

Mendelova univerzita v Brně
Agromická fakulta
Ústav techniky a automobilové dopravy



**Úplná charakteristika spalovacího motoru a její využití při
provozu vozidla**

Diplomová práce

Vedoucí práce:
doc. Ing. Pavel Sedlák, CSc.

Vypracoval:
Bc. Pavel Kopr

Brno 2015

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci: **Úplná charakteristika spalovacího motoru a její využití při provozu vozidla** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce panu **doc. Ing. Pavlu Sedlákovi, CSc.** za odborné rady, náměty a věcné připomínky, které mi v průběhu zpracování diplomové práce ochotně poskytoval. Dále bych rád poděkoval panu **Ing. Marku Žákovi, Ph.D.** a panu **Ing. Vítu Podlipnému** za pomoc při měření dat pro praktickou část diplomové práce a obsluhu zkušebny.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zpracovaná na téma „Úplná charakteristika spalovacího motoru a její využití při provozu vozidla.“ Pojednává o tepelné bilanci zážehového motoru. Práce je rozdělaná na dvě části.

V první části diplomové práce se zaměřuji na jednotlivé části vozidla, které přímo souvisí s tepelnou bilancí, jako jsou motor, chladicí soustava a výfuková soustava. Tyto části vozidla se budu snažit blíže popsat a rozdělit.

V druhé části diplomové práce je popisována metodika měření tepelné bilance na zážehovém motoru v motorové zkušebně Ústavu techniky a automobilové dopravy Mendelovy univerzity v Brně. Práce se zaměřuje na spotřebu paliva, změny v teplotách chladicí kapaliny, nasávaného vzduchu a výfukových plynů a na výpočet tepelné bilance.

Klíčová slova:

Motor, chladicí soustava, výfuková soustava, tepelná bilance, úplná charakteristika

ABSTRCT

This diploma theses deals with the topic "Full characteristics of combustion engine and its use in vehicle operation". This work is focused on the heat balance of petrol engine. This work is divided into two parts.

In the first part of the thesis I focused on each part of the vehicle that is directly related to the heat balance, such as the engine, cooling system and exhaust system. These parts of the vehicle I will try to describe in more detail and divide.

Second part of the theses describes the methodology for measuring the heat balance on the petrol engine in the test room of Ústav techniky a automobilové dopravy of the Mendel University in Brno. I focused on fuel consumption, changes of the temperature of the coolant, intake air and exhaust gases. Special attention is paid on the heat balance calculation.

Keywords:

Engine, cooling system, exhaust system, heat balance, full characteristics

OBSAH

| | |
|---|----|
| 1. ÚVOD | 8 |
| 2. MOTORY | 9 |
| 2.1 Rozdělení spalovacích motorů..... | 9 |
| 2.2 Pístové motory | 10 |
| 2.3 Činnost čtyřdobého zážehového motoru | 11 |
| 2.4 Teoretický tepelný izochorický oběh zážehového motoru | 12 |
| 2.5 Skutečný pracovní oběh zážehového motoru | 13 |
| 3. CHLAZENÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ | 14 |
| 3.1 Úkoly a rozdělení chladících soustav spalovacího motoru | 14 |
| 3.2 Vzduchem chlazené motory | 15 |
| 3.3 Kapalínou chlazené motory | 17 |
| 4. VÝFUKOVÁ SOUSTAVA SPALOVACÍCH MOTORŮ | 19 |
| 4.1 Sběrné potrubí výfukové soustavy..... | 19 |
| 4.2 Tlumič hluku..... | 20 |
| 4.3 Systémy pro snížení emisí | 21 |
| 5. MĚŘENÍ VÝKOMU MOTORU A SPOTŘEBY PALIVA..... | 21 |
| 5.1 Měření výkonu..... | 21 |
| 5.2 Měření spotřeby paliva | 23 |
| 6. CÍL PRÁCE | 27 |
| 7. METODIKA MĚŘENÍ..... | 27 |
| 7.1 Příprava měření..... | 27 |
| 7.2 Metodika měření dat | 27 |
| 7.3 Metodika stanovení hustoty vody a oleje | 28 |
| 7.4 Metodika vyhodnocování dat | 30 |
| 8. VYBAVENÍ MOTOROVÉ ZKUŠEBNY..... | 31 |
| 8.1 Vířivý dynamometr..... | 32 |
| 8.2 Zážehový motor | 34 |

| | | |
|------|---|----|
| 8.3 | Řídící jednotka motoru | 34 |
| 8.4 | Coriolisuv hmotnostní průtokoměr | 35 |
| 8.5 | Termočlánky | 36 |
| 8.6 | Chladicí okruh..... | 36 |
| 9. | VÝPOČTOVÉ VZTAHY | 37 |
| 9.1 | Hodinová spotřeba paliva | 37 |
| 9.2 | Měrná spotřeba paliva..... | 37 |
| 9.3 | Tepelná bilance spalovacího motoru | 38 |
| 9.4 | Tepelný tok přivedený v palivu | 38 |
| 9.5 | Efektivní tepelný tok..... | 38 |
| 9.6 | Tepelný tok odvedený chlazením | 39 |
| 9.7 | Tepelný tok odvedený olejem..... | 39 |
| 9.8 | Tepelný tok odvedený výfukem | 40 |
| 9.9 | Ostatní odvedený tepelný tok | 40 |
| 9.10 | Procentuální vyjádření tepelné bilance | 41 |
| 10. | VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ | 41 |
| 10.1 | Úplná charakteristika s měrnou spotřebou paliva..... | 42 |
| 10.2 | Úplná charakteristika s tepelným tokem přivedeným v palivu | 43 |
| 10.3 | Úplná charakteristika s efektivním tepelným tokem | 44 |
| 10.4 | Úplná charakteristika s tepelným tokem odvedeným chlazením | 45 |
| 10.5 | Úplná charakteristika s tepelným tokem odvedeným výfukem | 46 |
| 10.6 | Úplná charakteristika s ostatním odvedeným tepelným tokem..... | 47 |
| 10.7 | Vyhodnocení tepelní bilance při 100% otevření škrticí klapky..... | 48 |
| 10.8 | Validace hodnot spotřeby paliva z řídicí jednotky motoru | 50 |
| 11. | DISKUZE..... | 52 |

| | |
|-----------------------------|----|
| 12. ZÁVĚR | 55 |
| 13. SEZNAM LITERATURY | 56 |
| 14. SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 58 |

1. ÚVOD

V dnešní době je automobil nedílnou součástí každodenního života jakéhokoliv člověka a patří k největším vynálezům našeho světa podobně jako žárovka, oheň nebo kolo. Počet automobilů a dopravních prostředků jako celku roste neuvěřitelným tempem a již dávno překonalo populační růst lidstva. Ve vyspělých zemích světa již dnes připadá jeden osobní automobil na méně, než dva obyvatele. S další enormním nárůstem osobních automobilů se počítá, v lidnatých zemích Asie jako je Indie nebo Čína, kde velmi rychle roste životní úroveň tamních obyvatel. S rostoucím počtem automobilů roste i hlad lidstva po energiích, které tyto automobily pohání, s čímž rostou i problémy, které s dopravou souvisí. Mezi nejzávažnější problémy, které doprava přináší, patří znečištění životního prostředí, nadměrný hluk a smog ve městech, oteplování naší planety a vznik skleníkového efektu.

Veškeré tyto problémy souvisí s palivem, které vozidla spotřebovávají ke svému provozu a s výfukovými plyny, které vypouští. Proto je největší snahou dnešních konstruktérů zkonstruovat motor, který je výkonný a zároveň spotřebuje malé množství paliva a tím pádem vyprodukuje i malé množství výfukových plynů. Tuto snahu se úspěšně daří zvládat i díky novým technickým řešením. Největší pokrok se v dnešní době projevuje především v oblasti přípravy palivové směsi a aplikaci elektroniky do řídicích a ovládacích procesů motoru. Díky elektronice dokážeme provádět neustálou kontrolu a regulaci motoru. Dále dokážeme propojit řízení motoru s ostatními skupinami jako je například převodovka nebo brzdy. Cílem veškerých změn a vylepšení, které konstruktéři navrhnu je snížit množství produkovaných výfukových plynů, spotřebu paliva, snížení ztrátových výkonů a tepelného namáhání motoru.

Abychom mohli zlepšovat a zdokonalovat stávající parametry spalovacích motorů, je velice důležitou součástí vývoje i testování a zkoušení inovovaných motorů v motorových zkušebnách, respektive ve zkušebnách obecně. Z tohoto důvodu se tato diplomová práce zabývá zpracováním dat naměřených v motorové zkušebně.

2. MOTOR

Motor je hnací stroj motorového prostředku, transformuje nějaký druh energie na mechanickou práci, která se posléze využívá na pohon samotného motorového prostředku, eventuálně i na pohon jeho dalších zařízení. [1]

2.1 Rozdělení spalovacích motorů

V dopravních prostředcích se nejčastěji používá jako zdroj energie spalovací motor. Spalovací motory dopravních prostředků můžeme rozdělit podle mnoha kritérií jako je počet válců, počet dob a podle dalších kritérií. V této práci jsou jednotlivé motory rozděleny podle způsobu spalování a to na motory:

- S vnitřním spalováním
 - o Pístové motory s přímočarým vratným pohybem pístů
 - o Pístové motory s jiným pohybem pístů (Wanklův motor)
- S vnějším spalováním
 - o Stirlingovy motory
 - o Proudové motory
 - o Raketové motory

Pístový spalovací motor s vnitřním diskontinuálním spalováním a přímočarým vratným pohybem pístů je tepelný motor, v kterém se získává mechanická práce z tepelné energie přivedené v palivu. Tento typ motoru se nejčastěji používá v automobilech.

Wanklův motor, je pístový spalovací motor, v němž se získává mechanická práce z tepelné energie přivedené v palivu, podobně jako u pístového motoru s přímočarým pohybem pístu. Nicméně spalovací komora s pístem je odlišná. Píst je rovnostranný trojúhelník se zakřivenými stranami a vykonává pohyb, který je složený z dvou krouživých pohybů, vázaných tak, že na jednu otáčku pístu se vykonávají tři otáčky hřídele.

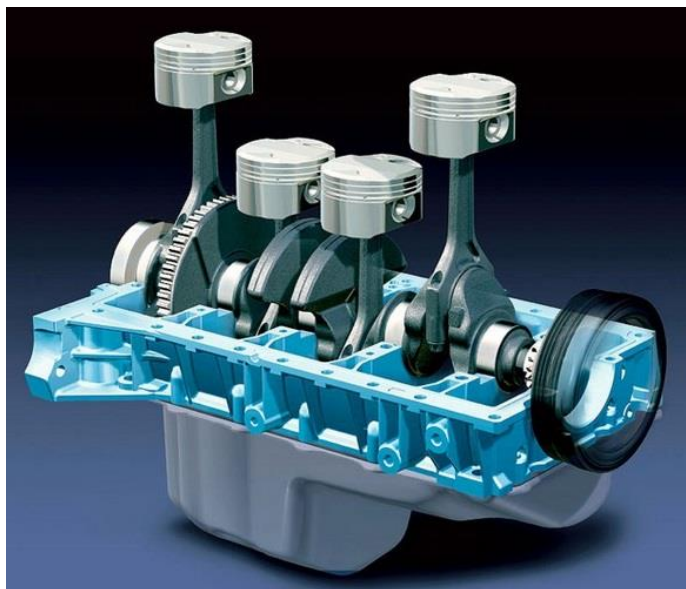
Stirlingův motor je pístový spalovací motor, ve kterém se získává mechanická práce z tepelné energie pracovní látky, která je ohřívána vnějším zdrojem tepla. Píst vykonává přímočarý vratný pohyb.

Proudový motor, ve kterém se tepelná energie mění na mechanickou práci pomocí kinetické energie výfukových spalín, která roztáčí oběžná kola turbíny.

Raketové motory, tažná síla vzniká reakcí proudících spalin z trysky do atmosféry na základě principu zachování hybnosti. [1]

2.2 Pístové motory

Chceme-li definovat pístové spalovací motory, můžeme říci, že pístové spalovací motory jsou tepelnými stroji, u nichž se získává mechanická energie termochemickým uvolněním energie z přivedeného paliva, což se projeví zvýšením teploty a tlaku plynů ve spalovací komoře. Zvýšený tlak, který působí ve válci na píst při expanzi, koná užitečnou práci.



Obr. 1 Pístový spalovací motor [3]

Z toho důvodu lze spalování v motorech považovat za přeměnu tepelné energie na mechanickou práci. [2]

Z hlediska počtu vyrobených kusů v celosvětovém měřítku, můžeme konstatovat, že pístové spalovací motory patří k nejrozšířenějším používaným motorům pro dopravní prostředky. Rozdělení pístových spalovacích motorů závisí na zvolených kritériích. V praxi se nejčastěji používají dva typy motorů a to:

- Vznětové
- Zážehové

Vznětový motor je motor, v kterém se vstříknuté rozprášené palivo samovolně vzněcuje ve vzduchu ohřátém kompresním teplem, nad teplotu vznícení paliva.

Zážehový motor s jiskrovým zapalováním je motor, v kterém se stlačená zápalná směs zapaluje zvláštním, časově řízeným zdrojem, elektrickou jiskrou uvnitř válce. [1]

Existuje spousta dalších kritérií, jak lze motory rozdělit. Například podle pracovních dob na dvoudobé a čtyřdobé. Tato diplomová práce se bude zabývat pouze čtyřdobým zážehovým motorem, protože na čtyřdobém zážehovém motoru bylo provedeno měření pro potřeby diplomové práce.

2.3 Činnost čtyřdobého zážehového motoru

Pracovní cyklus čtyřdobého motoru probíhá během dvou otáček klikového hřídele a je složen z následujících fází:

- sání
- komprese
- expanze
- výfuk

Grafické znázornění jednotlivých pracovních fází zážehového motoru je zobrazeno na obr. 2.

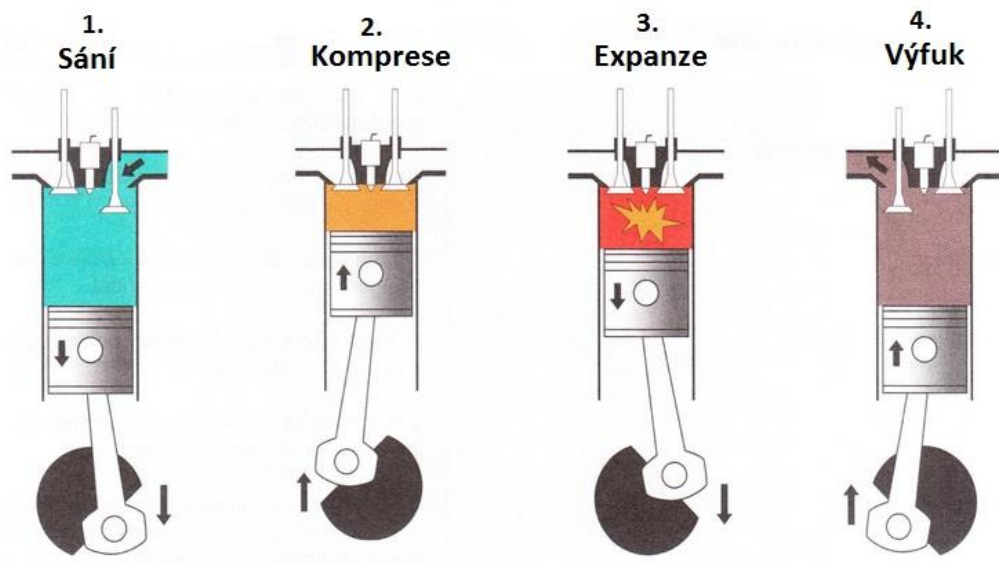
Pracovní cyklus probíhá ve válci nad pístem a výměna náplně je realizována sacími a výfukovými ventily.

Sání – sací ventil je otevřen, výfukový ventil je uzavřen, píst se pohybuje z horní do dolní úvratě. Sacím kanálem je směs nasávaná do válce. Jakmile dosáhne píst dolní úvratě, uzavře se sací ventil. Pro dosažení co nejlepšího plnění válce dojde k uzavření ventilu až těsně za dolní úvratí. Díky tomu je využita energie proudící směsi k většímu naplnění válce.

Komprese – sací i výfukový ventil je uzavřený, píst se pohybuje z dolní do horní úvratě, dochází ke stlačování hořlavé směsi nad pístem. Krátce před horní úvratí dojde k zažehnutí elektrickou jiskrou.

Expanze – vlivem elektrického výboje dojde k vzplanutí směsi, ve válci roste teplota a tlak. Těsně za horní úvratí tlak ve válci dosáhne maximální hodnoty. Tlakem je přesouván píst do dolní úvratě a přes ojnici dochází k roztáčení klikového hřídele. Tato fáze je jedinou fází, kdy píst vykonává práci.

Výfuk – ještě před dosažením dolní úvratě je otevřen výfukový ventil. Tím dojde k rychlému rozproudění spalin ve výfukovém kanálu a k dokonalejšímu vyprázdnění výfukových plynů z válce. Píst se pohybuje do horní úvratě a vytlačí výfukové plyny, které zbyly ve válci. Výfukový ventil je uzavřen až těsně za horní úvratí, tak aby došlo k odstranění spalin z válce. [2]



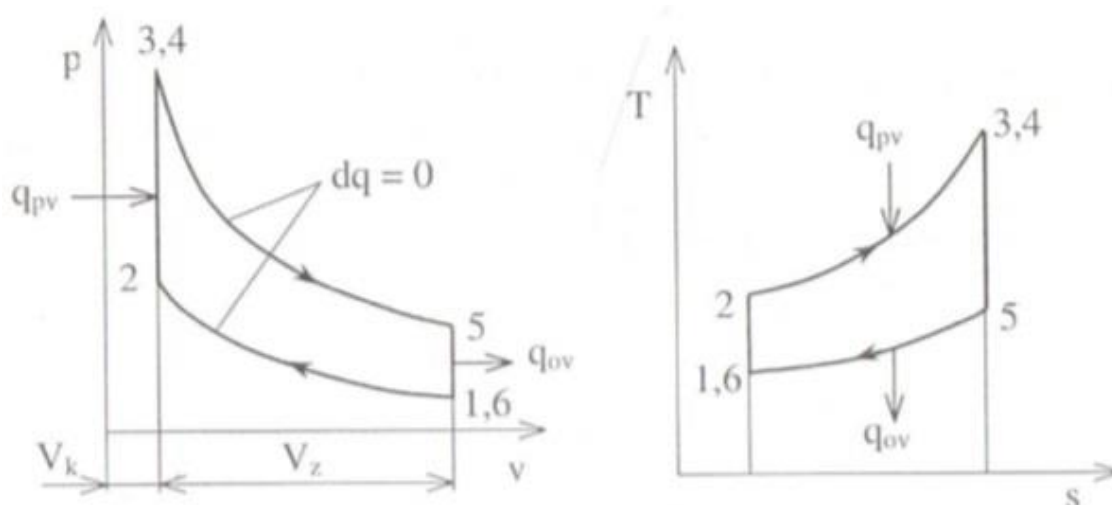
Obr. 2 Činnost čtyřdobého zážehového motoru [2]

2.4 Teoretický tepelný izochorický oběh zážehového motoru

Teoretické tepelné oběhy, nazývané jako porovnávací nebo ideální, jsou myšlené vratné děje, podle kterých by pracoval ideální stroj. Jsou velmi vhodné na pochopení podstaty probíhajících termodynamických dějů ve spalovacím motoru, i na jednoduché posouzení hospodárnosti skutečných oběhů. Pomocí nich je možné rovněž velmi jednoduše a poměrně spolehlivě porovnat vliv termodynamických změn v průběhu skutečných pracovních oběhů, které se ve všeobecném pohledu od teoretických tepelných oběhů podstatně odlišují.

O ideálním nebo dokonalém spalovacím motoru můžeme uvažovat, jestliže platí tyto předpoklady. Pracovní látka musí být ideální plyn, komprese a expanze musí být adiabatické děje, oběh musí být uzavřený, přívod a odvod tepla z oběhu se musí uskutečňovat izochoricky, pracovní prostor musí být dokonale těsný a nesmí docházet k přestupu tepla mezi pracovní látkou a stěnou pracovního prostoru.

Izochorický oběh zážehového motoru, který je na obr. 3, považujeme za typ vratného pracovního cyklu, který nejlépe popisuje činnost zážehového spalovacího motoru.



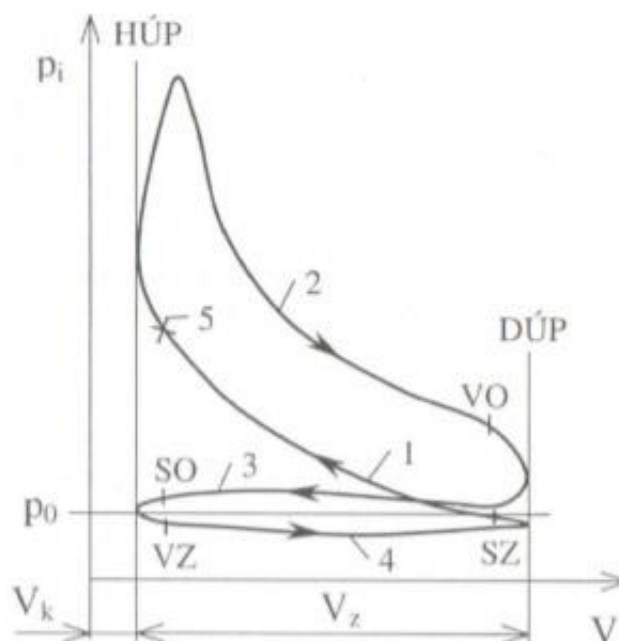
Obr. 3 Izochorický oběh zážehového motoru [1]

Uvedený oběh se skládá z těchto stavových změn: 1,6 – 2 adiabatická komprese, 2 – 3,4 izochorický přívod tepla (spalování), 3,4 – 5 adiabatická expanze a 5 – 1,6 izochorický odvod tepla (výfuk). Termická účinnost ideálního oběhu zážehového spalovacího motoru je závislá pouze na jeho konstrukčním kompresním poměru. [1]

2.5 Skutečný pracovní oběh zážehového motoru

Skutečný pracovní oběh zážehového motoru se dá zjistit jen měřením průběhu tlaku v jeho pracovním prostoru, to je ve válci nad pístem, v závislosti na poloze pístu nebo otáčením kliky klikového hřídele. Proces zjišťování průběhu tlaku se nazývá „indikování motoru“. Získáme diagram průběhu tlaku, nazývaný „indikátorový diagram“.

V diagramu zážehového motoru na obr. 4, plocha ohraničená křivkami 1 a 2 představuje pozitivní



Obr. 4 Pracovní (indikátorový) diagram zážehového motoru [1]

práci plynu vykonanou v průběhu expanzního zdvihu zmenšenou o práci, potřebnou na komprimování pracovní náplně. Plocha ohraničená křivkami 3 a 4 představuje negativní práci potřebnou na výměnu obsahu válce. Celková práce je dána rozdílem pozitivní a negativní práce a je menší než práce pozitivní. V diagramu jsou také uvedeny důležité body, které jsou označeny číslicemi a písmeny. 1 – komprese, 2 – expanze, 3 – výfuk, 4 – sání, 5 – přeskok jiskry, DÚP – dolní úvrať pístu, HÚP – horní úvrať pístu, SO – sání otevírá, SZ – sání zavírá, VO – výfuk otevírá, VZ – výfuk zavírá. [1]

3. CHLAZENÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ

Chlazení spalovacího motoru má velmi významný podíl na tepelné bilanci a celkové efektivnosti přeměny tepelné energie obsažené v palivu na mechanickou práci. Podle vykonaných měření a bilancování tepla přivedeného do motoru je zřejmé, že chlazením se odvádí do ovzduší přibližně jedna třetina veškerého přivedeného tepla v palivu. Nutnost chlazení vyplývá přímo z principu činnosti, vzhledem na vlastnosti konstrukčních materiálů, protože motor sám o sobě není schopen při pravidelně se opakujících pracovních cyklech stabilizovat svoji teplotu na bezpečnou hodnotu. Dobře vyřešené chlazení účelně udržuje teplotu na povrchu stěn spalovacího prostoru a válce. Nedostatečné chlazení způsobuje přehřívání, zvýšení opotřebení strojních součástí a snížení dopravní účinnosti. Nadměrné chlazení snižuje výkon a hospodárnost motoru, protože se nevyužije veškeré teplo, které by se mohlo přeměnit na mechanickou práci.[1]

3.1 Úlohy a rozdělení chladících soustav spalovacího motoru

Mezi základní úlohy chladících soustav spalovacích motorů patří:

- Udržovat přípustnou tepelnou hladinu a přípustný tepelný spád v nejméně tepelně namáhaných místech motoru jako jsou hlava válců, vložky válců, ventily a podobně.
- Odvádět teplo z plnicího vzduchu v přeplňovaných motorech, z mazacího oleje, z chladicí kapaliny a podobně.
- Zabezpečit co možná nejrychlejší ohřátí motoru na provozní teplotu, co nejdéle udržovat provozní teplotu motoru i při odlehčení, či zatížení motoru.

Podle důležitosti a množství odvedeného tepla mají spalovací motory následující chladicí okruhy:

- **Hlavní chladicí okruh** určený na chlazení zejména hlavy, válců a popřípadě pístu nebo ventilů.
- **Vedlejší chladicí okruh** tyto systémy napomáhají především při odvádění tepla z ostatních tepelně namáhaných částí motoru. Jedná se především o odvod tepla vzniklého třením v ložiscích, v pístové skupině a v rozvodových mechanizmech.
- **Přímý nenucený přechod tepla** přes stěny motoru a sáláním tepla do okolí ze všech povrchových částí motoru. [1]

Hlavní rozdělení chladicích soustav spalovacích motorů můžeme provést podle druhu chladicího media do dvou velkých skupin, které můžeme rozdělit do dalších podskupin. Rozdělení je tedy následující:

1. Vzduchem chlazené motory

- náporové chlazení
- ventilátorové chlazení

2. Kapalinou chlazené motory

- samočinné
- s nuceným oběhem chladicí kapaliny

3.2 Vzduchem chlazené motoru

Chlazení vzduchem se nabízí jako nejvýhodnější řešení z hlediska ceny i konstrukčních nároků. Je prakticky bezúdržbové, protože nevyžaduje chladicí kapalinu ani žádné mrazuvzdorné přísady nebo čerpadlo chladicí kapaliny či chladič.

Výhody vzduchem chlazených motorů je rychlé dosažení pracovní teploty motoru, vysoká pracovní spolehlivost při nenáročné údržbě a malá hmotnost. Dále je to jednoduchá a levná konstrukce. Proti výhodám stojí nevýhody, za něž lze považovat kolísání pracovní teploty, protože chladicí účinek záleží na teplotě okolního vzduchu a některá další konstrukční opatření, která vyžadují nerovnoměrné a nijak zvlášť účinné chlazení vzduchem. Nutnosti motoru, který je chlazen vzduchem jsou větší vůle pístů, a proto nastává i větší sklon k jejich klopení při posuvném pohybu ve válci. Snad největší

nevýhodou je velký příkon chladicího ventilátoru, který se může pohybovat až od 5 do 10 % celkového výkonu motoru.

Přímé chlazení lze rozdělit na náporové, které využívá pohyb vozidla pro získání potřebného množství vzduchu pro chlazení ploch motoru a na nucené, který využívá pro získání dostatečného množství vzduchu pro chlazení ventilátor. [4]

Náporové chlazení

Tento způsob chlazení patří k jednomu z nejjednodušších. Často se používá u motocyklů, kdy kolem jejich nezakrytých motorů dobře proudí vzduch. Aby se docílilo co možná největší teplosměnné chladicí plochy, jsou hlava válců, válce a často také skříň motoru opatřeny chladicími žebry.

Nevýhodou je možnost přehřátí motoru při velkých zatíženích a malé pojízdové rychlosti, nebo jeho podchlazení při malém výkonu a vysoké rychlosti například při jízdě s kopce. [4]



Obr. 5 Náporově vzduchem chlazený motor Yamaha XV 1600 Wildstar [5]

Ventilátorové chlazení

Ventilátorové chlazení je typické tím, že proudění chladicího vzduchu například na plochy motorů Tatra nebo Duetz, respektive chlazení je zabezpečováno ventilátorem,



Obr. 6 Ventilátorově vzduchem chlazený motor Tatra On Airtm T3D-928 [4]

přímém pohonu ventilátoru elektrickým motorem, závisí množství nasávaného vzduchu na charakteristice ventilátoru a na stavu elektrické soustavy vozidla, respektive na systému řízení pohonu ventilátoru. [4]

což lze vidět na obr. 6. Množství přivedeného vzduchu není závislé na rychlosti vozidla, ale na parametrech ventilátoru, jeho pohonu a konstrukčním provedení. Při přímém pohonu ventilátoru od klikového hřídele u starších konstrukčních řešení motoru je dopravované množství chladícího vzduchu přímo úměrné otáčkám motoru. Při

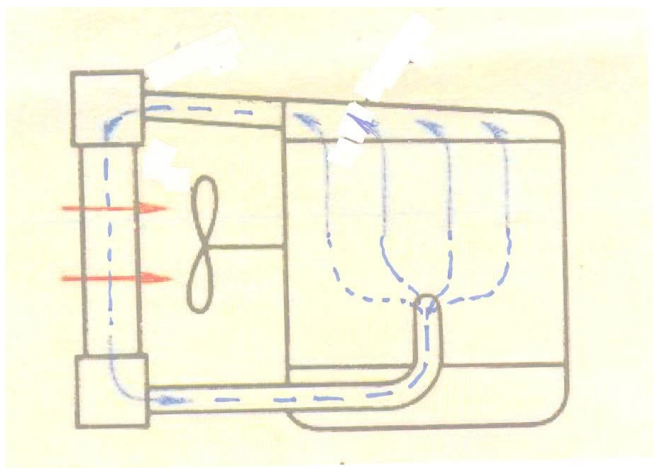
3.3 Kapalinou chlazené motory

V dnešní době se nejčastěji využívá k odvedení tepla z nejméně tepelně namáhaných částí motoru chladicí kapalina, která je schopna mnohem intenzivnějšího přenosu tepla a to díky svojí vysoké měrné tepelné kapacitě. Naakumulovaná tepelná energie v kapalině se odvádí do výměníku tepla (chladiče), pomocí kterého se realizuje přechod tepla do ovzduší. Tepelná energie kapaliny se v dopravním prostředku obvykle využívá i na vytápění prostoru pro osádku.

Podle konstrukčního uspořádání motoru a vozidla rozeznáváme několik systémů kapalinového chlazení. [1]

Samočinné chlazení

U tohoto způsobu chlazení je cirkulace chladicí kapaliny, způsobena rozdílem měrné hmotnosti teplé a studené chladicí kapaliny. Chladicí kapalina, která je ochlazena ve výměníku tepla proudem vzduchu vyvolaným ventilátorem, který je poháněn od klikového hřídele, vstupuje do spodní části válců motoru. Proud chladicí kapaliny vystupující ze spodní části chladiče chladí stěny válců a vstupuje do hlavy motoru,



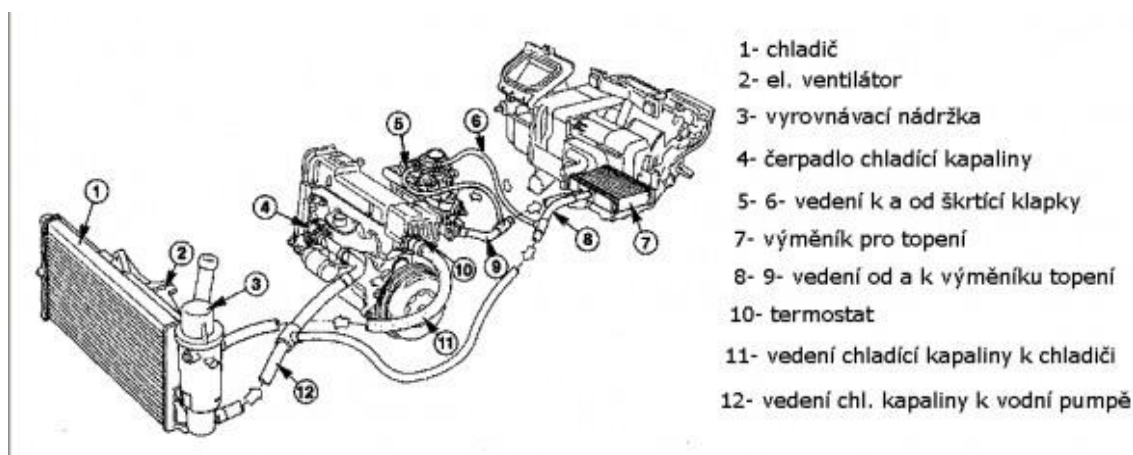
Obr. 7 Princip samočinného chlazení motoru [6]

odkud je společným potrubím veden do horní části chladiče. Princip funkce chladicí soustavy je znázorněn na obr. 7.

Pro zajištění intenzivní cirkulace kapaliny je nutný značný tepelný spád v chladiči. Rozdíl teplot na vstupu a výstupu z chladiče může dosahovat až 30°C. Protože výška sloupců různě teplých kapalin ovlivňuje rychlost cirkulace, byly chladiče osobních automobilu s tímto způsobem chlazení značně vysoké. V důsledku malé oběhové rychlosti musí být chladicí kanálky v bloku a hlavně motoru značně velké, z toho důvodu je potřeba i velké množství chladiva, které znemožňuje rychlé dosažení provozní teploty motoru. Z těchto důvodů je prakticky od čtyřicátých let minulého století tento druh chlazení nahrazen chlazením nucenou cirkulací. [4]

Chlazení s nuceným oběhem kapaliny

Cirkulaci chladicí kapaliny zabezpečuje oběhové čerpadlo poháněné přímo od klikového hřídele. Toto řešení nevyžaduje speciální umístění chladiče na motor, ani velký objem chladiva v chladicím okruhu motoru. Tepelný spád na výměníku tepla se v tomto případě pohybuje v rozmezí 6 - 12°C. Využijeme-li termostatický ventil, rozdělíme chladicí okruh na malý a velký chladicí okruh, což značně urychluje ohřátí

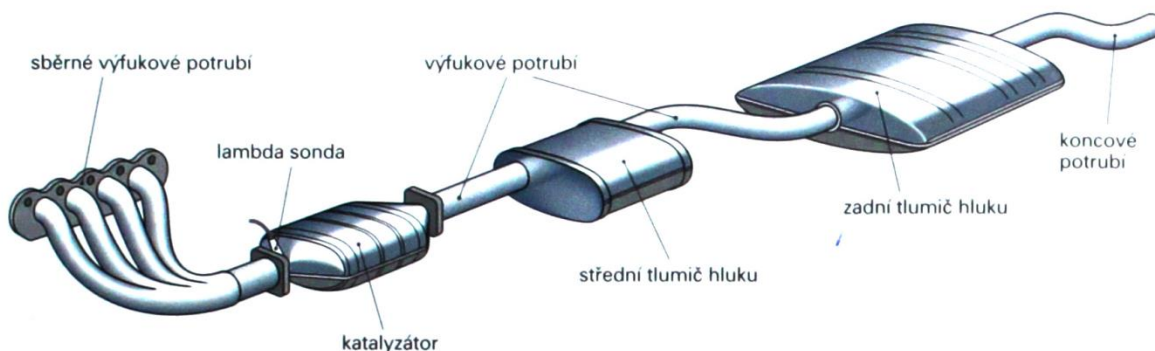


Obr. 8 Princip chlazení s nuceným oběhem kapaliny [7]

motoru na provozní teplotu. Termostat spolu se regulovaným zapínáním ventilátoru pak zajišťuje teplotu chladicí kapaliny na výstupu z motoru v požadovaném rozmezí. [4]

4. Výfuková soustava spalovacích motorů

Výfuková soustava se skládá z výfukového potrubí, katalyzátoru popřípadě jiného prvku snižujícího množství škodlivých plynů ve spalinách a jednoho nebo několika tlumičů hluku. Přední výfukové potrubí je přírubou připojeno na sběrné výfukové potrubí a ústí do katalyzátoru. Katalyzátor je spojovacím potrubím spojen s tlumičem hluku, následně pak koncové potrubí ústí do ovzduší. [8]



Obr. 9 Schéma výfukové soustavy spalovacího motoru s katalyzátorem [8]

4.1 Sběrné potrubí výfukové soustavy

Hlavním úkolem sběrného potrubí je svádět výfukové plyny ze spalovacího prostoru. Sběrné potrubí je vyrobeno ze dvou typů materiálů, buď je odléváno ze šedé litiny, nebo je vyrobeno ze žárovečné oceli.

Sběrné potrubí ze šedé litiny se využívá u starších modelů motorových vozidel. Mezi jeho velké výhody patřila odolnost proti oxidaci, dostatečná pevnost a schopnost pohlcovat vibrace a tlumit hluk. Mezi hlavní nevýhody litinového potrubí patří jeho velká hmotnost a především značný odvod tepla.

Potrubí ze žárovečné oceli se nejdříve používalo u závodních a sportovních automobilů, ale vzhledem k jeho velkým přednostem, jako je nízká hmotnost a malý odvod tepla, se tento typ potrubí prosadil i do běžných automobilů. Potrubí je délkově laděné, což znamená, že využívá tlakových pulzací ke zlepšení odvodu spalin, a tím se i nepatrně zvýší výkon motoru. [9]

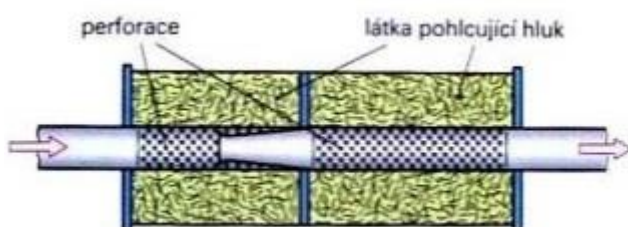


Obr. 10 Sběrné potrubí výfukové soustavy (sběrné potrubí ze žárovevné oceli a z šedé litiny) [9]

4.2 Tlumič hluku

Tlumič výfuku je další část výfuku, přes kterou proudí spaliny mimo vozidlo. Především účinně snižuje hluk vznikající prací motoru a prouděním výfukových plynů. Většinou je součástí výfukového systému přední a zadní tlumič. Na některých vozidlech mohou být i tlumiče další. Dle tlumení hluku existují tři typy tlumičů - absorpční, reflexní a interferenční.

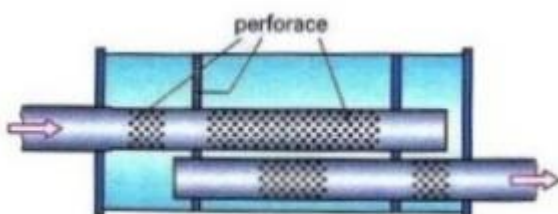
Absorpční tlumič



Obr. 11 Absorpční tlumič [10]

Absorpční tlumiče mají nepatrný odpor proti proudění spalin. Tyto tlumiče produkují pouze malý protitlak. Absorpční tlumiče mají mnoho komor vyplněných žárovzdorným a porézním materiálem, který dobře pohlcuje hluk. Komory jsou propojeny velkými otvory, kterými proudí výfukové plyny. Třením o tlumicí materiál se proud plynů zbrzdí, což vede k tlumení vibrací a hluku.

Reflexní tlumiče



Obr. 12 Reflexní tlumič [10]

Absorpční tlumiče mají nepatrný odpor proti proudění spalin. Tyto tlumiče produkují pouze malý protitlak. Absorpční tlumiče mají mnoho komor vyplněných žárovzdorným a porézním

Reflexní tlumiče se používají pro tlumení vysokofrekvenčního a nízkofrekvenčního hluku. Pro tlumení vysokofrekvenčního hluku musí být

výfukové plyny rozvedeny do několika za sebou umístěných komor. Nízkofrekvenční tlumiče jsou tvořeny pouzdrem s trubicí s mnoha otvory, která obepíná vlastní výfukové potrubí.

Interferenční tlumič

Interferenční tlumič je tvořen trubicí položenou uprostřed tlumiče. V trubici je velký počet otvorů, které jsou od sebe umístěny v přesně vypočtených vzdálenostech. Díky těmto vzdálenostem vzniká rezonance frekvencí akustických vlnění tak, aby se frekvence setkávaly pokud možno s opačnými fázemi. V ideálním případě při rezonanci frekvencí posunutých fázově o 180° dojde k úplnému vyrušení a zaniknutí hluku. [10]

4.3 Systémy pro snížení emisí

Každé motorové vozidlo se spalovacím motorem musí obsahovat zařízení pro snížení emisí. Nejčastěji se pro snížení emisí používají katalyzátory, kterých existuje více druhů například třicestný katalyzátor, oxidační katalyzátor nebo SCR katalyzátor.

Primárním úkolem katalyzátoru je přeměna uhlovodíků, oxidu uhelnatého a oxidů dusíku, které jsou produkovány motorem, na méně škodlivé látky – vodní páru, oxid uhličitý a dusík. Pojmenování katalyzátor pochází z řeckého katalýtis, které označuje látku vstupující do chemické reakce, tuto chemickou reakci urychlí, ale sama z ní vystoupí nezměněná. V tomto případě je katalyzátorem pro chemickou reakci vrstva vzácných kovů. Použití katalyzátoru ve výfukové soustavě vyžaduje používání bezolovnatých paliv, protože olovo ničí katalytický účinek vzácných kovů.[12]

5. MĚŘENÍ VÝKONU MOTORU A SPOTŘEBY PALIVA

Na komplexní posouzení práce a hospodárnosti spalovacího motoru se používají některé základní veličiny, které svými hodnotami zařazují příslušný spalovací motor na určitou kvalitativní úroveň. Mezi takové veličiny patří hlavně výkon motoru a měrná spotřeba paliva. [1]

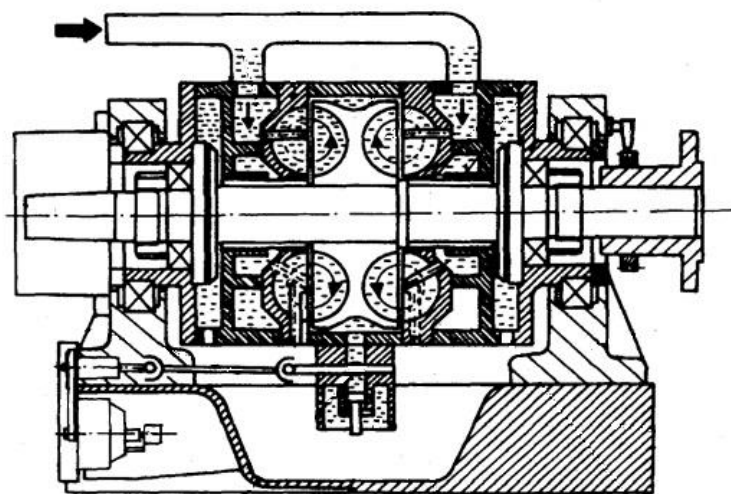
5.1 Měření výkonu

Pro měření mechanického výkonu se ve zkušebnictví vozidel používají výkonové brzdy (dynamometry). Označení brzda je v tomto případě odvozeno z toho, že proti

točivému momentu motoru, působí brzdny moment, jehož velikost buď známe, nebo jsme schopni ji dopočítat či změřit. Ve zkušebnictví se používá několik druhů těchto dynamometrů.

Tekutinové dynamometry se vyznačují tím, že pohybová energie dodávaná hnacím strojem se mění v teplo vnitřním třením částic kapaliny nebo plynu. Točivý moment dynamometru je úměrný čtverci otáček rotoru dynamometru, protože síly vyvolané vnitřním třením (v podstatě aerodynamický odpor) jsou přibližně úměrné čtverci rychlosti proudění tekutiny.

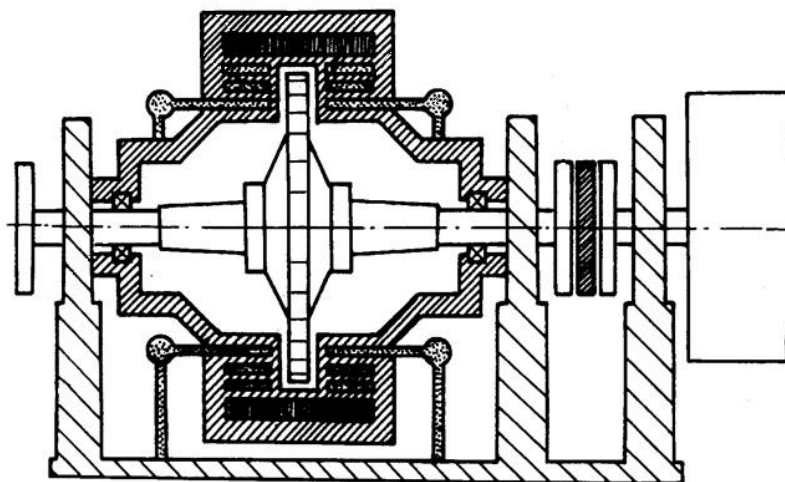
V průběhu přeměny energie přenáší voda točivý moment z dvojitého rotoru na oba statory, které jsou upevněny ve výkyvném tělese dynamometru, jak lze vidět na obr.13. Toto těleso se pákou opírá o siloměrné zařízení, buď mechanické váhy, pneumatický nebo elektronický siloměr. Počet otáček se měří bezdotykovým otáčkoměrem. Při použití elektrického měřicího zařízení může být točivý moment a počet otáček indikován analogovým nebo číslicovým měřicím přístrojem.



Obr. 13 Schematické znázornění hydraulického dynamometru [13]

Elektromagnetické vířivé dynamometry mají širší využitelný rozsah otáček než hydraulické dynamometry stejného výkonu. Při připojení stejnosměrného proudu k budícím vynutím vzniká magnetické pole. Toto pole je v zubech pólového kotouče statické, to znamená, že obíhá spolu s pólovým kotoučem. Ve stěnách chladicích komor přivrácených ke kotouči však toto pole pulzuje s frekvencí, která odpovídá frekvenci otáčejících se zubů. Tím vznikají ve stěnách komor vířivé proudy, které vytvářejí vstřícné pole a brzdí rotor. Odbrzdná energie se odvádí do chladicích komor

ve formě tepla. Magnetické silokřivky působí na zuby pouze v axiálním směru. Proto může být pólový kotouč poměrně úzký, čímž se v porovnání s jinými konstrukcemi získá malý moment setrvačnosti. Konstrukce vířivých dynamometrů je symetrická a z toho důvodu se může otáčet oběma směry. Jednotlivé součásti vířivého dynamometru, jako jsou např. pólový kotouč nebo chladicí komory jsou zobrazeny v řezu na obr. 14.



Obr. 14 Schéma elektrického vířivého dynamometru [13]

Elektrické dynamometry jsou v podstatě elektrické stroje, které pracují jako elektrické generátory nebo elektromotory s výkyvně uloženým statorem. Výkyvné uložení může být dvojího druhu, buď je stator zavěšen v ložiskách na hřídeli rotoru a hřídel rotoru v pevných ložiskách, nebo je stator výkyvně uložen v pevných ložiskách, uložených ve statoru. Výhodou elektrických dynamometrů je možnost využít je ve funkci motorů (elektromotor pohání např. válec, na kterém stojí kola vozidla brzděná vozidlovými brzdami). Elektromagnetický vířivý dynamometr naproti tomu nemůže válec zkušebního stavu pohánět, ale pouze zatěžovat. [13]

5.2 Měření spotřeby paliva

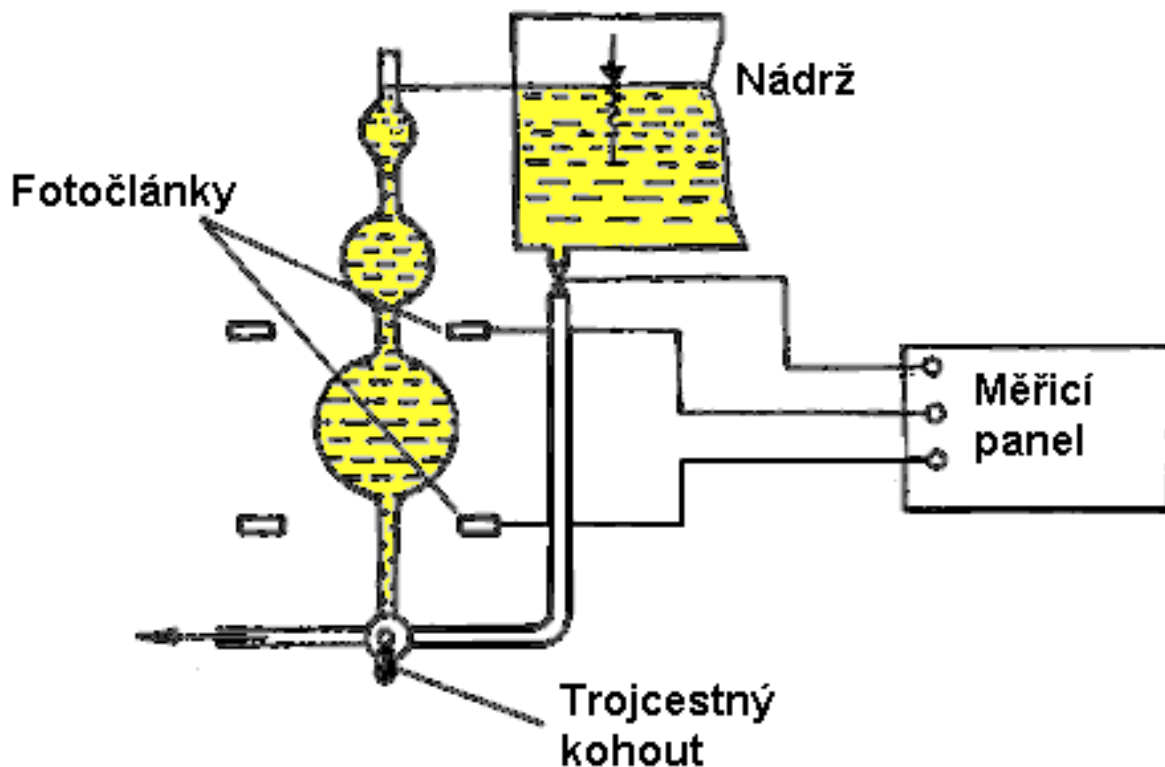
Spotřeba paliva je důležitým ukazatelem hospodárnosti provozu jakéhokoliv vozidla a zároveň ukazatelem jeho technického stavu. Spotřebu paliva lze zjistit při jízdách zkouškách nebo také v laboratorních podmínkách pomocí průtokoměrů. [13]

Zjišťování spotřeby paliva se dá chápat z více hledisek. Jedním z takových hledisek je například i u jakého energetického prostředku zjišťujeme spotřebu paliva. Rozdílné

metodiky zjišťování spotřeby jsou i podle druhu motoru, i podle účelu využívání zjištěných hodnot spotřeb.

Způsob měření se ve zkušebnictví prakticky zredukoval na dvě metody, na objemovou a hmotnostní. Podstata obou metod zjišťování spotřeby paliva spočívá v měření času, za který se spotřebuje předem definované množství paliva.

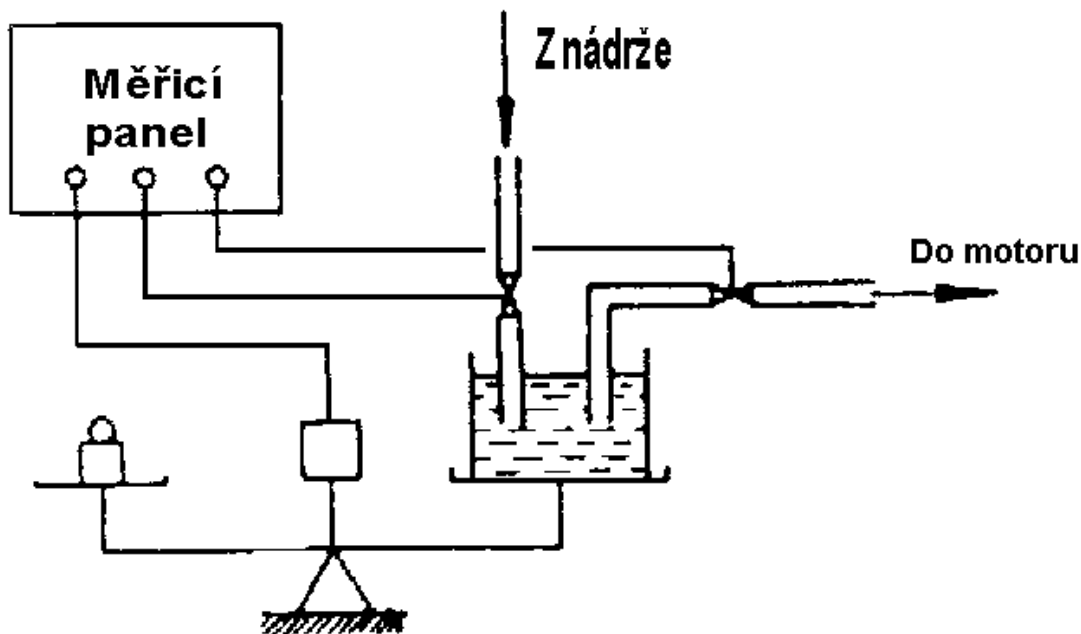
Objemová metoda se často používá pro rychlé měření. Měření času se může vykonávat manuálně pomocí stopek, a nebo automaticky. Generování signálu pro elektromagnetické ventily na otevírání a zavírání průtoku, jako i samotné odměřování času spotřeby je možné zautomatizovat využitím elektroniky. Systém se aktivuje vynulováním stopek. Zapnutí a vypnutí stopek zabezpečuje signál od snímače hladiny paliva viz. obr. 15.



Obr. 15 Princip objemové metody měření paliva [14]

Hmotnostní metoda obr.16 se používá převážně na přesné měření. Důvodem je nutnost zohlednit při měření i tu část paliva, která se vrací ze vstřikovacího systému jako přebytek zpět do nádrže. Hmotnostní metoda eliminuje rozdílnost měrné hmotnosti paliva ve vstupní a odpadové větvi palivového systému, způsobené oteplením paliva a tvorbou zpěněné vrstvy přechodem přes škrťací prvky vstřikovacího systému. Výhodou

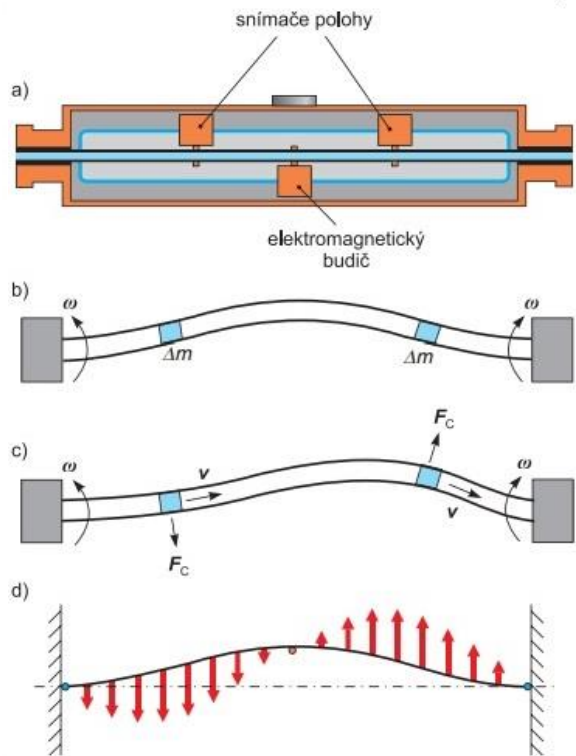
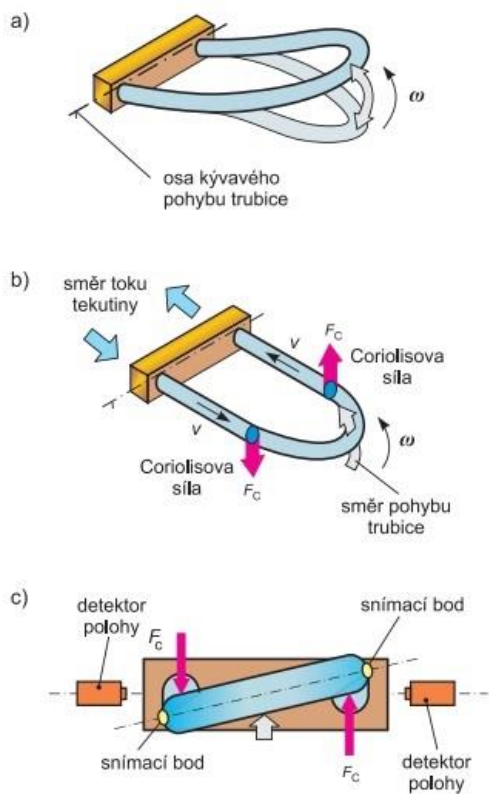
měření je možnost automatizovat celý pochod a vyloučit tak pochybení ze strany lidského faktoru při vyhodnocování, obdobně jako v předcházející metodě. [1]



Obr. 16 Princip hmotnostní metody měření paliva [14]

Coriolisovy průtokoměry se velmi rychle rozšířily do mnoha oblastí provozního měření a nacházejí uplatnění i při měření velmi malých průtoků v laboratorních podmínkách. Coriolisuv průtokoměr měří hmotnostní průtok média a při své funkci využívá Coriolisovu sílu, která vzniká v kmitající měřící trubici.

Coriolisovy průtokoměry mohou mít trubici různých tvarů a uspořádání. Původně se nejprve používala trubice tvaru U, současné průtokoměry využívají vedle trubice ve tvaru U i jiné typy zakřivených trubice nebo i trubice přímé. Otáčivý pohyb trubice je nahrazen kývavým pohybem nebo harmonickým kmitáním. Na obr. 17 a 18 je ukázáno působení Coriolisovy síly na dva základní typy měřících trubice. V obrázcích je vždy vyznačen směr rotace a působení Coriolisovy síly, která při průtoku media deformuje trubici. Podle velikosti hmotnostního průtoku a tedy i Coriolisovy síly se bude měnit úhel zkroucení trubice tvaru U či deformace pravé a levé části přímé trubice. [20]



Obr. 17 Účinek Coriolisovy síly na měřící trubici tvaru U: a) kmitající senzor tvaru U s nulovým průtokem, b) působení Coriolisovy síly při průtoku media, c) čelní pohled na deformovanou trubici tvaru U [20]

Obr. 18 Účinek Coriolisovy síly na přímou kmitající trubici: a) schéma senzoru s přímou trubicí, b) kmitající trubice při nulovém průtoku, c) deformace kmitající trubice působením Coriolisových sil, d) vyznačení účinků Coriolisových sil [20]

6. CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je zpracovat současný stav poznání v oblasti tepelné bilance motoru, navrhnout metodiku měření, připravit a provést měření základních parametrů zážehového motoru na vířivém dynamometru. Ze základních parametrů vypočítat tepelnou bilanci a graficky vyhodnotit tepelné toky v úplné charakteristice. Dále určit možnosti využití úplných charakteristik při provozu vozidla. Veškerá měření jsou prováděna v motorové zkušebně Mendelovy univerzity v Brně.

7. METODIKA MĚŘENÍ

7.1 Příprava měření

Před samotným měřením hodnot bylo nutné provést kontrolu dynamometru a motoru. U dynamometru bylo nutné zkontrolovat jeho pevné uchycení k podlaze zkušebny a správné připojení chladicí kapaliny do chladicího okruhu zkušebny.

U zážehového motoru bylo důležité zkontrolovat přívod paliva a správné zapojení Coriolisova průtokoměru pro měření spotřeby paliva, správné připojení chladicího okruhu kapaliny a oleje k výměníkům tepla a zkontrolovat termočlánky, zda jsou umístěny v optimálních polohách, tak aby nedocházelo ke zkreslování dat.

Před začátkem měření bylo nutné zkontrolovat spojení motoru s dynamometrem.

7.2 Metodika měření dat

Samotné měření dat bylo prováděno při určitém procentu otevření škrticí klapky (začátek měření byl při 10% a pokračoval 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 50%, 70% a skončil u 100% otevření škrticí klapky). Při každém nastavení škrticí klapky byly změřeny základní parametry motoru v celém měřeném rozsahu otáček, kdy měření začalo na 1750 min^{-1} a po změření dat byly navýšeny otáčky motoru o 250 min^{-1} , aniž by se změnila hodnota jiného regulačního parametru. Takto proběhlo měření až do hodnoty otáček 5000 min^{-1} . Důležité před samotným záznamem dat bylo vždy čekat, než se teploty chladicí kapaliny, oleje a výfukových plynů ustálí na určitou teplotu a až poté provést záznam dat. Veličiny byly měřeny v reálném čase a výsledná hodnota představuje průměrnou hodnotu veličiny naměřenou v časovém intervalu 30 s.

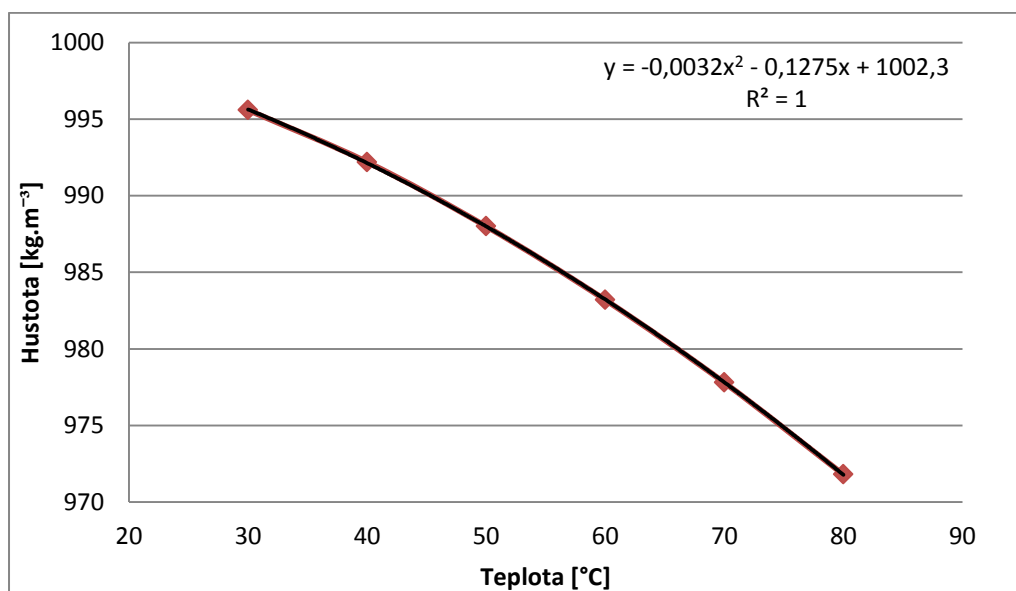
7.3 Metodika stanovení hustoty vody a oleje

Aby bylo možno přesně stanovit hmotnostní průtok chladicí kapaliny nebo oleje, je důležité znát hustotu těchto kapalin při různých teplotách.

Hustota vody byla měřena pomocí Mohrových vážek, tato metoda využívá k měření hustoty kapaliny Archimédův zákon. Vážky se skládají z nerovnoměrného ramena, na levé straně je umístěno protizávaží, pravá strana je rozdělená na deset částí a na konci je umístěno závaží ponořené do měřené kapaliny. Hustota kapaliny se měří postupným přidáváním závaží na pravou stranu. Naměřená hustota vody při různých teplotách je uvedena v tab. 1. [22]

Tab. 1 Závislost hustoty vody na teplotě [21]

| Závislost hustoty vody na teplotě | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| teplota vody [C°] | hustota [kg.m ⁻³] |
| 30 | 995,6 |
| 40 | 992,2 |
| 50 | 988 |
| 60 | 983,2 |
| 70 | 977,8 |
| 80 | 971,8 |



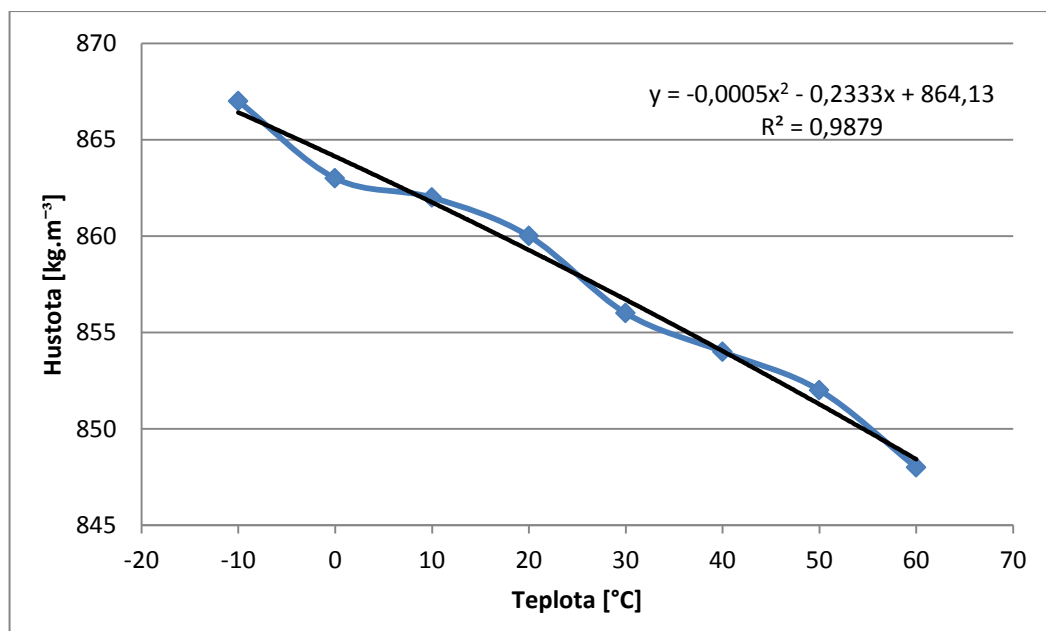
Obr. 19 Závislost hustoty vody na teplotě [kg.m⁻³]

Průměrná teplota chladicí kapaliny byla 79,3°C, minimální teplota byla 73,9°C a maximální teplota byla 85,2°C. V rozmezí mezi těmito teplotami se hodnota hustoty vody změní o 7,2 kg.m⁻³.

Hustota oleje byla měřena hustoměrem Densito 30 PX. Tento hustoměr používá metodu oscilující trubice v kombinaci s přesným měřením teploty. Vzorkovací hadička se ponoří do vzorku a po nasátí se automaticky spustí měření. Výsledek se zobrazí na displeji v několika sekundách. Hustoměr je vybaven pumpou s regulovatelnou rychlostí nasávání a speciálním otvorem pro možný vstřík vzorku externí stříkačkou (pro velmi viskózní vzorky). Naměřená hustota oleje při různých teplotách je uvedena v tab. 2.[23]

Tab. 2 Závislost hustoty oleje na teplotě [23]

| Závislost hustoty oleje na teplotě | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| teplota [°C] | hustota [kg.m ⁻³] |
| -10 | 867 |
| 0 | 863 |
| 10 | 862 |
| 20 | 860 |
| 30 | 856 |
| 40 | 854 |
| 50 | 852 |
| 60 | 848 |



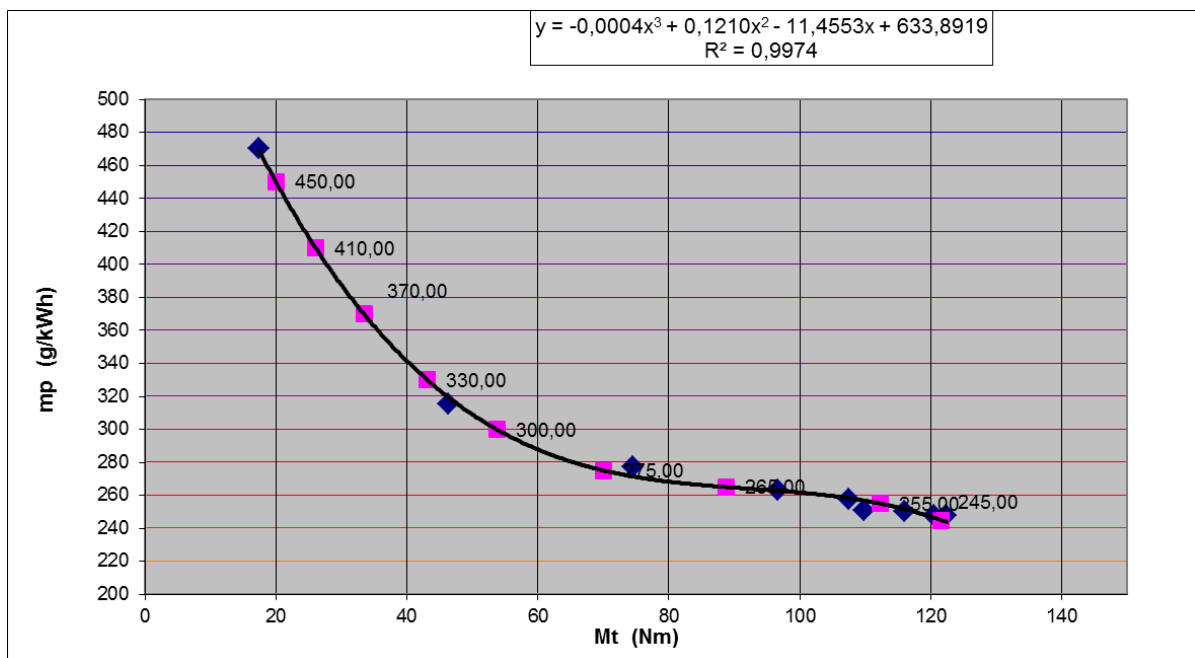
Obr. 20 Závislost hustoty oleje na teplotě [kg.m⁻³]

Průměrná teplota oleje byla 93,5°C, minimální teplota byla 77,8°C a maximální teplota byla 103,7°C. V rozmezí mezi těmito teplotami se hodnota hustoty oleje změní o 8,9 kg.m⁻³.

7.4 Metodika vyhodnocování dat

Úplná charakteristika je složena z vnější otáčkové charakteristiky motoru při 100% otevření škrtkicí klapky a z dalších třinácti částečných charakteristik při různých otevření škrtkicí klapky. Částečné charakteristiky byly měřeny v rozsahu otáček motoru od 2000 do 5000 min⁻¹.

Při vytváření úplné charakteristiky je nutné stanovit rovnici závislosti zvoleného parametru (měrné spotřeby, tepelného toku odvedeného výfukem a další) na točivém momentu motoru na jednotlivých regulátorových větvích. Pomocí těchto regresních rovnic se vypočtou požadované hodnoty zvoleného parametru na všech regulátorových větvích. Tuto zvolenou veličinu nám v úplné charakteristice znázorňují průběhy jednotlivých izočár. V níže uvedených kapitolách jsou zobrazeny úplné charakteristiky, v nichž jsou vyneseny izočáry měrné spotřeby paliva, tepelného toku přivedeného v palivu, efektivního tepelného toku, tepelného toku odvedeného chlazením, tepelného toku odvedeného chlazením a ostatního odvedeného tepelného toku.



Obr. 21 Závislost měrné spotřeby paliva na točivého momentu při 4000 min⁻¹

Vyneseme-li hodnoty točivého momentu a námi zvoleného parametru (v tomto případě měrné spotřeby paliva) do grafu, který je znázorněn na obr. 21, zobrazí se body. Potřebná rovnice byla získána tak, že zobrazené body (na obr. 21 jsou znázorněny modrou barvou) byly proloženy spojnicí trendů a byla zobrazena regresní rovnice. Pro získání co nejpřesnější rovnice byl postupně měněn stupeň polynomu, tak aby se

hodnota koeficientu deformace R^2 blížila k jedné. Získanou rovnicí bylo možno vypočítat točivý moment pro požadované hodnoty námi zvolené veličiny. Takto vypočtené body se kopírovaly do dalších listů souborů, ve kterých byly seřazeny a rozděleny do skupin podle stejných hodnot námi zvolené veličiny, a následně se vynášely do úplné charakteristiky. Vynesené body byly proloženy spojnicemi trendu, které vytvořily v charakteristice jednotlivé izočáry.

8. VYBAVENÉ MOTOROVÉ ZKUŠEBNY

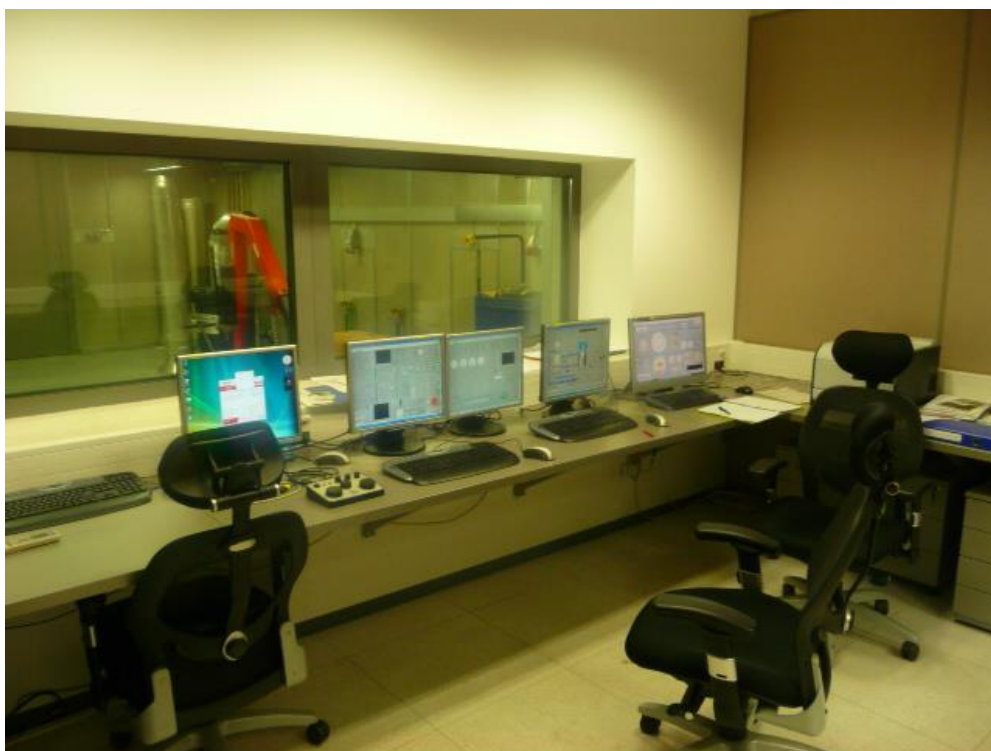
Motorová zkušebna se skládá ze dvou oddělených stanovišť, kdy jeden prostor je vlastní řídicí stanoviště a druhý prostor je zkušební stanoviště.

Ve zkušebním stanovišti je základním prvkem elektrický vířivý dynamometr, který je připevněn k základní desce. Univerzitní motorová zkušebna je vybavená dynamometrem AVL DP-240. Každý dynamometr má svojí pracovní charakteristiku, která přesně stanovuje pracovní oblast dynamometru. Druhým velice důležitým prvkem zkušebny je samotný motor, je nainstalován na kovové paletě o vysoké tuhosti. Mezi motorem a paletou jsou silentbloky z důvodu pružného usazení motoru. Motor musí být vůči dynamometru přesně usazen, přičemž obvodová a čelní házivost spojovacího hřídele nemůže být větší jak 0,2 mm. Spojující hřídel má na obou koncích, jak u motoru, tak i u dynamometru pružné spojení, zachycující torzní kmity. Spojovací hřídel je z bezpečnostního důvodu celý zakrytovaný, aby nemohlo dojít k úrazu. K takovéto sestavě je připojen chladicí a výfukový systém, přívod paliva s Coriolisova průtokoměru, termočlánky a elektronika řídicí jednotky.



Obr. 22 Sestava motoru s dynamometrem na zkušebním stanovišti[autor]

Základním prvkem řídicího stanoviště motorové zkušebny je měřicí počítač zkušebny, do kterého jsou posílána veškerá naměřená data, ať již od řídicí jednotky nebo dynamometru. Tato data jsou zpracovávána v počítači a zobrazena v programu labView na jednotlivých monitorech umístěných v řídicím stanovišti, jak lze vidět na obr. 23.



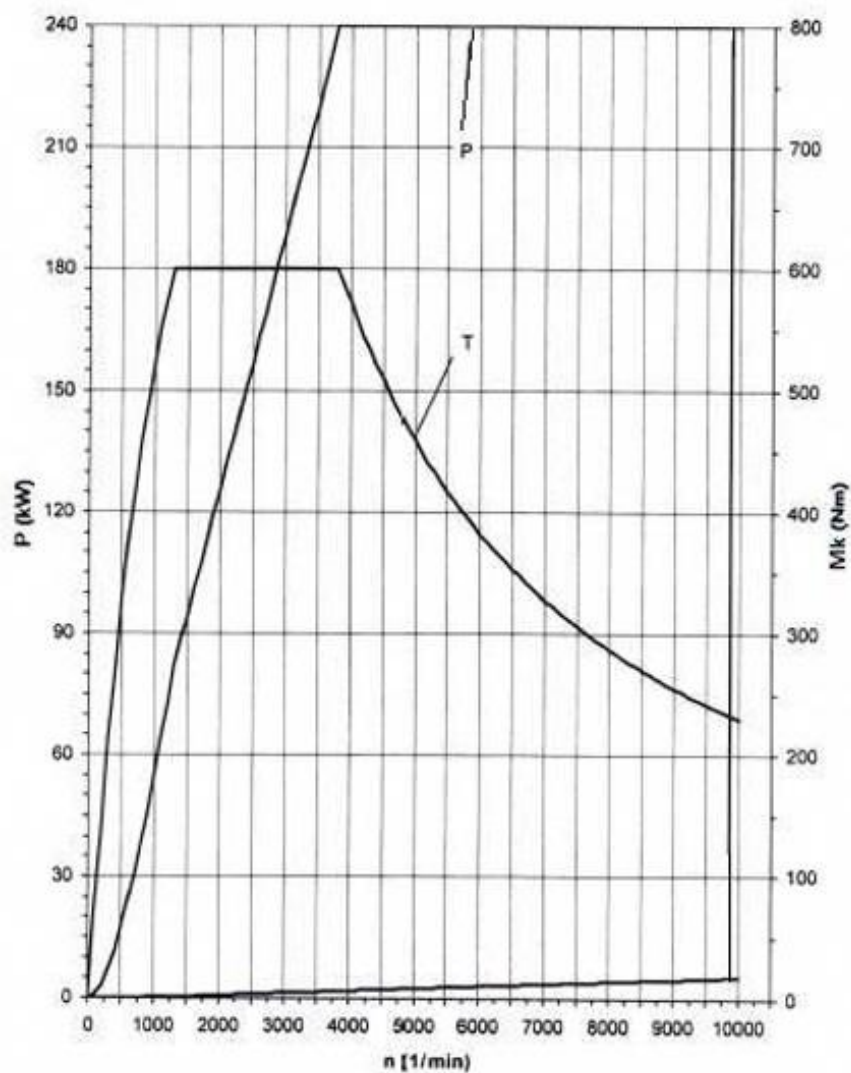
Obr. 23 Řídicí stanoviště motorové zkušebny [autor]

8.1 Vířivý dynamometr

V motorových zkušebnách slouží dynamometry k vytváření zátěže motoru, k měření točivého momentu motoru a ke stanovení jeho otáček. V univerzitní motorové zkušebně je používán vířivý dynamometr AVL DP 240 (základní údaje o dynamometru AVL DP 240 jsou zobrazeny v tab. 3 a jeho pracovní charakteristika je zobrazena na obr. 24). Princip vířivého dynamometru je založen na vířivých proudech, kdy rotor je tvořen kovovým kotoučem, který má po svém obvodu ozubení. Stator je tvořen kruhovou cívkou, která vytváří magnetické obvod. Otáčí-li se rotor, tak ve statoru vznikají pulzace magnetického toku, které vytvářejí v rotoru vířivé proudy. Díky vířivým proudům vzniká brzdňý moment, který se pomocí ramen umístěných na statoru přenáší až na tenzometrický snímač síly. Ze známé délky ramene a síly je vypočítán točivý moment motoru.

Tab. 3 Technické údaje o dynamometru AVL DP 240

| Dynamometr AVL DP 240 | |
|-------------------------|-----------------------------|
| Maximální brzdňý výkon | 240 [kW] |
| Maximální brzdňý moment | 600 [Nm] |
| Maximální otáčky | 10 000 [min ⁻¹] |
| Typ regulace | Otáčková a momentová |



Obr. 24 Pracovní charakteristika vířivého dynamometru AVL DP-240[15]

P – brzdňý výkon dynamometru

T – brzdňý moment dynamometru

8.2 Zážehový motor

Pro účely naměření dat potřebných pro diplomovou práci byl využit motor, který je nainstalován v univerzitní motorové zkušebně. Jedná se o atmosférický zážehový čtyřválcový motor, jenž byl vyráběn firmou Škoda Auto a byl sériově montován do modelové řady vozů Škoda Fabia s označením 1,4 16V. Tento motor se od sériového liší převážně v odebrání určitých spotřebičů, jako je alternátor nebo čerpadlo klimatizace, následně byl na motor přidán průtokoměr nasávaného vzduchu a byla vyměněna řídicí jednotka motoru. Základní technické údaje o motoru jsou uvedeny v tab. 4.

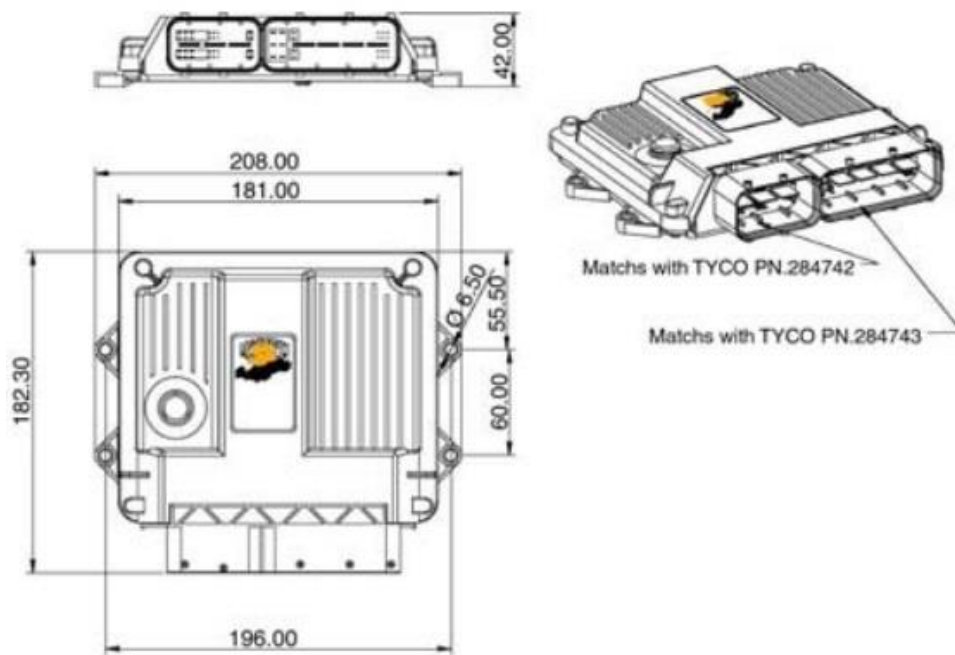
Tab. 4 Technické údaje o motoru Fabia 1,4 16V

| Fabia 1,4 16V | |
|-------------------------|----------------------------------|
| Zdvihový objem | 1930 [cm ³] |
| Ventily na válec | 4 |
| Maximální výkon | 74/6000 [kW/min ⁻¹] |
| Maximální točivý moment | 126/4400 [Nm/min ⁻¹] |
| Kompresní poměr | 10,5 |
| Kód motoru | AUB |

8.3 Řídicí jednotka motoru

Řídicí jednotka motoru je důležitým prvkem, protože má dva základní úkoly. Tím prvním úkolem je zasílání dat z motoru do měřicího počítače zkušebny. Mezi tato data patří např. teplota a tlak nasávaného vzduchu, teplota a tlak oleje, dávka paliva, teplota výfukových spalin, průtok chladicí kapaliny a další hodnoty. Druhým úkolem řídicí jednotky je změna některých parametrů, jako je změna předstihu zážehu nebo změna dávky paliva.

Kvůli těmto úkolům byla sériová řídicí jednotka vyměněna za programovatelnou elektronickou řídicí jednotku Magneti Marelli SRA-E, která je zobrazena na obr. 25. Řídicí jednotka Magneti Marelli je plně přístupná, což znamená možnost změn různých parametrů motoru, dále má výkonný mikroprocesor RISC a 16 MB interní paměť pro vlastní potřebu.



Obr. 25 Magneti Marelli SRA-E [16]

8.4 Coriolisův hmotnostní průtokoměr

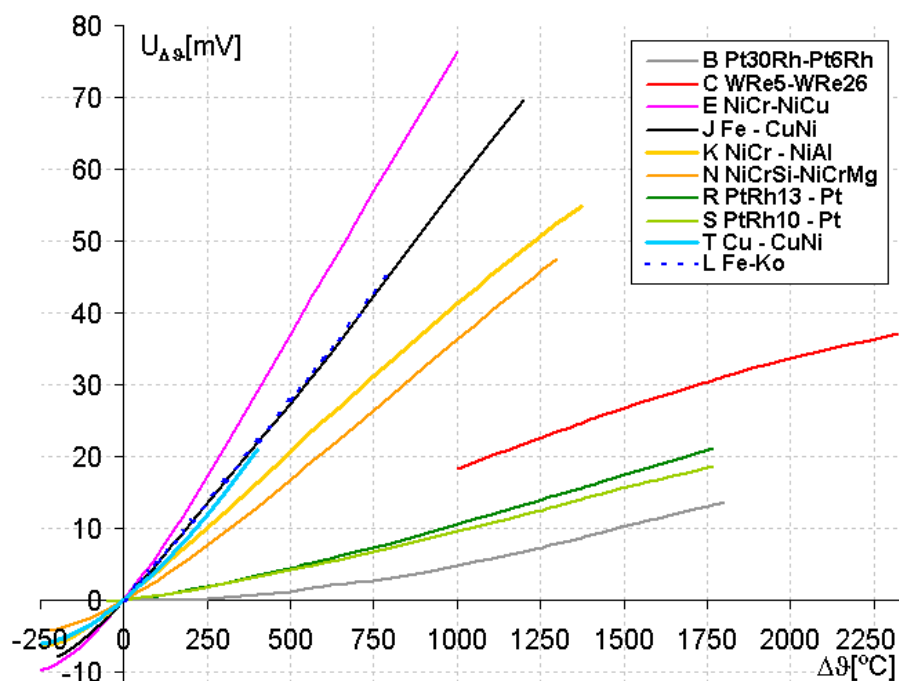
Pro potřeby diplomové práce byl do palivového okruhu vřazen Coriolisův průtokoměr, který měřil spotřebu paliva velmi přesně, přesnost průtokoměru může dosahovat až k 0,1%. Princip Coriolisova průtokoměru spočívá ve využívání Coriolisových sil. Průtokoměr se skládá z měřící trubice a budiče kmitů. Neprotéká-li žádná kapalina, je trubice rozkmitána rovnoměrnými kmity, proudí-li kapalina v trubici, jsou vlivem kmitů částice kapaliny buď urychlovány, nebo zpomalovány, čímž vzniká deformace trubice, která je přímo úměrná proudícímu množství kapaliny.



Obr. 26 Princip Coriolisova hmotnostního průtokoměru [17]

8.5 Termočlánky

V motorové zkušebně se termočlánky využívají ke zjišťování teplot např. nasávaného vzduchu, chladicí kapaliny, výfukových plynů atd. Termočlánek je složen ze dvou různých kovů, které jsou mezi sebou vodivě spojeny. Když je takto vytvořený termočlánek zahříván nebo ochlazován, vzniká v něm napětí, které je úměrné teplotě. Různé druhy termočlánků s různou kombinací spojených kovů mají rozdílné napěťové charakteristiky. Charakteristika jednotlivých druhů termočlánků je zobrazena na obr. 27. Nejčastější typy termočlánků jsou J, K, T a E, v univerzitní motorové zkušebně je využíván termočlánek typu K od firmy OMEGA.



Obr. 27 Charakteristika jednotlivých typů termočlánků [18]

8.6 Chladicí okruh

Motor v univerzitní motorové zkušebně není vybavený klasickým chladičem, jako je tomu u motorových vozidel, ale místo chladiče jsou k motoru připojeny dva výměníky tepla, které jsou zobrazeny za obr. 28. Jeden je použit na ochlazování chladicí kapaliny a druhý na ochlazování motorového oleje. Oba dva výměníky tepla jsou od firmy AVL a dokážou regulovat teplotu chlazených medií s přesností $\pm 1^{\circ}\text{C}$, tyto výměníky jsou deskové. Princip deskového výměníku lze popsat tak, že jedna kapalina chladí druhou a kapaliny proudí po obou stranách souboru tenkých kovových desek.



Obr. 28 Výměník tepla pro chladicí kapalinu motoru (v levo) a pro motorový olej (v pravo)
[autor]

9. VÝPOČTOVÉ VZTAHY

Ke zpracování naměřených dat a následnému výpočtu tepelné bilance byly v diplomové práci použity vztahy, které jsou uvedeny v následujících kapitolách.

9.1 Hodinová spotřeba paliva

$$M_{ph} = M_l \cdot \rho_p \quad [kg \cdot h^{-1}] \quad (1)$$

$$M_l = \frac{n_m \cdot 0,5 \cdot N_v \cdot 60 \cdot M_c}{1000000} \quad [l \cdot h^{-1}] \quad (2)$$

kde: M_l – spotřeba paliva [$l \cdot h^{-1}$]
 n_m – otáčky motoru [min^{-1}]
 N_v – počet válců [-]
 M_c – spotřeba paliva [$\mu l \cdot cykl^{-1}$]
 ρ_p – hustota paliva [$kg \cdot m^{-3}$]

9.2 Měrná spotřeba paliva

Měrná spotřeba paliva udává hmotnostní množství paliva, potřebného k vyprodukování jedné jednotky práce. Je dána podílem hodinové spotřeby a efektivního výkonu motoru.

$$m_{pe} = \frac{M_{ph}}{P_e} \cdot 1000 \quad [g \cdot kW^{-1} \cdot h^{-1}] \quad (3)$$

kde: M_{ph} – hodinová spotřeba paliva [$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$]
 P_e – efektivní výkon motoru [kW]

9.3 Tepelná bilance spalovacího motoru

Nejčastěji se tepelná bilance vyjadřuje ve tvaru

$$Q_p = Q_e + Q_w + Q_{olej} + Q_v + Q_{ost} \quad [kW] \quad (4)$$

Kde Q_p – teplo v palivu [kW]
 Q_e – efektivní teplo [kW]
 Q_w – teplo z chlazení [kW]
 Q_{olej} – teplo z oleje [kW]
 Q_v – teplo z výfuku [kW]
 Q_{ost} – ostatní teplo [kW]

9.4 Tepelný tok přivedený v palivu

Dále již teplo v palivu. Teplo v palivu vyjadřuje tepelný tok, který je přiveden do spalovacího motoru spálením určitého množství paliva za určitý časový úsek.

$$Q_p = \frac{M_{ph} \cdot H_u}{3600} \quad [kW] \quad (5)$$

kde: M_{ph} – hodinová spotřeba [$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$]
 H_u – spodní výhřevnost paliva [kJ]

9.5 Efektivní tepelný tok

Dále již efektivní teplo. Efektivní teplo vyjadřuje tepelný tok, který je spotřebován na vlastní pohon vozidla. Shoduje se s efektivním výkonem motoru. Stanoví se měřením točivého momentu a otáček motoru na dynamometru.

$$Q_e = P_e \quad [kW] \quad (6)$$

$$P_e = \frac{\pi \cdot M_t \cdot n_m}{30} \quad [kW] \quad (7)$$

kde: P_e – výkon motoru [kW]
 M_t – točivý moment motoru [kN. m]
 n_m – otáčky motoru [min^{-1}]

9.6 Tepelný tok odvedený chlazením

Dále již teplo z chlazení. Teplo z chlazení se stanovuje z hmotnostního průtoku chladicí kapaliny, teplot chladicí kapaliny na vstupu do motoru a na výstupu z motoru, a z měrné tepelné kapacity chladicí kapaliny.

$$Q_w = M_w \cdot c_w \cdot (t_2 - t_1) \quad [kW] \quad (8)$$

$$M_w = \frac{V}{3600} \cdot \rho \quad [kg \cdot s^{-1}] \quad (9)$$

kde: V – průtok chlazením [$\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$]
 ρ – hustota vody [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]
 M_w – hmotnostní průtok [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]
 c_w – měrná tepelná kapacita pro H_2O 4,19 [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
 t_2 – výstupní teplota chladicí kapaliny [K]
 t_1 – vstupní teplota chladicí kapaliny [K]

9.7 Tepelný tok odvedený olejem

Dále již teplo z oleje. Teplo z oleje se stanovuje z hmotnostního průtoku oleje, teploty oleje na výstupu z motoru a na výstupu z tepelného výměníku, a z měrné tepelné kapacity oleje.

$$Q_{olej} = M_{olej} \cdot c_{olej} \cdot (t_2 - t_1) \quad [kW] \quad (10)$$

$$M_{olej} = \frac{V}{3600} \cdot \rho \quad [kg \cdot s^{-1}] \quad (11)$$

kde: V – průtok motorového oleje [l.h^{-1}]
 ρ – hustota oleje [g.cm^{-3}]
 M_{olej} – hmotnostní průtok [kg.s^{-1}]
 c_{olej} – měrná tepelná kapacita pro olej 2 [$\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$]
 t_2 – teplota oleje na výstupu z motoru [K]
 t_1 – teplota oleje na výstupu z výměníku tepla [K]

9.8 Tepelný tok odvedený výfukem

Dále již teplo z výfuku. Teplo z výfuku lze stanovit z hmotnostního toku výfukových plynů, teploty nasávaného vzduchu do motoru a teploty výfukových plynů motoru a z měrné tepelné kapacity výfukových plynů.

$$Q_v = M_v \cdot c_{vp} \cdot (t_2 - t_1) \quad [kW] \quad (12)$$

$$M_v = \frac{M_{vz} + M_{ph}}{3600} \quad [kg \cdot s^{-1}] \quad (13)$$

kde: c_{vp} – měrná tepelná kapacita výfukových plynů [$\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$]
 M_v – hmotnostní průtok výfukových plynů [kg.s^{-1}]
 M_{ph} – hodinová spotřeba paliva [kg.h^{-1}]
 M_{vz} – hmotnostní průtok nasávaného vzduchu [kg.h^{-1}]
 t_2 – teplota výfukových plynů [K]
 t_1 – teplota nasávaného vzduchu [K]

9.9 Ostatní odvedený tepelný tok

Dále již ostatní teplo. Jako jediný člen tepelné bilance nelze stanovit měřením ale pouhým dopočtem z jednotlivých tepelných toků. Do ostatního tepla se zahrnují ztráty tepla odvedené sáláním teplého povrchu motoru do okolního prostředí.

$$Q_{ost} = Q_p - (Q_e + Q_w + Q_{olej} + Q_v) \quad [kW] \quad (14)$$

9.10 Procentuální vyjádření tepelné bilance

Procentuální vyjádření tepelné bilance lze stanovit z jednotlivých tepelných toků (efektivního tepla, tepla odvedeného chlazením, výfukem a ostatního odvedeného tepla) a tepelného toku přivedeného v palivu. Toto procentuální vyjádření se využívá při grafickém znázornění tepelné bilance v závislosti na otáčkách motoru.

$$q = \frac{Q}{Q_p} \cdot 100 \quad [\%] \quad (15)$$

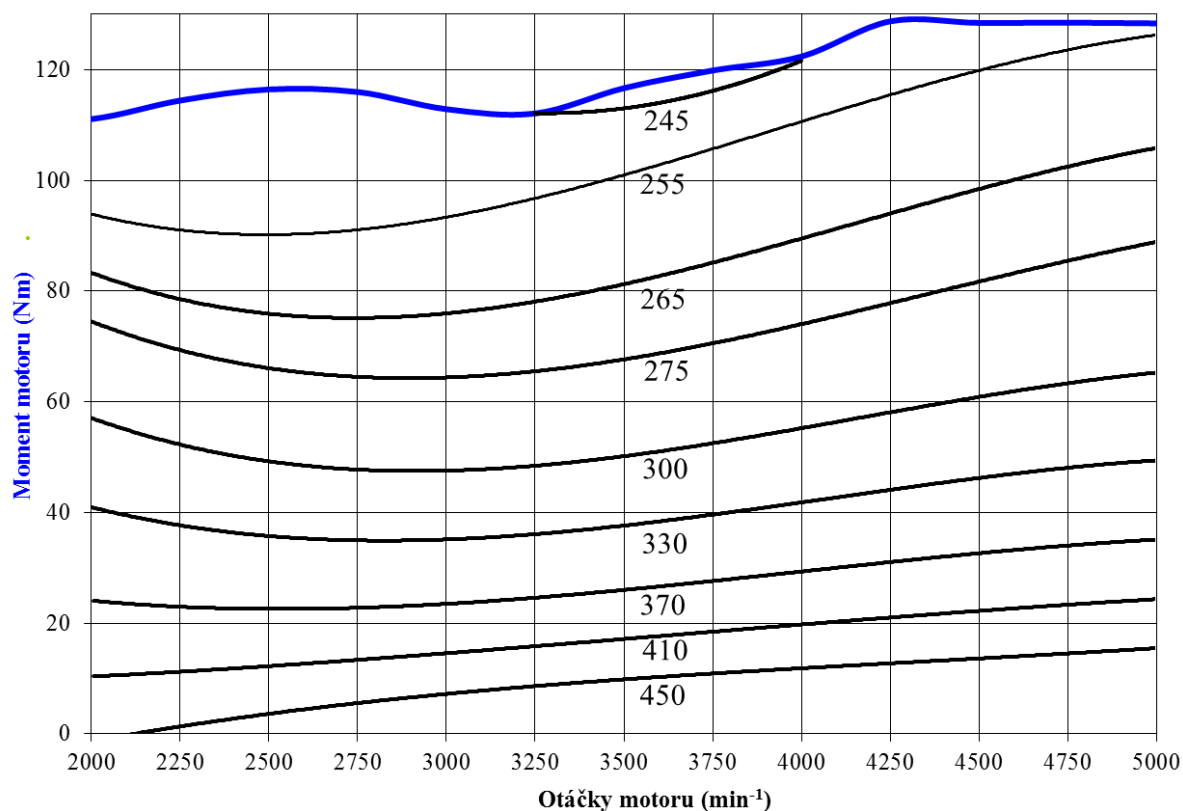
kde: Q – tepelný tok (efektivní teplo Q_e , teplo z chlazení Q_w , teplo z výfuku Q_v a ostatní teplo Q_{ost}) [kW]
 Q_p – teplo v palivu [kW]

10. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Veškeré body vynesené v úplných charakteristikách, které jsou zobrazeny v následujících kapitolách, jsou vyhodnoceny podle postupu, který je popsán v metodice vyhodnocování dat.

10.1 Úplná charakteristika s měrnou spotřebou paliva

Úplná charakteristika s měrnou spotřebou paliva je velice důležitým typem charakteristiky, protože je podle ní velmi jednoduché určit nejmenší spotřebu vozidla. Měrná spotřeba paliva představuje množství paliva spotřebovaného na vyprodukování jedné jednotky výkonu, což znamená, že je nepřímo úměrná účinnosti motoru. Pro výpočet měrné spotřeby paliva byla použita rovnice č. 3.

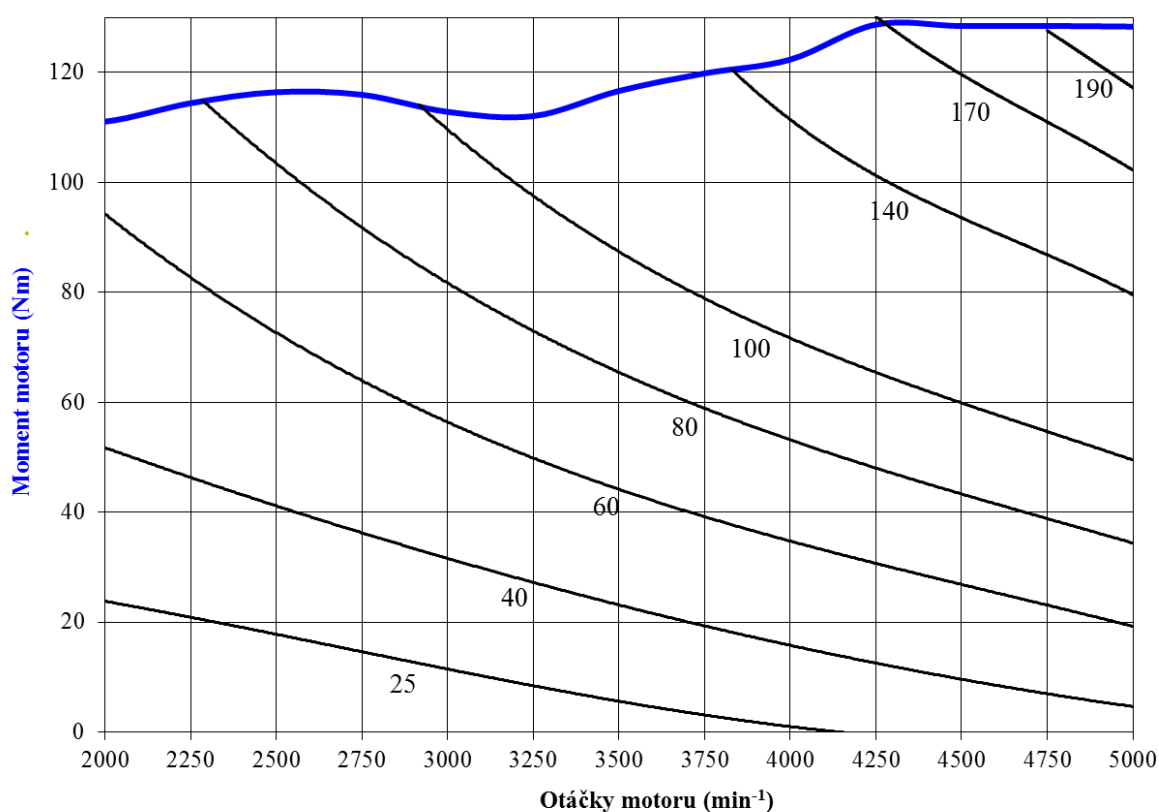


Obr. 29 Úplná charakteristika s měrnou spotřebou paliva [g.kW⁻¹.h⁻¹]

V úplné charakteristice s měrnou spotřebou paliva na obr 29, se oblast nejnižší měrné spotřeby rozkládá v rozmezí otáček od 3250 do 4000 min⁻¹ a v rozmezí točivého momentu od 110 do 120 Nm a dosahuje hodnoty 245 g.kW⁻¹.h⁻¹. Naopak oblast největší měrné spotřeby se nachází v oblasti od 2250 do 5000 min⁻¹ a od 0 do 18 Nm a dosahuje hodnoty 450 g.kW⁻¹.h⁻¹. Provoz motoru by se měl nejčastěji pohybovat v oblasti nejnižší měrné spotřeby, tak aby byl jeho provoz co nejhospodárnější.

10.2 Úplná charakteristika s tepelným tokem přivedeným v palivu

Při spalování se chemická energie v palivu mění na teplo. Toto teplo v palivu představuje výkon, který se uvolní, při spálení určitého množství paliva s určitou výhřevností za jednotku času. Výhřevnost si můžeme představit jako vlastnost paliva, která udává, kolik energie se uvolní při dokonalém spálení jedné hmotnostní jednotky. Hypoteticky kdyby neexistovaly žádné ztráty a motor by pracoval se stoprocentní účinností, poté by disponoval s výkonem rovnajícím se teplu v palivu. Nicméně toto je pouhá hypotéza.

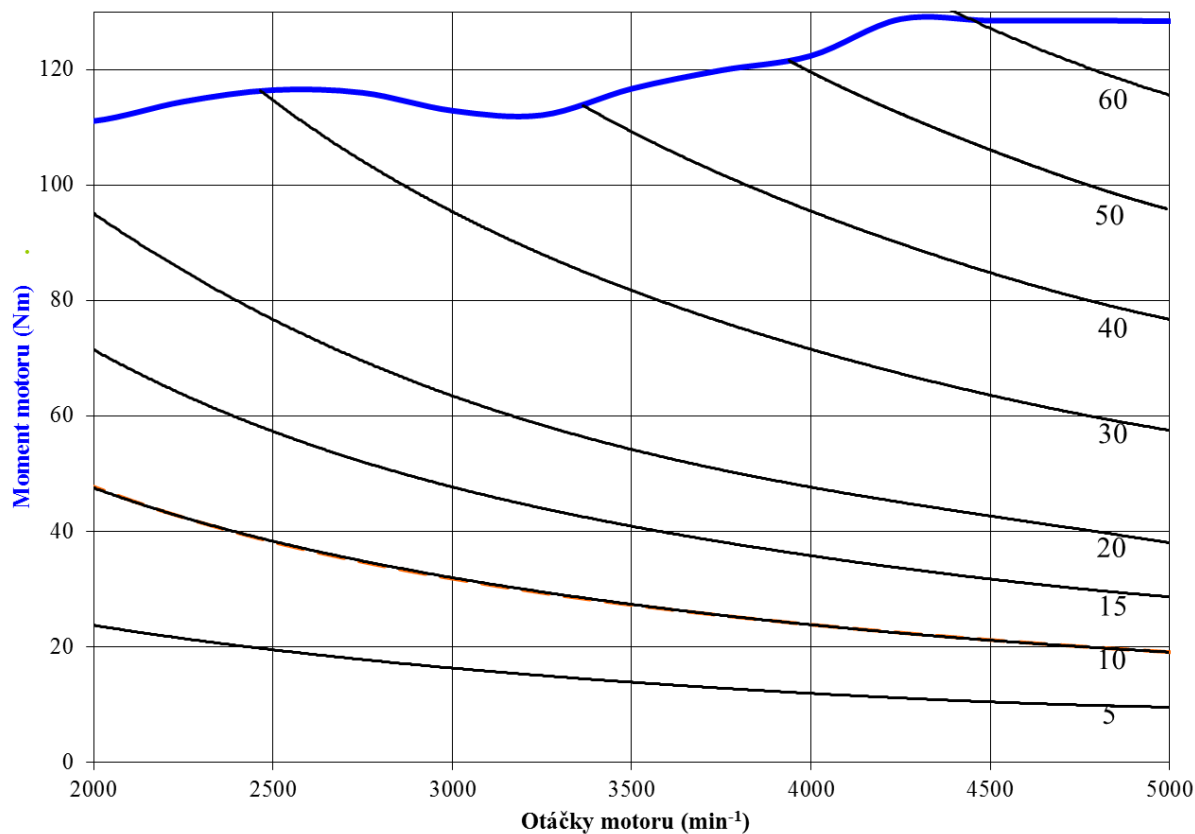


Obr. 30 Úplná charakteristika s tepelným tokem přivedeným v palivu [kW]

Z charakteristiky zobrazené na obr. 30 je zřejmé, že největšího tepla v palivu a to 190 kW bylo dosaženo v oblasti od 4750 do 5000 min^{-1} a od 118 do 130 Nm. Vzhledem k tomu, že byla v této oblasti naměřena největší hodinová spotřeba paliva, je tento výsledek předpokládatelný. Naopak nejméně přivedeného tepla v palivu a to od 0 do 25 kW bylo zjištěno ve spodní části úplné charakteristiky v rozmezí od 2000 do 4100 min^{-1} a od 0 do 22 Nm.

10.3 Úplná charakteristika s efektivním tepelným tokem

Efektivní teplo se shoduje s efektivním výkonem motoru, to znamená, že tento tepelný tok nemusíme dopočítávat, ale zaznamenává ho a ukládá software, kterým je vybavena motorová zkušebna. Ovšem lze ho vypočítat i pomocí rovnice č. 7.



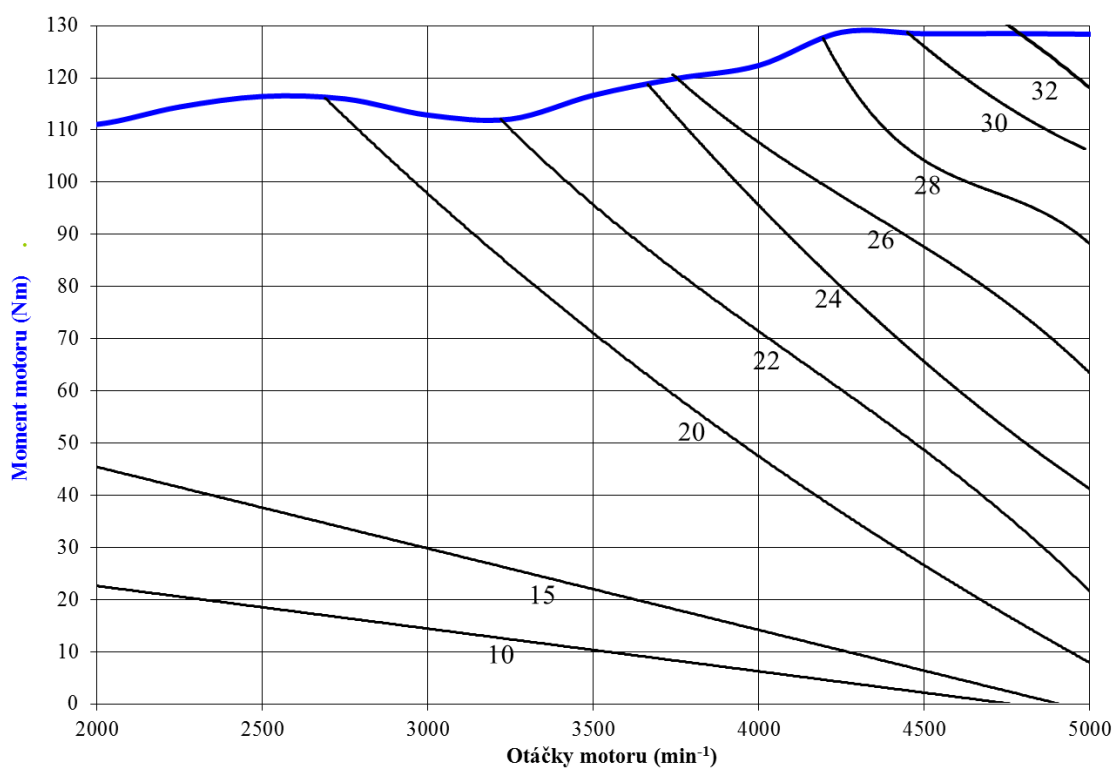
Obr. 31 Úplná charakteristika s efektivním tepelným tokem [kW]

Měření efektivního tepla proběhlo v rozmezí od 2000 do 5000 min⁻¹, jak lze vidět na obr. 31. Nejvyšší naměřené hodnoty efektivního tepla byly v oblasti od 4500 do 5000 min⁻¹ a od 115 do 130 Nm a dosahovaly hodnot okolo 60 kW.

10.4 Úplná charakteristika s tepelným tokem odvedeným chlazením

Tento tepelný tok představuje množství tepla, které bylo odvedeno chladicí soustavou. Tato soustava slouží k odvodu dostatečného množství tepla z prostoru hlavy válce, válců a pístů, tak aby motor pracoval v ideální pracovní teplotě a zabránil tak předčasnému zapalování čerstvé směsi a klepání. Motor je chlazen jak chladicí soustavou, kde chladicím médiem je voda, tak i olejovou soustavou motoru.

Teplo z chlazení bylo stanoveno tak, že se nejprve vypočítalo teplo z chlazení podle rovnice č. 8 a poté teplo z oleje podle rovnice č. 10, následně byly oba tyto tepelné toky sečteny a výsledkem bylo teplo z chlazení.



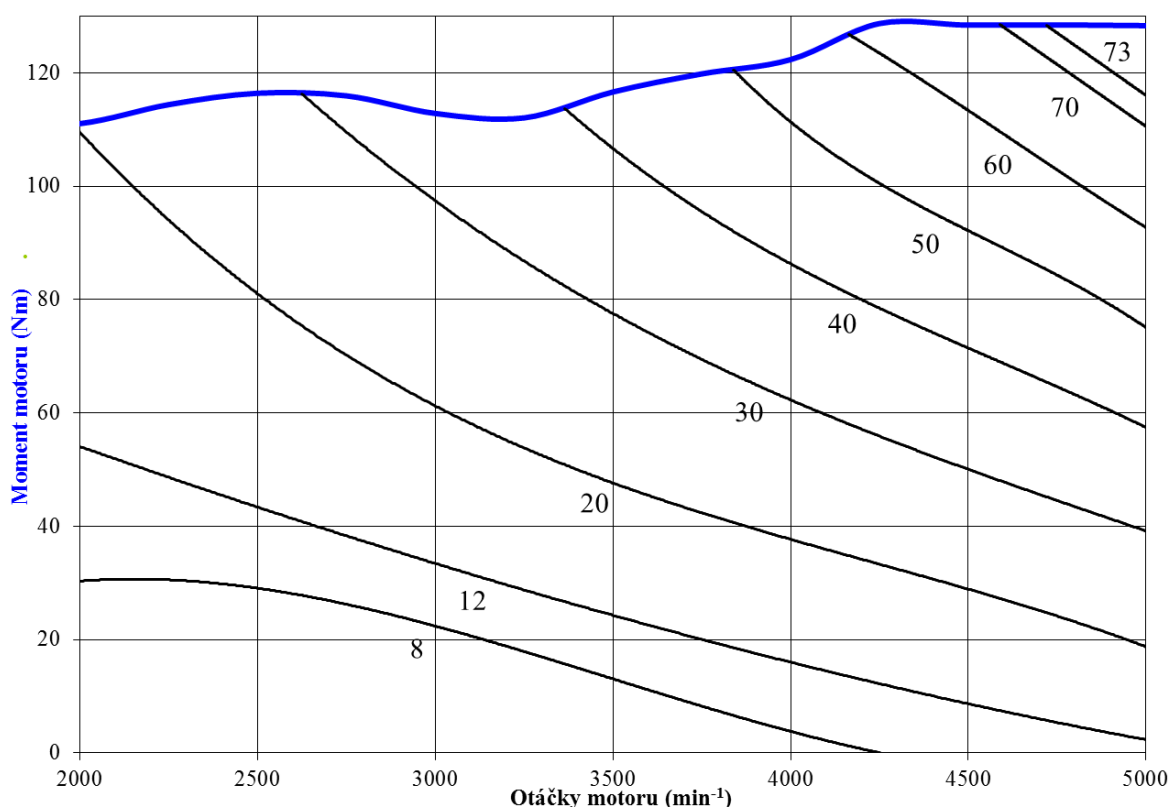
Obr. 32 Úplná charakteristika s tepelným tokem odvedeným chlazením[kW]

Teplo z chlazení je zobrazeno na obr. 32. Nejnižší hodnota tohoto tepelného toku se pohybovala okolo od 0 do 10 kW, tato hodnota se vyskytovala ve spodní části charakteristiky v oblasti od 2000 do 4750 min⁻¹ a od 0 do 22 Nm. Naopak nejvyšší hodnota tepla z chlazení se pohybuje okolo 32 kW. Takto vysoká hodnota odvedeného tepelného toku byla zjištěna v oblasti od 4750 do 5000 min⁻¹ a od 118 do 130 Nm.

Velká mezera mezi izočarami znázorňující tepelnými toky 15 a 20 kW je způsobena nucenou přestávkou a následným ustálením teplot při zahájení dalšího měření.

10.5 Úplná charakteristika s tepelným tokem odvedeným výfukem

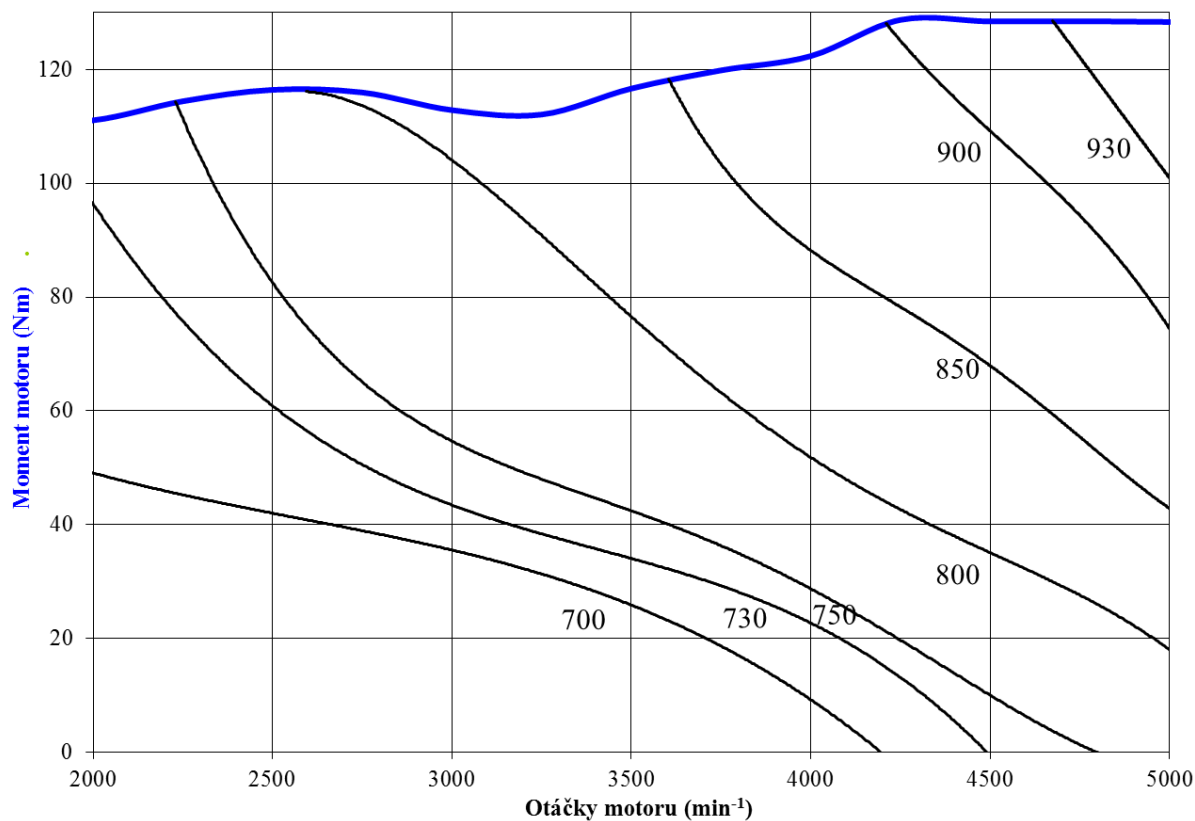
Teplo z výfuku vyjadřuje teplo, které bylo z celkového tepla v palivu odvedeno výfukovým systémem. I když primární funkce výfukového systému není odvod tepla, právě díky velkému množství a velké teplotě spalin odvádí výfukový systém velké množství tepla. Teplo z výfuku se stanovuje výpočtem podle rovnice č. 12, který se skládá z hmotnostního průtoku spalin, z měrné tepelné kapacity spalin a z rozdílů teplot nasávaného vzduchu a výfukových plynů.



Obr. 33 Úplná charakteristika s tepelným tokem odvedeným výfukem [kW]

Jak lze vidět na obr. 33 teplo z výfuku nabývalo hodnoty od 5 do 75 kW. Nejvyššího tepelného toku bylo dosaženo v oblasti od 4750 do 5000 min⁻¹ a točivých momentů od 115 do 130 Nm. Naopak nejnižšího tepla z výfuku bylo dosaženo v oblasti od 2000 do 4250 min⁻¹ a od 0 do 30 Nm.

Při výpočtu tepla z výfuku hraje ve výpočtech velkou roli teplota výfukových plynů, proto byly teploty výfukových plynů vyneseny do úplné charakteristiky, která je zobrazena na obr. 34.

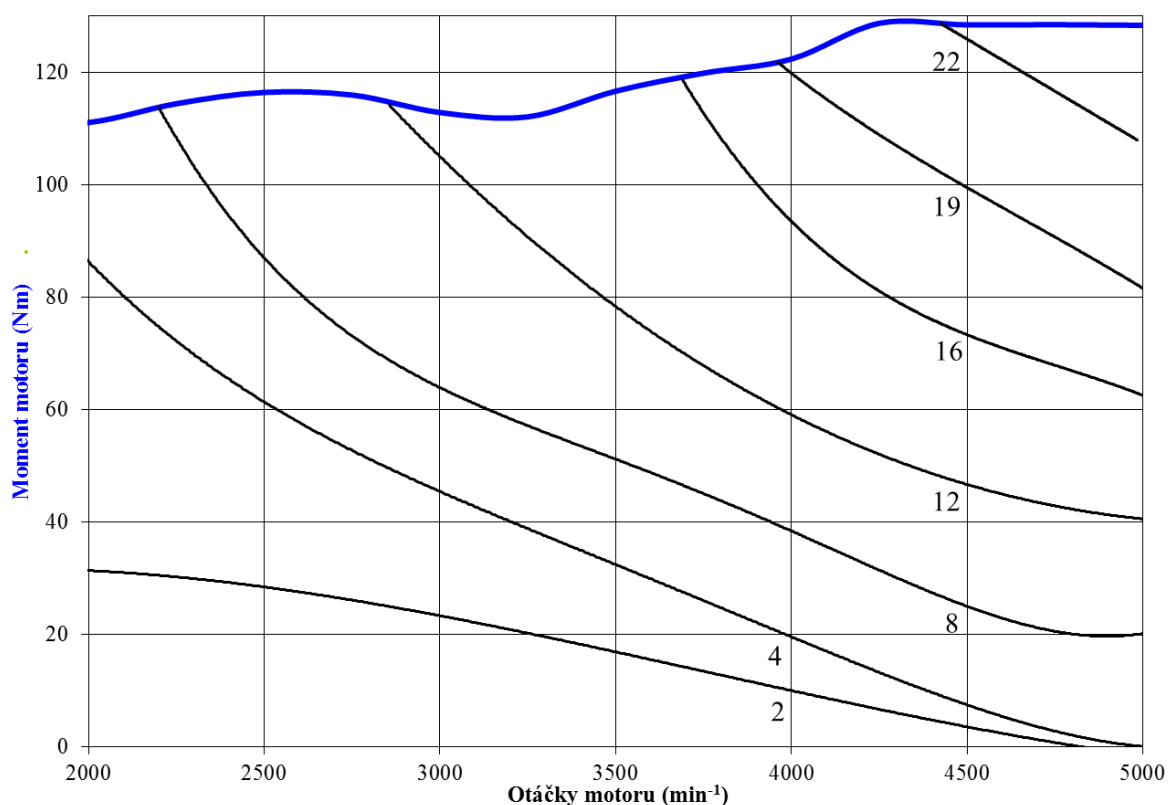


Obr. 34 Úplná charakteristika s teplotou výfukových plynů [$^{\circ}\text{C}$]

Minimální teploty výfukových plynů v charakteristice na obr. 34 se pohybovaly okolo 680 až 700 $^{\circ}\text{C}$ v oblasti od 2000 do 4250 min^{-1} a točivém momentu od 0 do 50 Nm, zatímco maximální teploty se pohybovala okolo 930 až 950 $^{\circ}\text{C}$ v oblasti od 4600 do 5000 min^{-1} a od 100 do 130 Nm.

10.6 Úplná charakteristika s ostatním odvedeným tepelným tokem

Tento tepelný tok lze velmi těžko stanovit, protože se do tohoto toku započítávají veškeré tepelné ztráty radiací tepla z povrchu motoru do okolního prostředí. Popsat tyto ztráty matematicky by bylo takřka nemožné, proto se tento tepelný tok motoru stanovuje tak, že se od tepla v palivu odečtou efektivní teplo a teplo z chlazení a z výfuku. Odečteme-li od sebe veškeré tyto toky podle rovnice č. 14, tak zbytkový tepelný tok můžeme nazvat jako ostatní teplo.



Obr. 35 Úplná charakteristika s ostatním odvedeným tepelným tokem [kW]

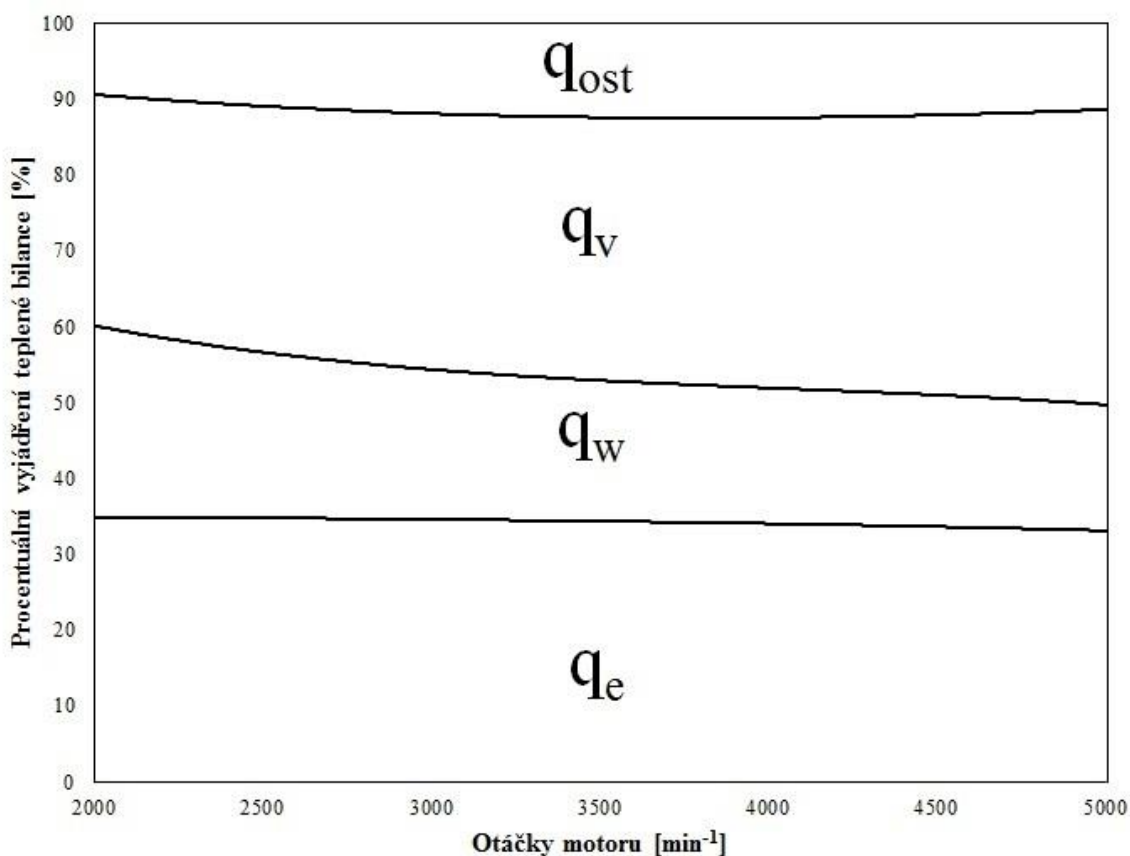
Ostatní teplo je zobrazeno v úplné charakteristice na obr. 35. Maximální hodnota tohoto tepelného toku dosahuje hodnoty 22 kW a nachází se v oblasti od 4500 do 5000 min^{-1} a od 110 do 130 Nm. Minimální hodnota tohoto tepelného toku dosahuje hodnoty 2 kW a vyskytuje se v oblasti od 2000 do 4800 min^{-1} a v rozmezí točivého momentu od 0 do 30 Nm.

10.7 Vyhodnocení tepelné bilance při 100% otevření škrticí klapky

Toto grafické vyhodnocení tepelné bilance bylo provedeno u hodnot, které se zaznamenávaly při plné dávce paliva, a to v rozsahu od 2000 do 5000 min^{-1} .

Při sestavení grafu bylo nejprve nutno vypočítat jednotlivé tepelné toky. Následně bylo nutno jednotlivé tepelné toky vyjádřit procentuálně podle rovnice č. 15.

Poté byly všechny vypočtené hodnoty zaneseny do grafu, který má na vodorovné ose vyneseny otáčky motoru a na svislé ose procentuální vyjádření tepelné bilance. Jednotlivé body byly proloženy spojnicí trendů, pomocí kterých vznikly křivky, které jsou zobrazeny na obr. 36.



Obr. 36 Procentuální vyjádření tepelné bilance v závislosti na otáčkách motoru při plné dávce paliva

Z obr. 36 je zřejmé, že efektivní teplo se pohybuje v celém rozsahu otáček přibližně okolo 30 až 33%, dále je zřejmé, že teplo z chlazení ve 2000 min^{-1} odvádí 27% celkového přivedeného tepla v palivu, toto množství s rostoucími otáčkami motoru postupně klesá na hodnotu 17%. Teplo z výfuku naopak s rostoucími otáčkami motoru

stoupá, kdy v oblasti 2000 min^{-1} odvádí 30% celkového přivedeného tepla v palivu a u 5000 min^{-1} teplo z výfuku odvádí 39% z celkového přivedeného tepla v palivu.

10.8 Validace hodnot spotřeby paliva z řídicí jednotky motoru

Validace hodnot spotřeby z řídicí jednotky byla možno provést, protože při měření dat potřebných k diplomové práci v motorové zkušebně byl k palivové soustavě motoru připojen Coriolisův průtokoměr, který se považuje za velmi přesný průtokoměr, tudíž tu byla možnost porovnání dat o spotřebě zasílaných od řídicí jednotky motoru a od velmi přesného průtokoměru.

Validace dat např. nového přístroje (v tomto případě data z řídicí jednotky motoru) se provede tak, že se porovnájí známé hodnoty, nebo hodnoty naměřené přesným přístrojem (v tomto případě Coriolisovým průtokoměrem) s hodnotami přístroje nového. Na osu x se vynesou hodnoty přesné a na osu y hodnoty naměřené novým přístrojem. Vypočte se lineární regrese, a je-li splněna první níže uvedená podmínka, je úsek na ose y kde ji protíná vypočtená přímka považován za 0. Je-li splněna druhá podmínka, je směrnice považována za rovnu 1. V tom případě je možno brát hodnoty naměřené novým přístrojem za správné a není nutné hodnoty korigovat.

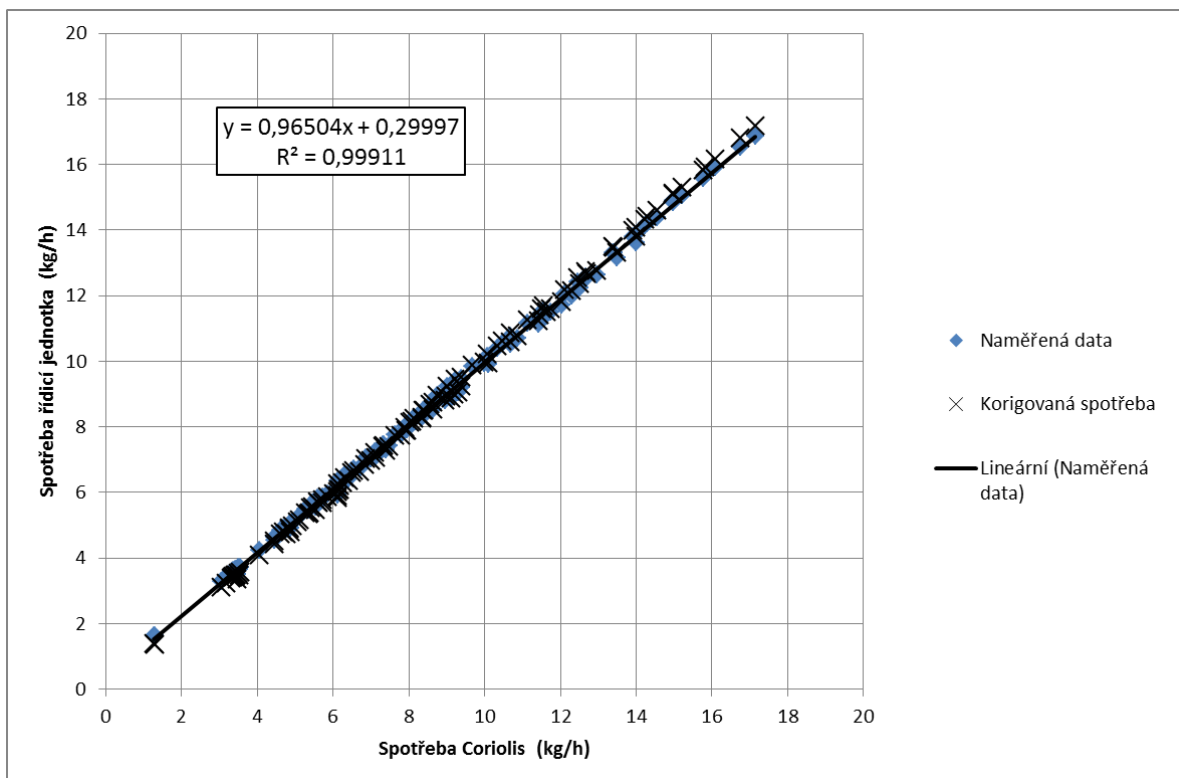
1. podmínka: Je-li Dolní < 0 a Horní > 0 potom úsek na ose y je 0
2. podmínka: Je-li Dolní < 1 (ale ne < 0) a Horní > 1 potom směrnice je statisticky rovna 1

| | Dolní 95% | Horní 95% |
|-------------|-----------|-----------|
| 1. podmínka | 0,2538148 | 0,3461178 |
| 2. podmínka | 0,9599458 | 0,970125 |

V opačném případě je nutné nové měření korigovat dle následujícího vztahu:

$$y_{kor} = \frac{(y-b_0)}{b_1} \quad (16)$$

- kde:
- y – nově naměřené hodnoty
 - b_0 – regresní koeficient úseku na ose y, $b_0 = 0,2999663$
 - b_1 – směrnice regresní přímky, $b_1 = 0,9650354$



Obr. 37 Grafické vyhodnocení validace spotřeby paliva z řídicí jednotky motoru

Na obr. 37 je porovnání údajů z přesného Coriolisova průtokoměru s hodnotami spotřeby z řídicí jednotky, pro otevření škrtecí klapky 10 - 90%.

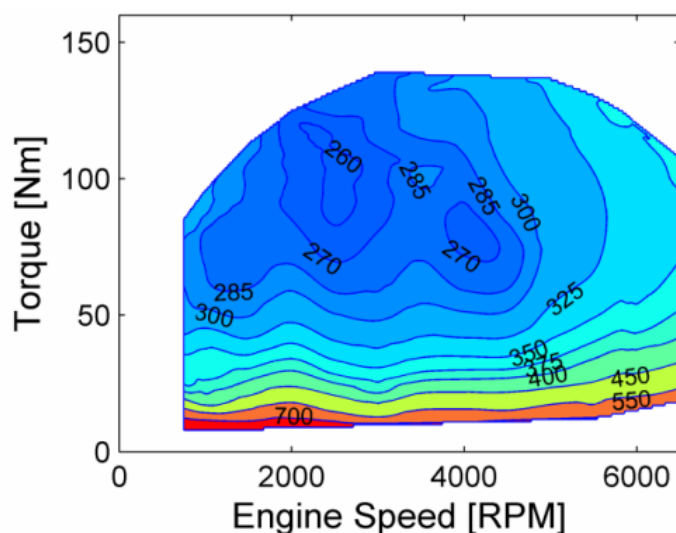
11. DISKUZE

Diplomová práce je zaměřena na stanovení tepelné bilance zážehového motoru. Výsledky, byly zaznamenávány do úplných charakteristik. Pro zhodnocení procentuálního vyjádření tepelné bilance této diplomové práce, byla využita literatura [1], ve které je zveřejněno procentuální vyjádření tepelné bilance. Ve zmíněné literatuře je uvedeno, že efektivní teplo by se měl pohybovat v rozmezí od 21 do 28% z celkového tepelného toku. V této diplomové práci dosahovalo procentuální vyjádření efektivního tepla hodnot od 27 do 34%. Jako další tepelný tok je v poznamenané literatuře uvedeno teplo z chlazení, podle autorů by chlazením z motoru mělo odcházet 21 až 28% celkového přivedeného tepla. Z vypočtených výsledků je zřejmé, že v této diplomové práci chlazením odchází 20 až 25% z celkového přivedeného tepla. Ve vysokých otáčkách se teplo z chlazení pohybuje v rozmezí 18 až 19%. Dalším tepelným tokem, který je v literatuře [1] uveden, je teplo z výfuku, toto odvedené teplo by se mělo pohybovat od 30 do 55% celkového přivedeného tepla v palivu. Z výsledků této diplomové práce je patrné, že výfuk odváděl 30 až 37% celkového přivedeného tepla. Posledním členem tepelné bilance je ostatní teplo, tento tepelný tok by se podle literatury [1] měl pohybovat v rozmezí od 3 do 14%, v této práci se ostatním teplem odvádí 7 až 13,5% z celkového přivedeného tepla. Z uvedeného je zřejmé, že naměřené tepelné toky korespondují s údaji uváděnými v literatuře.

Úplná charakteristika se nejčastěji vyhodnocuje s vynesenu měrnou spotřebou paliva. Aby bylo možné zhodnotit měrnou spotřebu v této diplomové práci a vynesení hodnot měrné spotřeby do úplné charakteristiky, musí být porovnána se stejným typem úplné charakteristiky. Úplná charakteristika s měrnou spotřebou paliva je zveřejněna v literatuře [19] a je možno tyto dvě charakteristiky porovnat. Při porovnávání charakteristik nelze brát jako hlavní měřítko jednotlivé výsledné hodnoty, protože se měření prováděla při rozdílných podmínkách a na rozdílném motoru. Především by se měly porovnávat tvary jednotlivých křivek a oblasti výskytu nejmenší a největší měrné spotřeby, proto když se porovná charakteristika na obr. 29 a na obr. 38, lze si všimnout, že nejmenší měrné spotřeby se na obou charakteristikách vyskytují v podobných oblastech, a to v horní části charakteristiky a v první polovině otáčkového rozsahu. Dále se v podobných oblastech vyskytují i největší měrné spotřeby, které se nachází ve spodní části charakteristiky. Do jisté míry je podobný i průběh jednotlivých křivek znázorňujících měrné spotřeby. Zároveň je možno si všimnout velké podobnosti

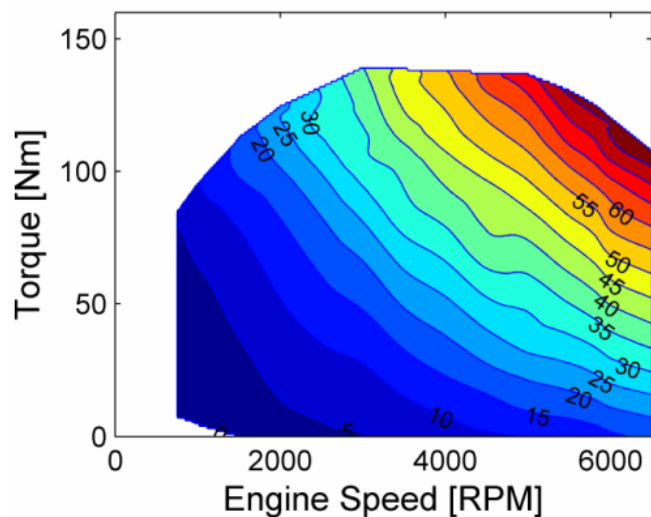
měrných spotřeb v jednotlivých charakteristikách. Rozsah dosažených měrných spotřeb je do značné míry závislý na typu a velikosti motoru. Takže uvedené srovnání je pouze orientační.

V úplné charakteristice v této diplomové práci se měrná spotřeba paliva pohybuje v rozmezí od 245 do 450 g.kW⁻¹.h⁻¹ a v charakteristice z literatury [19] se měrná spotřeba paliva pohybuje od 260 do 550 g.kW⁻¹.h⁻¹.



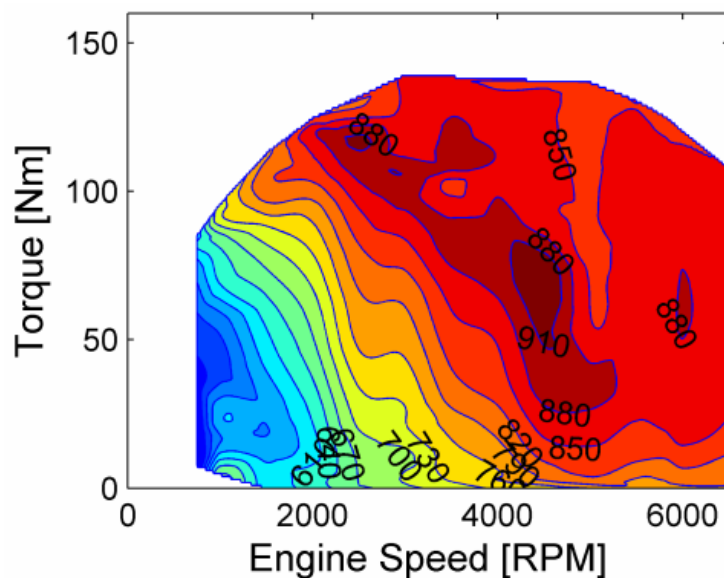
Obr. 38 Úplná charakteristika s měrnou spotřebou paliva [19]

Další úplnou charakteristikou, kterou je možno porovnat díky nalezení věrohodných podkladů v odborné literatuře nebo na internetu, je teplo z výfuku. Tento tepelný tok je v poslední době velmi sledovaným parametrem, a to díky velkému odchodu energie právě přes výfuk. K porovnání úplné charakteristiky, která je znázorněna na obr. 33, byla využita úplná charakteristika s vynesným teplem z výfuku, která je zveřejněna v literatuře [19], tatáž charakteristika je zobrazena na obr. 39. Porovnájí-li se obě charakteristiky, je zřejmé, že se průběhy a tvary jednotlivých křivek znázorňující tepelné toky velmi shodují. Také se shodují oblasti nejmenších tepelných toků, které jsou situovány ve spodní části úplné charakteristiky a se zvyšujícími se otáčkami motoru a točivého momentu se zvyšuje i teplo z výfuku. Zároveň hodnoty odvedených tepelných toků na obou charakteristikách dosahují podobných hodnot, kdy v charakteristice na obr. 33 se pohybuje teplo z výfuku v rozsahu od 8 do 73 kW, tak tepelný tok na obr. 39 se pohybuje v rozmezí od 5 do 75 kW.



Obr. 39 Úplná charakteristika s tepelným tokem odvedeným výfukem [19]

Při vyhodnocování tepla z výfuku, je velice důležité znát teploty výfukových plynů. Proto byla vytvořena i úplná charakteristika s vynesenu teplotou výfukových plynů. Tato charakteristika, jež je znázorněna na obr. 34, byla porovnáována s charakteristikou na obr. 40, která je zveřejněna v literatuře [19]. Lze si všimnout, že v charakteristice na obr. 40 jsou jednotlivé křivky znázorňující teploty výfukových plynů strmější, ovšem uspořádání křivek a teploty výfukových plynů jsou podobné. Při měření parametrů motoru v motorové zkušebně byly naměřeny teploty výfukových plynů od 700 do 950°C a v charakteristice na obr. 40 se naměřené teploty pohybují od 670 do 910°C.



Obr. 40 Úplná charakteristika s teplotou výfukových plynů [19]

12. ZÁVĚR

Na celém světě je v provozu přibližně 600 milionů automobilů a každý rok se vyrobí průměrně kolem 70 milionů nových automobilů, jestliže na Zemi žije 7,3 miliard obyvatel tak jeden automobil přibližně vychází na 13 lidí, avšak ve vyspělých zemích jako je například Německo nebo Velká Británie, je toto číslo mnohem nižší. Všední život si již bez motorového vozidla nedokážeme představit.

S ohledem na tuto realitu se téma diplomové práce zabývá úplnou charakteristikou vozidla a využitím této charakteristiky při provozu motorového vozidla. V této diplomové práci bylo cílem změřit v motorové zkušebně zážehový motor a z naměřených dat vypočítat tepelnou bilanci a výsledky tepelné bilance zanést do úplných charakteristik.

V současné době, kdy ceny pohonných hmot neustále rostou, je jednou z nejdůležitějších charakteristik, úplná charakteristika s měrnou spotřebou paliva, protože díky ní může provozovatel vozidla stanovit nejehospodárnější oblast provozu vozidla a tím ušetřit peníze z jeho provozu. Další důležitou charakteristikou je úplná charakteristika s vneseným efektivním teplem. Díky této charakteristice je možno určit výkon vozidla v určité provozní oblasti. Další velice důležitou charakteristikou je úplná charakteristika s vneseným teplem z výfuku, a to z toho důvodu, že přes výfuk odchází velké procento výkonu, které je nevyužito a které by se dalo využít. Mezi tyto důležité výsledky diplomové práce zcela jistě patří i procentuální vyjádření celkové tepelné bilance.

Veškeré tyto důležité výsledky jsou porovnány s odbornou literaturou. Je zřejmé, že jednotlivé charakteristiky respektive výsledky se mezi sebou nebudou 100% shodovat, protože měření parametrů bylo prováděno při rozdílných podmínkách a na rozdílných motorech. Nic méně důležité je, že výsledky z diplomové práce korespondují s výsledky uvedenými v odborné literatuře.

13. SEZNAM LITERATURY

- [1] HLAVNĀA Vladimír, KUKUČA Pavol, ISTENÍK Rastislav, LABUDA Róbert a LIŠČÁK Štefan. *Dopravný prostriedok – jeho motor*. 1.vyd. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2000, 442 s. ISBN 80-7100-665-3.
- [2] BAUER František, SEDLÁK Pavel a ŠMERDA Tomáš. *Traktory*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006, 192 s. ISBN 80-86726-15-0.
- [3] *Tepelné motory pístové* [online]. [cit. 2015-02-17]. Dostupné na: <http://www.mvp.cufo.cz/materialy/61.htm>
- [4] HROMÁDKO Jan a kolektiv. *Spalovací motory*. 1. Vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2011, 296 s. ISBN 978-80-247-347-0
- [5] *Yamaha XV 1600 Wildstar* [online]. [cit. 2015-02-25]. Dostupné na: <http://wildstar.wobo.cz/wildstar.html>
- [6] *Chlazení spalovacích motorů* [online]. [cit. 2015-02-28]. Dostupné na: www.isste.cz/digit/files_dum/VY_32_INOVACE_2_2_16.doc
- [7] *Chlazení* [online]. [cit. 2015-02-28]. Dostupné na: <http://www.hdiag.cz/news/chlazení/>
- [8] *Pístové stroje* [online]. [cit. 2015-03-02]. Dostupné na: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2267
- [9] *Návrh výfukového potrubí pro vůz formule SAE* [online]. [cit. 2015-03-02]. Dostupné na: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6051
- [10] VLK František. *Teorie a konstrukce motocyklů*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004, 661 s. ISBN 80-239-1601-7
- [11] VLK František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 580 s. ISBN 80-238-8756-4.
- [12] *AUTOLEXINON.net – náskok díky znalostem*, odborná internetová stránka, [online]. [cit. 2015-03-03]. Dostupné na: <http://cs.autolexicon.net/>
- [13] VLK František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2001, 576 s. ISBN 80-238-6573-0.
- [14] *Měření průtoku* [online]. [cit. 2015-03-09]. Dostupné na: <http://otpp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/KA04-05.htm>
- [15] *Vířivý dynamometr AVL DP* [online]. [cit. 2015-01-27]. Dostupné na: <https://www.avl.com/-/avl-dynoperform>

- [16] *Řídící jednotky Magneti Marelli* [online]. [cit. 2014-11-08]. Dostupné na:
<http://www.tremondi.cz/cs/motorsport/ecus/>
- [17] *Coriolisovy průtokoměry* [online]. [cit. 2014-01-31]. Dostupné na:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=42308
- [18] *Charakteristika termočlánků* [online]. [cit. 2014-01-31]. Dostupné na:
<http://www1.fs.cvut.cz/cz/U12110/TEM/senzory/grafy.htm>
- [19] *Waste heat power flows of an IC engine* [online]. [cit. 2014-02-02]. Dostupné na:
http://heat2power.net/en__wasteheat_in_ices.php
- [20] *Coriolisovy průtokoměry* [online]. [cit. 2015-03-09]. Dostupné na:
<http://automa.cz/res/pdf/42308.pdf>
- [21] *Závislost hustoty vody na teplotě* [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné na:
<http://www.converter.cz/tabulky/hustota-vody.htm>
- [22] *Měření hustoty* [online]. [cit. 2015-04-09]. Dostupné na:
<http://lat.zshk.cz/vyuka/mereni-hustoty.aspx>
- [23] KUMBÁR Vojtěch. *Měření hustoty oleje*, interní zdroje Mendelovy univerzity v Brně, 2015.

14. SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obr. 1 Pístový spalovací motor..... | 10 |
| Obr. 2 Činnost čtyřdobého zážehového motoru | 12 |
| Obr. 3 Izochorický oběh zážehového motoru..... | 13 |
| Obr. 4 Pracovní (indikátorový) diagram zážehového motoru | 13 |
| Obr. 5 Náporově vzduchem chlazený motor Yamaha XV 1600 Wildstar | 16 |
| Obr. 6 Ventilátorově vzduchem chlazený motor Tatra On Airtm T3D-928 | 17 |
| Obr. 7 Princip samočinného chlazení motoru..... | 18 |
| Obr. 8 Princip chlazení s nuceným oběhem kapaliny..... | 18 |
| Obr. 9 Schéma výfukové soustavy spalovacího motoru s katalyzátorem..... | 19 |
| Obr. 10 Sběrné potrubí výfukové soustavy (sběrné potrubí ze žárovečné oceli a z šedé litiny) | 20 |
| Obr. 11 Absorční tlumič | 20 |
| Obr. 12 Reflexní tlumič | 20 |
| Obr. 13 Schématické znázornění hydraulického dynamometru | 22 |
| Obr. 14 Schéma elektromagnetické vířivého dynamometru | 23 |
| Obr. 15 Princip objemové metody měření paliva | 24 |
| Obr. 16 Princip objemové metody měření paliva | 25 |
| Obr. 17 Účinek Coriolisovy síly na měřicí trubici tvaru U | 26 |
| Obr. 18 Účinek Coriolisovy síly na přímou kmitající trubici..... | 26 |
| Obr. 19 Závislost hustoty vody na teplotě [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] | 28 |
| Obr. 20 Závislost hustoty oleje na teplotě [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] | 29 |
| Obr. 21 Závislost měrné spotřeby paliva na točivého momentu při 4000 min^{-1} | 30 |
| Obr. 22 Sestava motoru s dynamometrem na zkušebním stanovišti | 31 |
| Obr. 23 Řídící stanoviště motorové zkušebny | 32 |
| Obr. 24 Pracovní charakteristika vířivého dynamometru AVL DP-240 | 33 |
| Obr. 25 Magneti Marelli SRA-E..... | 35 |
| Obr. 26 Princip Coriolisova hmotnostního průtokoměru | 35 |
| Obr. 27 Charakteristika jednotlivých typu termočlánků..... | 36 |
| Obr. 28 Výměník tepla pro chladicí kapalinu motoru (v levo) a pro motorový olej (v pravo) | 37 |
| Obr. 29 Úplná charakteristika s měrnou spotřebou paliva [$\text{g}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$]..... | 42 |

| | |
|--|----|
| Obr. 30 Úplná charakteristika s tepelným tokem přivedeným v palivu [kW]..... | 43 |
| Obr. 31 Úplná charakteristika s efektivním tepelným tokem [kW]..... | 44 |
| Obr. 32 Úplná charakteristika s tepelným tokem odvedeným chlazením[kW]..... | 45 |
| Obr. 33 Úplná charakteristika s tepelným tokem odvedeným výfukem [kW] | 46 |
| Obr. 34 Úplná charakteristika s teplotou výfukových plynů [°C] | 47 |
| Obr. 35 Úplná charakteristika s ostatním odvedeným tepelným tokem [kW]..... | 48 |
| Obr. 36 Procentuální vyjádření tepelné bilance v závislosti na otáčkách motoru při plné dávce paliva..... | 49 |
| Obr. 37 Grafické vyhodnocení validace spotřeby paliva z řídicí jednotky motoru | 51 |
| Obr. 38 Úplná charakteristika s měrnou spotřebou paliva | 53 |
| Obr. 39 Úplná charakteristika s tepelným tokem odvedeným výfukem..... | 54 |
| Obr. 40 Úplná charakteristika s teplotou výfukových plynů | 54 |