-pentanol. Správné promísení pomáhá ke snížení hluku při spalovacího procesu a výrazné snížení emisí. K indikaci se používá kamera s vysokým

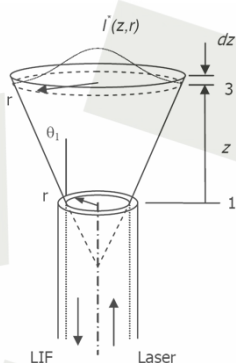
rozlišením a vysokorychlostním snímáním. Tato kamera je schopna zdokumentovat nežádoucí typy proudění, které lze odstranit vhodným konstrukčním řešením spalovacího prostoru. Na Obr. 35 je zobrazeno pár snímků z pokusného měření. Snímky jsou získány z různých fází spalovacího procesu. Podrobnější popis celého procesu je publikován v publikaci SAE papers číslo 2005-01-0096. (16)



Obr. 35 - Záznam testovací kamery při testu smíchání palivové směsi
(16)

6.1.3 Měření tloušťky palivového filmu na dně pístu zážehových motorů s přímým vstřikováním

Tato metoda měření slouží pro záznam tloušťky palivového filmu a teploty na dně pístu. Využívá se leštěných optických vláken a laserového paprsku k přenosu informací. Schéma šíření paprsku z vlákna je schematicky znázorněno na Obr. 36. Tloušťka palivového filmu probíhá díky fluorescenční indikaci, která funguje na principu vlnové délky. Síla palivového filmu se pomocí speciálního matematického modelu dopočítává. Pro podrobnější pochopení technologie je vše uvedeno v SAE papers publikaci číslo 2005-01-0096. Na Obr. 37 je znázorněn píst s měřicími optickými vlákny. (17)



Obr. 36 - Schéma šíření paprsku z vlákna
(17)

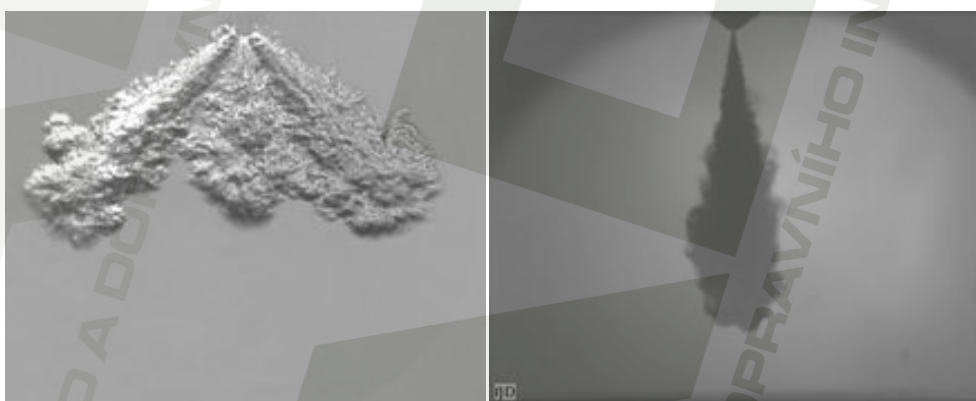


Obr. 37 - Optická vlákna
(17)

6.1.4 Vysokorychlostní kamera pro sledování geometrie vstřiku paliva

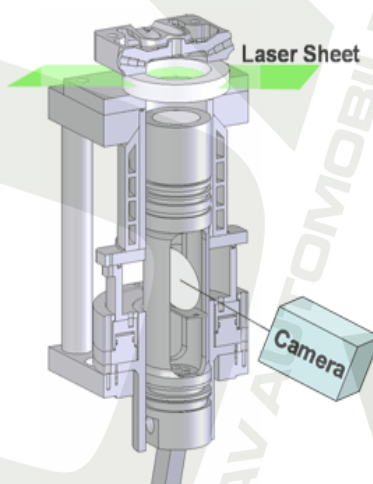
Přímé vstřikování paliva není lehkou záležitostí, jak v případě zážehového, tak i vznětového motoru. Špatně rozprašující se palivo může mít za následek jeho samovznícení a tím spojené problémy v podobě nerovnoměrnosti chodu, nebo špatného předstihu. (18)

Na Obr. 38 vlevo je znázorněno rozprašování vodíku, toto palivo nemá sklon k výše popisovaným problémům. Je třeba však speciálně konstruovat soustavu přímého vstřikování. Na téže obrázku vpravo je přímé vstřikování nafty do pracovního prostoru motoru. Indikace zjednodušeně probíhá takto: Vysokorychlostní kamera snímá oblast vyústění vstřikovací trysky přes odrazovou clonu a zaznamenává na laserovém pozadí obraz, který tvoří vstřikované palivo. (18)



Obr. 38 - Záznam rozstříku paliva ve válci
(18)

Na Obr. 39 je opět schematicky znázorněna měřicí soustava umístěná ve válci testovací jednotky.

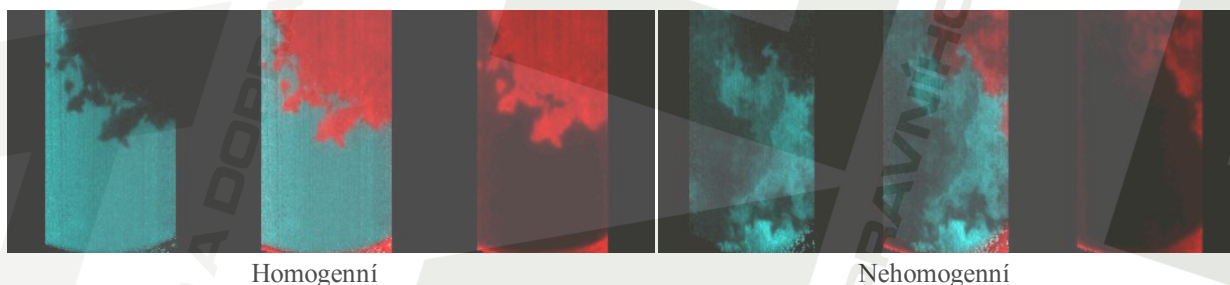


Obr. 39 - Schematické znázornění měřicího systému
(18)

6.1.5 Diagnostika průběhu spalování

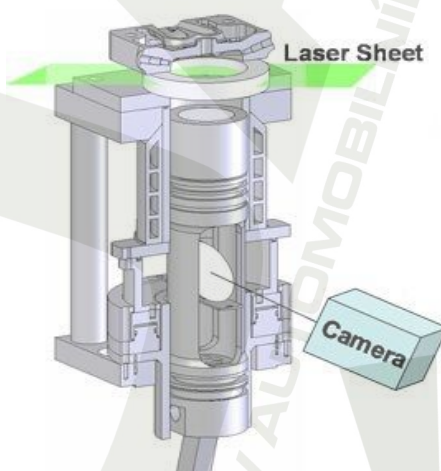
Optické snímání spalovacího procesu umožňuje kontrolovat správné vrstvení paliva při jeho spalování. Tento faktor ovlivňuje značně efektivitu spalování a tvorbu nežádoucích emisí. Mohou nastat dva případy vrstvení paliva: nehomogenní a homogenní. Ten první je nežádoucí z hlediska špatného dopadu na prohoření paliva a s tím spojené problémy jako je například zvýšená tvorba již výše zmíněných emisí. (17)

Diagnostika probíhá pomocí vysokorychlostní kamery s vysokým rozlišením, která snímá oblast spalovací komory přes odrazovou clonu. V komoře jsou instalovány prosvětlovací vysokofrekvenční YAG lasery umístěné v horní části, které jsou schopny nasvítit jednotlivé složky paliva různou vlnovou délkou světla, což se na snímcích kamery projeví různou barvou jednotlivých složek. Na Obr. 40 je možno vidět pár snímků vytvořených tímto testem. (17)



Obr. 40 - Výstup zkoušky pomocí fluorescence
(17)

Obr. 41 opět schematicky znázorňuje instalaci měřící aparatury na jednoválcové testovací jednotce.



Obr. 41 - Schéma testovací jednotky
(17)

7 Přínos výzkumných testovacích motorů pro spotřebitele

Díky výzkumným spalovacím jednotkám je spalovací motor na takové úrovni, jak jej dnes hojně využíváme. Veškeré inovativní kroky, které se aplikují do konstrukce sériově vyráběných motorů, jsou vždy nejdříve testovány pomocí testovacích jednotek, aby se ověřil jejich přínos a bezpečnost provozu. Další oblastí, kde jsou tyto jednotky nepostradatelné, je výzkum ropných i alternativních paliv. Umožňují nám studovat úpravu spalovacího prostoru, tak aby tyto paliva bylo možno co nejefektivněji spalovat, popřípadě umožnit výrazné snížení jejich spotřeby.

Popsat přínos těchto strojů je příliš rozsáhlé a není to možné v rámci této bakalářské práce. Mohu zde však uvést jako příklad dvě studie výzkumů.

7.1 2/4 Sight – Motor s plynulým přechodem mezi dvoudobým a čtyřdobým režimem

Tato studie pojednává o výzkumu společnosti Ricardo, který byl publikován v interní publikaci Ricardo Quarterly Review z roku 2008. Cílem bylo výrazné snížení spotřeby paliva a emisí CO₂ u sériově vyráběných benzínových motorů. Již dříve firma při svých výzkumech zkoušela realizovat plynulý přechod z dvoudobého režimu na čtyřdobý a naopak za chodu motoru, ovšem výzkumy byly přerušeny z důvodu absence potřebných technologií. (19)

Roku 2004 se však po 50 letech vývoje k této myšlence vrátila. Na základě prototypu nazvaného Flagship, u něhož bylo použito kombinace ventilového rozvodu a dvoudobého pracovního cyklu, bylo možné vytvořit speciální numerické modely a modely popisující proudění směsi paliva se vzduchem ve válci za pomoci programů Matlab Simulink, Wave a VECITS. Na základě těchto simulací byl navržen nový prototyp motoru s názvem 2/4 Sight, umožnit spojit dvoudobý a čtyřdobý cyklus do jedné pohonné jednotky. (19)

Postup práce na výzkumu byl následující. Oživení výzkumu firmou Ricardo bylo iniciováno dotací vlády UK z programu Foresing Vehicle. O spolupráci byly požádány univerzity Brunel, Brighton a Detroit, které ji přijaly. Na základě toho mohly započít práce na jednorozměrném výpočetním modelu dynamiky paliva a výkonnostní simulace za použití programu firmy Ricardo Wave a třídimenzionálního modelu spalování pomocí CFD a programu VECITS. Simulace trvaly do roku 2005 a na jejich konci byly výsledky více než pozitivní. V průběhu tohoto roku byly zahájeny práce na sestavení prvního funkčního prototypu. Ten byl postaven na základě jedné řady válců motoru 2,1 l V6. Tato koncepce byla zvolena také s ohledem na snadnou přenositelnost pro vidlicové osmiválcové motory zdvihových objemů 3-4 litry. (19)

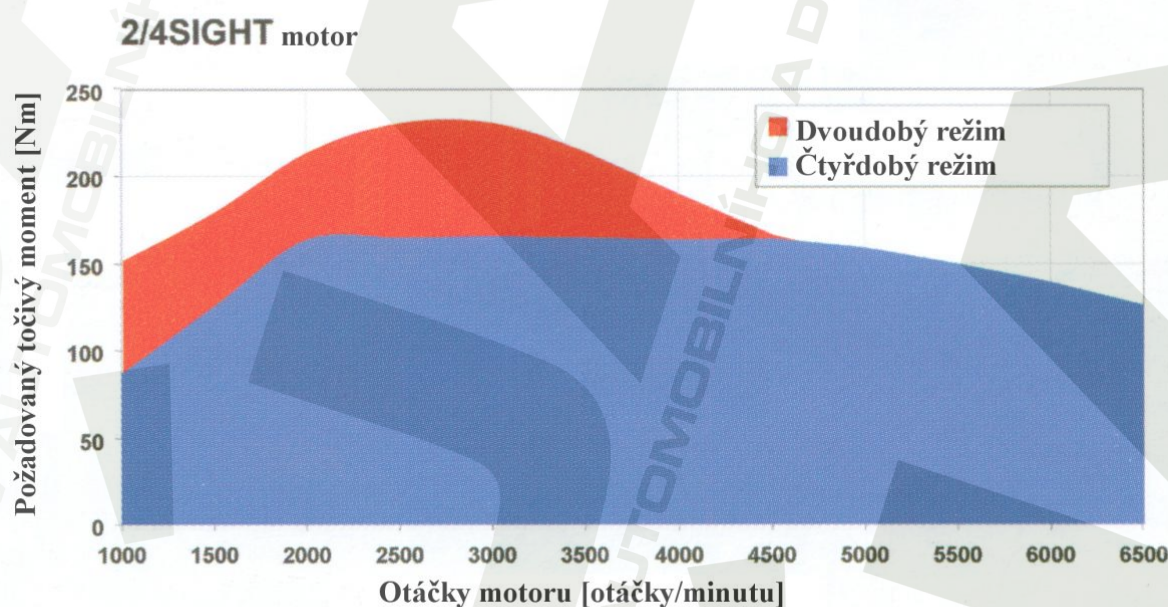
Souběžně probíhal výzkum na univerzitě v Brunelu a Detroitu. První univerzita na základní testovací jednotce společnosti Ricardo s řadovým označením Hydra vyvíjela systém řízení

spalování. Díky tomuto výzkumu bylo získáno mnoho dat, které napomohly k objasnění řízení mezi režimy dvoudobého a čtyřdobého chodu. Na druhé univerzitě probíhal návrh a testování řešení mechanického přepínače mezi dvoudobým a čtyřdobým režimem chodu motoru. Všechny tyto výzkumy byly velice finančně náročné, ale otevíraly cestu k sestrojení prvního funkčního prototypu a následného užití v osobních automobilech. (19)

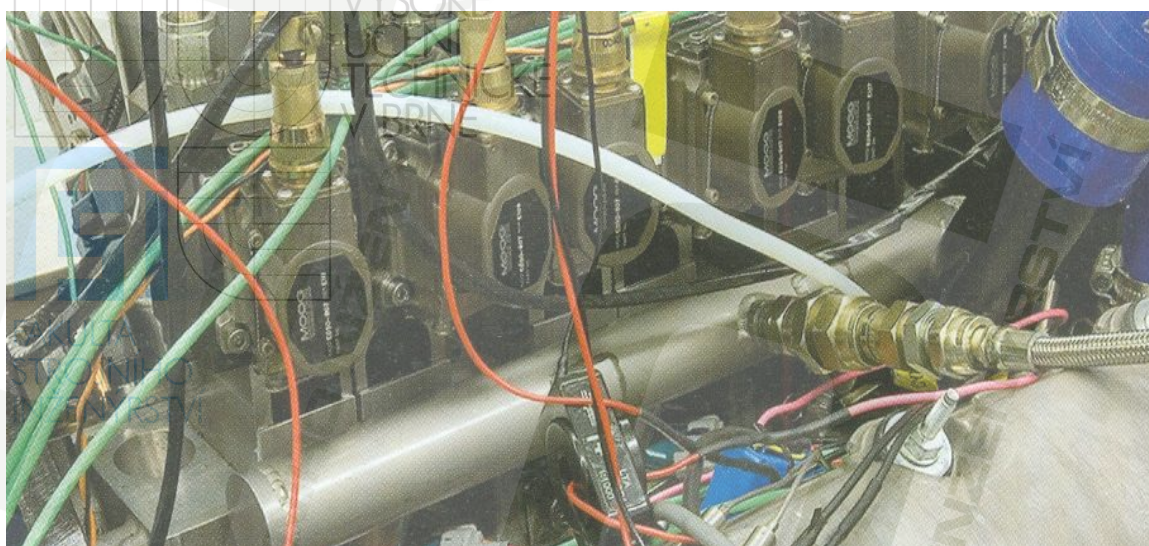
Firma Ricardo již dříve vynalezla systém elektrohydraulického řízení ventilů (EHV), který byl ideální pro aplikaci v tomto motoru. Systémy na řízení vzduchového hospodářství motoru zajišťovala externí firma Honeywell, která prováděla i modifikaci pomocí technologie Denso Rapid Prototyping. Vzduch byl dvakrát stlačen a poté ochlazen. Systém byl navržen tak, aby korespondoval se systémem přímého vstřikování. (19)

Výzkumy byly zakončeny až roku 2007 sestrojením a spuštěním prvního prototypu. První naměřené hodnoty zaskočily celý výzkumný tým svojí vysokou výkonností. Toto byl první historicky schopný prototyp, který dovedl pracovat v dvoudobém i čtyřdobém přepínatelném režimu. Přepínání režimů bylo plně automatické a probíhalo na základě otáček klikového hřídele a požadovaného točivého momentu na výstupu motoru, jak je vidět na Obr. 42. (19)

Roku 2008 proběhly první testy prototypu na osobních vozech. Test proběhl na 1800 kg těžkém voze osazeným prototypem 2,1 litrovým motorem V6 koncepce 2/4 Sight, oproti původnímu 3,5 litrovému motoru ze základní řady výrobce. (19)



Obr. 42 - Schéma režimu 2/4 Sight motoru
(19)



Obr. 43 - Foto prototypu
(19)

Dále bylo vozidlo osazeno pěti stupňovou automatickou převodovkou s měničem točivého momentu. Na konci testu se provedlo srovnání naměřených dat a zjistilo se, že pozitivní přínos pro spotřebitele v podobě až 27 % úsporu na nákladech na palivo a výrazné snížení produkce CO₂ z 260g 180g na kilometr.



Obr. 39 – Foto prototypu
(19)

7.2 Testovací jednotka na měření pasivních odporů pomocných agregátů spalovacích motorů

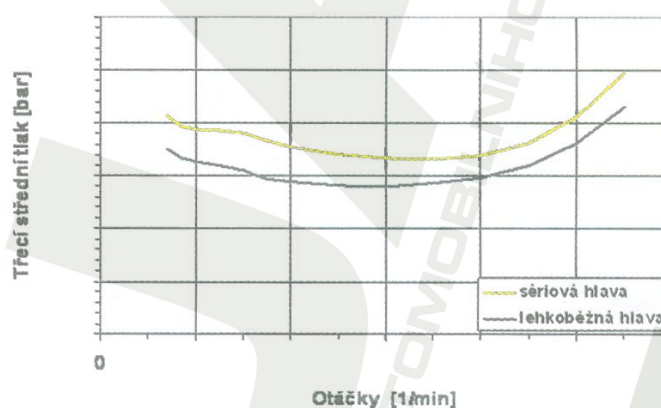
Tato studie probíhala na našem území. Roku 2010 byl vypsán dotační program Ministerstvem průmyslu a obchodu České republiky pod názvem TIP. Zadání požadovalo vyvinutí

speciálního zkušebního zařízení pro měření pasivních odporů pomocných agregátů spalovacích motorů. Toto odvětví se v tomto oboru dosti přehlíží, i když přímo ovlivňuje dnešní politiku vývoje, spočívající ve snížené tvorbě skleníkových plynů. Snížování odporů se provádí užitím nových materiálů, optimalizací hmotnosti dynamicky zatížených dílů, úpravou konstrukce vedoucí k řízení deformací způsobených provozními teplotami a zdokonalováním mazacího systému i mazacích médií. Test prozatím probíhal převážně dle speciálních výpočtových modelů.

Proto se rozhodla firma Lenam doplnit spektrum svých nástrojů vývojem a tvorbou speciálního zařízení na měření pasivních odporů na spalovacích motorech pro osobní nebo lehké užitkové automobily a přihlásila se k vytvoření této jednotky.

Měřicí zařízení se skládá ze speciálně koncipovaného rámu, do kterého se zabudovává testovaný motor. Pro roztočení zkušební jednotky je užito vhodně dimenzovaného elektromotoru řízeného pomocí vysokofrekvenčního měniče. Systém je vybaven kompletním hospodářstvím chladicího okruhu jako je topení a chladič a obtokovou větví. Na klikové hřídeli je umístěno čidlo měřící točivý moment. Celá tato jednotka je řízena pomocí počítače, který obsahuje i řídicí software, který je schopen plně naprogramovat zkoušku a řídit ji tak, aby nedošlo ke kolizním stavům.

Při prvních testech na tomto zařízení proběhlo měření pro výrobce spalovacích motorů. Měření byla provedena pro tři teploty mazacího oleje a pro pracovní rozsah otáček motoru. Měřily se odpory na sériovém provedení motoru a ty se porovnávaly s odpory motoru, který byl osazen novou prototypovou hlavou, která měla jinou konstrukci při zachování zdvihových křivek ventilů. Výsledek zkoušky můžete vidět na Obr. 44.



Obr. 44 - Výsledek testu na testovací jednotce
(7)

Toto stanoviště lze také využít ke kontrole průhybů řetězových a řemenových převodů. Toto však vyžaduje instalaci přídavné vysokorychlostní kamery, kterou je možné instalovat dle přání zákazníka.

Pozitivní přínos pro spotřebitele tímto měřením spočívá ve značné úspoře tzv. pasivních odporů. Které přímo ovlivňují spotřebu paliva a dynamiku jízdy vozidla.

7.3 Určování oktanového a cetanového čísla

Průkopníkem v oblasti oktanového čísla byl Sir Henry Ricardo. Jako první sestavil jednoválcovou testovací jednotku a provedl test tehdejších paliv, který spočíval ve spalování paliva za plného zatížení motoru. Zkoumání spočívalo v měření tlaku a sluchové kontrole, která indikovala „klepáním“ sklon paliva k detonacím. (20)

Dnešní určování oktanového čísla je podrobněji popsáno normou ČSN 656505, která obsahuje přímo dělení paliv do skupin. Test probíhá na jednoválcové zkušební jednotce při předepsaných otáčkách v rozmezí 600 až 900 otáček za minutu, která má možnost variabilní změny kompresního poměru za běhu motoru v rozsahu 4 až 10:1. (20)

V motoru je proveden test zkoumaného paliva a zaznamenána data. Poté je hledána vhodná směs izooktanu (je-li prvek ve směsi sám – oktanové číslo 100) a n-heptanu (je-li prvek ve směsi sám – oktanové číslo 0), která vykazuje stejné vlastnosti jako zkoumaný vzorek. Dle daného poměru směsi dostává testované palivo oktanové číslo. Volba prvků směsi je předepsána normou. Oktanové číslo se používá u paliv zážehových motorů, nejčastěji v podobě benzinů. (20)

Obdobou oktanového čísla je číslo cetanové, slouží k testování paliv vznětových, tedy nejčastěji nafty. Testovací jednotka bývá použita stejná jako u testování oktanového čísla, ale je modifikována o hlavu válce s přímým vstřikováním paliva. (20)

Zde je postup totožný, nejprve se testuje vzorek paliva při plném zatížení motoru a mění se kompresní poměr jednotky a posléze je hledaná směs, která se skládá z cetanu (je-li prvek ve směsi sám – cetanové číslo 100) a heptametylnonanu (je-li prvek ve směsi sám – cetanové číslo 0), která má stejné vlastnosti jako testovaný vzorek. Opět je cetanové číslo určeno z poměru směsi. (20)

Moderní spalovací motory vykazují velmi vysoké výkony, ovšem tyto nejsou schopny dodávat, pokud není palivo v požadované kvalitě. Proto musí být z hlediska spotřebitele nastaven normou předepsaný standart, aby paliva byla průběžně kontrolována a nedocházelo k poškození spalovací jednotky nevhodnými palivy, což se v poslední době občas stává. Proto i tento přínos výzkumných testovacích jednotek je nezanedbatelný a byl uveden v mé práci. (20)

8 Možnost konstrukce výzkumné jednotky domovskou univerzitou

Konstrukce výzkumné spalovací jednotky není lehkou záležitostí. Tato práce nastiňuje možnosti konstrukce v rozdělení výzkumných jednotek. V podstatě existují tři možnosti vlastní konstrukce.

Tou první je modifikace již stávající jednoválcové jednotky, která je podmíněna jejím vlastním. Probíhá úpravou potřebných komponent, nejčastěji se jedná o hlavu válce, která je upravena tak, aby podporovala dopravu spalovaného media. Jedná se o nejjednodušší formu získání výzkumné jednotky, která je však omezena parametry jednotky, která byla modifikována.

Druhou možností je úprava stávajícího sériově vyráběného víceválcového motoru, kde dojde k úpravě jednotky tak, že jeden válec je použit jako testovací a ostatní válce slouží jako pístové kompresory menších výkonů, které dodávají stlačený vzduch pro přeplňování. Výhodou této koncepce je, že motor je jeden celek s kompletními prvky pro vyvážení a není potřeba další příslušenství, jako je například turbodmychadlo. Motor však takto modifikovat není jednoduché a vyžaduje to značnou úpravu konstrukce. I tato varianta je omezena parametry motoru, který byl použit na úpravu. Její provedení je stále lehčí než následující varianta.

Poslední možností je použití sériově vyráběného motoru, z kterého se využije jeden válec, který se oddělí společně s klikovou skříní a hlavou válce. Vše se konstrukčně upraví v podobě svaření klikové skříně a ostatních prvků. Dále se dle požadovaných parametrů upraví válec. Tato koncepce umožní značnou úsporu v podobě použití stávajících konstrukčních prvků motoru, ale nese s sebou vysoké nároky na konstrukční řešení úprav. Nespornou výhodou této varianty je její cena a možnost modifikovat si výzkumnou jednotku na míru.

9 Závěr

Tato bakalářská práce měla za úkol nastínit problematiku výzkumných spalovacích motorů. Byl proveden průzkum sortimentu předních firem na trhu a došlo se k závěru, že koncepce jejich sortimentu je podobná. Společnosti jsou schopny pokrýt svojí nabídkou celkový rozsah poptávky trhu. Dále v práci byla popsána možnost výroby testovací jednotky, která probíhá buď přestavbou již stávajícího zkušebního motoru na jiný druh paliva, nebo úpravou sériově vyráběného motoru.

Spalovací motor je v dnešní moderní společnosti nenahraditelným strojem, který neodmyslitelně patří do našeho každodenního života. Výzkumné testovací jednotky stojí za jeho zdokonalováním do dnešní podoby, jak jej známe. Proto jsou neodmyslitelnou a velmi důležitou složkou jeho vývoje.

Automobilky se snaží dopravní prostředky vyrábět výkonnější, lehčí a ekonomičtější. Snaží se minimalizovat, popřípadě odstranit, škodlivé dopady na životní prostředí a zvyšovat bezpečnost. I přes složitost spalovacího motoru se všechny tyto požadavky daří plnit, ale jenom díky výzkumným spalovacím jednotkám, na kterých je vše nejprve ověřeno a potom nasazeno do sériové výroby.

Odvětví výzkumných spalovacích motorů v sobě skrývá velký potenciál ve formě možnosti testovat nové poznatky v konstrukci motoru, popřípadě zkoumat paliva, ať už se jedná o zdokonalování stávajících, nebo v poslední době hodně diskutovaných alternativních, jako je vodík či LPG. Jejich přínos pro vědu je obrovský.

10 Seznam použité literatury

- (1) KOŠTÁL, J; SUK, B. *Pístové spalovací motory*. Praha: Československá akademie věd, 1963. 365 s.
- (2) BEKLERCK, J. *Veteran stationary engines and tractor colector* [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Veteran. Dostupné z WWW: <<http://jdeklerck.tripod.com/images/deutz.jpg>>
- (3) Vznětový motor. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2. 11. 2007, 7. 10. 2010 [cit. 2010-05-13]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Vznětový_motor>
- (4) *The Engines of Our Ingenuity* [online]. 2000 [cit. 2010-05-13]. Engines. Dostupné z WWW: <<http://www.uh.edu/engines/>>
- (5) BEKLERCK, J. *Veteran stationary engines and tractor colector* [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Veteran. Dostupné z WWW: <<http://jdeklerck.tripod.com/images/Wikov2.jpg>>
- (6) PAVELEK, M. *Termomechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2003. 285 s. ISBN 80-214-2409-5
- (7) Výzkumná testovací jednotka. *Technický týdeník*. 2010, 10, s. 7-15. Dostupný také z WWW: <<http://www.techtydenik.cz/index.php>>
- (8) RICARDO, H., HEMPSON, J. G. G. *The High-Speed Internal-Combustion Engine*. Blackie & Son Limited, London and Glasgow, Fifth editon, 1968
- (9) SCHOLZ, C. Koncepce jednoválcových motorů pro výzkum. *XXXVIII. mezinárodní vědecká konference pracovníků katedie*. 2008, 1, s. 1-7.
- (10) *Ricardo: Advanced Research Engines* [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.ricardo.com/en-gb/Engineering-Consulting/Large-and-Other-Engines/Advanced-Research-Engines/>>
- (11) *FEV: Single Cylinder Engine Program* [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.fev.com/content/public/default.aspx?id=493>>
- (12) *ATZ online: Research* [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.atzonline.com/cms/images/at11-08-04.jpg>>
- (13) AVL: Research single cylinder engine family. *AVL voucher*. 2009, 1, s. 1-5
- (14) Lotus: Omnivore Research Engine. *Lotus* [online]. 2010, 1, [cit. 2010-05-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.autonewscast.com/2009/02/25/lotus-omnivore-research-engine-unveiled/>>
- (15) *Engine Research Center: Wavelength-agile Temp / H2O measurements* [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.erc.wisc.edu/absorption.php>>
- (16) *Engine Research Center* [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Fluorescence. Dostupné z WWW: <<http://www.erc.wisc.edu/fluorescence.php>>
- (17) *Engine Research Center* [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Iluminiscence. Dostupné z WWW: <<http://www.erc.wisc.edu/fluorescence.php>>
- (18) *Engine Research Center* [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Visualization. Dostupné z WWW: <<http://www.erc.wisc.edu/visualization.php>>
- (19) *Ricardo: Ricardo Quarterly Review*. London: Ricardo, 2010. 20 s
- (20) RAUSCHER, J. *Spalovací motory*. Brno: CERM s.r.o., 2000. 320 s