

Přemysl Gottvald

**Návrh stanovení tepelné bilance  
experimentálního měřicího standu  
vybaveného zážehovým  
spalovacím motorem**

Design of Determination of the Heat  
Balance of an Experimental Measuring  
Stand Equipped with a Spark-ignition  
Combustion Engine

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

Ing. Petr Pavlík, Ph. D.

Ostrava 2021

**Bibliografický záznam**

**Autor:** Přemysl Gottvald, GOT0030

Název práce: Návrh stanovení tepelné bilance experimentálního měřicího standu vybaveného zážehovým spalovacím motorem

Studijní program: B2341 Strojírenství

Vedoucí práce: Ing. Petr Pavlík, Ph.D.

Akademický rok: 2020/2021

Počet stran: 62

Klíčová slova: tepelná bilance; měření; návrh; spalovací motor

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Přemysl Gottvald**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 3907R009 Provoz energetických zařízení

Téma: **Návrh stanovení tepelné bilance experimentálního měřicího standu  
vybaveného zážehovým spalovacím motorem**  
**Design of Determination of the Heat Balance of an Experimental  
Measuring Stand Equipped with a Spark-ignition Combustion Engine**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Vypracujte návrh stanovení tepelné bilance u existujícího zařízení – experimentálního standu vybaveného zážehovým spalovacím motorem. Stanovte vhodný systém měření potřebných veličin, vytipujte vhodné měřicí prvky a navrhnete způsob stanovení tepelné ztráty povrchem motoru do okolí. Vypracujte technický návrh implementace měření do současné dispozice měřicího standu.

Práce bude obsahovat:

1. Rešerše v oblasti spalovacích motorů a v oblasti měření teplot, tlaků a průtoků.
2. Obecný návrh stanovení tepelné bilance u spalovacího motoru s vnitřním spalováním.
3. Obecný návrh stanovení tepelné ztráty povrchem motoru do okolí.
4. Návrh stanovení tepelné bilance u dané aplikace spolu s návrhem systému měření potřebných veličin vč. vytipování vhodných měřicích prvků.
5. Technický návrh implementace navrhovaného řešení do současné dispozice měřicího standu.

Seznam doporučené odborné literatury:

KYSELA, Ladislav a Jiří TOMČALA. Spalovací motory II. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0628-2.

VLK, František. Vozidlové spalovací motory. Brno: F. Vlk, 2003. ISBN 80-238-8756-4.

HROMÁDKO, Jan. Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.

JERIE, Jan. Chlazení spalovacích motorů a chladicí ventilátory. Vyd. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1972.

Technická dokumentace konkrétního motoru.

ĎAĎO, Stanislav, Ludvík BEJČEK a Antonín PLATIL. Měření průtoku a výšky hladiny. Praha: BEN - technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin, díl 3. ISBN 80-7300-156-X.

STONE, Richard. Introduction to internal combustion engines. 3rd ed. Warrendale, Pa.: Society of Automotive Engineers, c1999. ISBN 978-0768004953.

Internal combustion engine handbook: basics, components, systems, and perspectives, second edition, 2016. Warrendale, PA: SAE International. ISBN 978-0-7680-8024-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Pavlík, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2020

Datum odevzdání: 17.05.2021

---

doc. Ing. Stanislav Honus, Ph.D.  
*vedoucí katedry*

---

prof. Ing. Robert Čep, Ph.D.  
*děkan fakulty*

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne **17.5.2021**

.....  
podpis studenta / studentky

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 17.5.2021

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Přemysl Gottvald

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Gottvald, Přemysl. *Návrh stanovení tepelné bilance experimentálního měřícího standu vybaveného zážehovým spalovacím motorem*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2021, 62 s. Vedoucí práce: Pavlík, P.

Bakalářská práce se zabývá návrhem stanovení tepelné bilance spalovacího motoru. V úvodu jsou popsány základní druhy a princip spalovacích motorů spolu se způsoby měření teplot, tlaků a průtoků. Následuje provedení návrhu stanovení tepelné bilance s návrhem vytipování měřících prvků. V závěru se práce zabývá návrhem implementace navrhovaného řešení pro zpřesnění výsledků.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

Gottvald, Přemysl. *Design of Determination of the Heat Balance of an Experimental Measuring Stand Equipped with a Spark-ignition Combustion Engine*. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2021, 62 p. Thesis head: Pavlík, P.

The bachelor's thesis deals with the design of determining the heat balance of an internal combustion engine. The introduction describes the basic types and principles of internal combustion engines, along with methods of measuring temperatures, pressures and flows. The following is a proposal for determining the heat balance with a proposal for selecting measuring elements. Finally, the work deals with a proposal for the implementation of the proposed solution to refine the results.

## OBSAH

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Úvod .....                                    | 4  |
| 2   | TEORIE SPALOVACÍCH motorů .....               | 5  |
| 2.1 | Vývoj spalovacích motorů .....                | 5  |
| 2.2 | Rozdělení spalovacích motorů .....            | 7  |
| 2.3 | Chlazení spalovacích motorů.....              | 12 |
| 3   | Tepelná bilance .....                         | 19 |
| 4   | Měření potřebných veličin .....               | 22 |
| 4.1 | Teplota.....                                  | 22 |
| 4.2 | Průtok .....                                  | 23 |
| 4.3 | Otáčky.....                                   | 25 |
| 4.4 | Emise .....                                   | 25 |
| 5   | Specifikace motoru pro stand .....            | 27 |
| 6   | Použitá měřidla.....                          | 29 |
| 7   | Metodika měření.....                          | 33 |
| 8   | Stanovení ztráty sáláním povrchem motoru..... | 34 |
| 9   | Návrh implementace měřícího standu.....       | 47 |
| 10  | Závěr.....                                    | 49 |
| 11  | Citace.....                                   | 51 |
| 12  | Seznam obrázků .....                          | 54 |
| 13  | Seznam tabulek .....                          | 55 |
| 14  | Seznam příloh.....                            | 56 |



## SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

| Značka | Popis                                   |
|--------|---|
| CNG    | zemní plyn (Liquefied petroleum gas)    |
| LPG    | propan-butan (Compressed natural gas)   |
| HCCI   | Homogeneous Charge Compression Ignition |
| MHD    | Městská hromadná doprava                |
| HEV    | Hybrid electric vehicle                 |
| PHEV   | Plug-in hybrid electric vehicle         |

## 1 ÚVOD

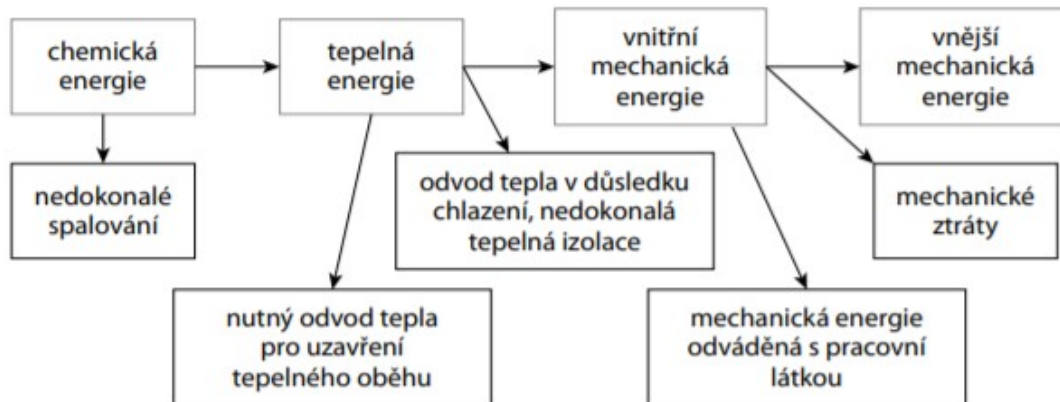
Spalovací motory prošly od počátku až do nynější doby výraznými úpravami a vylepšeními za cílem zvýšení účinnosti a snížení spotřeby paliva. Při využívání spalovacího motoru nikdy nedosáhneme stoprocentní účinnosti a vznikají nám ztráty. Na mechanickou energii je využito pouze okolo % a zbytek energie je odveden a nevyužit. Největšími ztrátami jsou ztráty chladiče a výfuku. Tyto dvě ztráty jsou pro funkci motoru nezbytné a bez jejich existence by žádný spalovací motor nemohl fungovat po delší dobu. To ovšem neznamená, že s nimi nic nesmíme dělat. Budou-li se stále zmenšovat, znamená to větší využití energie a větší účinnost spalovacího motoru, která se nám projeví na spotřebě paliva. K tomu se přidávají ztráty mechanické, nedokonalým spálením paliva a povrchovým sáláním. Ty jsou v porovnání s předchozími minoritní, ale také důležité. Tepelná bilance motoru má vykazovat ve všech režimech práce takové hodnoty, které zajišťují co nejehospodárnější provoz.

Mou prací je navrhnout způsob stanovení tepelné bilance motoru s vytipováním potřebných měřidel a postupu jejich použití.

V mé bakalářské práci se zabývám návrhem stanovení tepelné bilance na starším motoru značky ŠKODA.

## 2 TEORIE SPALOVACÍCH MOTORŮ

„Spalovací motor je tepelný stroj, který spalováním paliva získává tepelnou energii a využitím vhodného plynného média ji převádí na mechanickou práci. Energie plynného média je využívána buď jako energie potenciální (tlak spalín) u pístových spalovacích motorů, nebo energie kinetické (rychlost proudu spalín).“ [1]



Obrázek 2-1 – Schéma přeměny energie ve spalovacím motoru [1]

### 2.1 Vývoj spalovacích motorů

Spalovací motor konstrukčně vychází z parního stroje. Hlavním rozdílem měla být větší účinnost spalovacího motoru. [2]

#### Prvotní vývoj spalovacího motoru

Francouzský fyzik Jean Hautefeuille začal v roce 1678 uvažovat nad myšlenkou stroje spalující střelný prach. Tuto myšlenku o dva roky později převzal nizozemský fyzik Christian Huyghens. Úvahy obou fyziků nebyly špatné v možnosti využití střelného prachu jako paliva, ale výsledky pokusů nevedly k praktickému využití. Vyšlo tedy najevo, že střelný prach není vhodným palivem. Motory díky svému druhu uvolňování energie dostaly název „výbušný motor“. [2]

V dalším století začaly nadějnější pokusy se svítiplynem (směs vodíku, oxidu uhelnatého a metanu). Patent o první motor poháněný svítiplynem požádal roku 1786 Francouz Phillippe Lebon. Ve využití svítiplynu dosáhl úspěchu až Jean Joseph Etienne Lenoir. Dovedl tyto motory ke stavu využitelnosti v praxi a díky tomu je označován za tvůrce výbušných motorů. Vozidla s názvem „hippomobile“ nikdy nedošla do vývojového stádia skrz nevýhody, jako byla velká hmotnost a neschopnost dvoudobého motoru vytvořit více jak 100 ot/min. To způsobilo maximální dosahovanou rychlost jen 6 km/h. [1,2,3]

Do výroby plynových motorů se také zapojují německý vynálezce Nicolaus A. Otto a inženýr Eugen Langen. Roku 1864 založil Otto v Kolíně vůbec první továrnu na motory na světě. Hlavním zájmem rozvoje byl čtyřtákní motor, na který přišel sám Otto. Verze jednoválcového motoru byla oceněna na pařížské výstavě Zlatou medailí výstavu. Většina vlastností motoru nebyly nijak uspokojivé. Veliká

hlučnost, malá spolehlivost, jediná dobrá vlastnost byla nízká spotřeba plynu. Roku 1876 Otto vyrobil čtyřdobý motor se zvýšeným kompresním poměrem, který si nechal patentovat. Nový model motoru dosahoval větší účinnosti a tiššího chodu. Stal se tak předchůdcem současných čtyřdobých motorů, kde je využíván princip sání, stlačení (komprese), zážehu (expanze) a výfuku. [1,3]

Vývoj spalovacích motorů stále pokračoval, když skotský inženýr Dugald Clerk vyvinul první dvoudobý spalovací motor. Jeho prvotním cílem bylo vytvořit stroj, co by vyráběl energii při každém pohybu do dolní úvrati, kde ještě pomocí komprese zvýší účinnost stoje. Funkce byla založena na čerpacím pístu, který naplňoval pracovní válec. Přívod a odvod směsi paliva byl pomocí ventilů. Dvoudobé motory jsou využívány dodnes. Zapřičinil se za to Angličan Joseph Day, který dokázal vytvořit bezventilový dvoudobý motor. [3,4]

Rudolf Diesel je považován za tvůrce vznětových motorů. Roku 1892 dostal svůj první patent na vznětový motor. Jako u předchozích motorů docházelo k postupnému vývoji použitého paliva. Prvním zkušebním palivem byl roku 1893 použit uhelný prach. O pár let později bylo použito vstřikování benzínu a úplně prvně se použilo vodní chlazení. Neuplynulo mnoho času, kdy se benzín nahradil čistým petrolejem, díky kterému pracoval motor klidněji. Roku 1897 vznikl třetí prototyp, který splňoval všechny požadavky a dal tak vzniku klasickému vznětovému čtyřdobému motoru. Nejvíce fascinovala celková účinnost 26 %. Stále se museli řešit problémy s velikostí a hmotností. Vysokotlaké kompresory se musely nahradit vstřikovacími čerpadly, která umožnila zmenšení rozměrů a hmotnosti pro použití ve vozidlech. [1]

### **Současné spalovací motory**

V dnešní době se hodně v automobilovém průmyslu využívá takzvaný „downsizing“ neboli zmenšování pohonných jednotek. Z názvu už vyčnívá základní myšlenka zmenšování objemu motoru při zachování stejného výkonu. Velká hmotnost znamenala i větší setrvačné hodnoty nebo třecí odpory a ty jsou v tomto průmyslu nežádoucí. To způsobuje větší spotřebu paliva. Využití zde nacházeli malé turbokompresory, které zvyšovaly účinnost u nízko objemových motorů. Teorie slibovala úspornější jízdu a stejný výkon. Opak je bohužel pravdou, u těchto motorů nejde dosáhnout jak nízké spotřeby, tak výkonu zároveň. Klasickým příkladem může být motor od značky Škoda 1.0 TSI používaný v autech Octavia nebo Karoq. [5]

U aut se stále více využívá hybridního pohonu (HEV, PHEV). Ke klasickým spalovacím motorům se přidává sekundární elektrický motor (HEV). Elektřina se primárně využívá jako pomocná jednotka při akceleraci. Může být využita i jako hlavní pohonná jednotka pouze na pár kilometrů. I toto malé využití stačí pro snížení spotřeby paliva. Elektrickou baterii není nutné nabíjet, díky dobíjení za jízdy regenerativním brzděním. Plug-in hybrid (PHEV) pracuje na stejném principu jako hybrid. Jedinými rozdíly jsou výkonost elektrického motoru, která může dosahovat přes 100 koňských sil a větší kapacita baterii. Tím může být automobil využíván více jenom na elektromotor. Když elektřina dojde, auto funguje na spalovací motor a chová se jako klasický automobil se spalovacím motorem. [6]

Jednou z nových inovací spalovacích motorů byla změna paliva z benzínu nebo nafty na LPG a CNG. Počáteční nevýhody ve vyžadující přestavbě vozidla, méně čerpacích stanic a zákazu parkování

v podzemních garážích nezní výhodně, ale jejich šetrnost a úspornost za to může stát. Zemní plyn využívaný nejčastěji vozidla MHD a jejich provozní náklady mohou dosáhnout až 1 Kč/km. [6]

### **Budoucí vývoj HCCI**

Neustálý vývoj motorů nezůstává jenom u možnosti elektrické nebo použití vodíku. Nastal vznik třetího typu čtyřdobého spalovacího motoru HCCI, který je kombinací zážehového a vznětového. Považují se za nejdokonalejší pístové motory, které lze momentálně sestavit. Ke vznícení zde dochází pomocí komprese směsi ve spalovací komoře. Na rozdíl od zážehových motorů tady chybí zapalovací svíčka. Oproti vznětovým motorům se nevstříkuje směs do stlačeného vzduchu, kde se poté vznítí. Tady jednoduše dochází k nasátí směsi, kdy se v pracovním prostoru pístem zvyšuje tlak a směs dosahuje své kritické teploty, která zapříčiní její zapálení. Výhodou je velký výkon, velmi nízké emise, nízké teplotní rozdíly a nižší spotřeba. Bohužel i zde narazíme na nevýhody, které jsou způsobeny složitostí konstrukce. Nejhorší možností může být šance samovolné vznícení směsi ve válci, která může celý motor zničit. [7]

## **2.2 Rozdělení spalovacích motorů**

Spalovací motory lze dělit do mnoha různých skupin podle svých funkcí:

### **Způsobu přeměny tepelné energie:**

- **Pístové spalovací motory**

Využívá se potenciální energie spalin. Díky směsi paliva a vzduchu, která je stlačena pístem. Ve válci je potom zapálena elektrickou jiskrou. Jiskru vytvoří zapalovací svíčka. Tím vznikne tlak na pístu, jehož vratným nebo rotačním pohybem dochází ke vzniku mechanické energie. [1,8]

- **Turbínové spalovací motory**

Mechanickou energii se získává z dynamické energie spalin. Potřebný vzduch je dopravován rotačním čerpadlem do spalovací komory, kde nastává proces spalování. Palivo je do komory vstříkováno tryskami. [1]

- **Proudové spalovací motory**

Pracují s reakční silou vytékajících spalin proudících vysokou rychlostí z výstupní trysky motoru. Vstupující vzduch je nasáván kompresorem, který zvyšuje jeho tlak a zároveň teplotu před vstupem do spalovací komory. Následovně je do vzduchu vstříknuto palivo. Zažehnutá směs uvolní tepelnou energii a horké plyny. Ty roztlačí turbínu v zadní části motoru, která přes hřídel pohání kompresor. [1]

**Způsobu přívodu tepelné energie:**

- **Motory s vnějším spalováním**

Proces spalování probíhá mimo pracovní válec. Pro přenos energie se využívá pára, vzduch nebo jiné plyny. Nejznámější motory s vnějším spalováním jsou parní stroj nebo Stirlingův motor. [1]

- **Motory s vnějším spalováním**

Proces spalování probíhá uvnitř pracovního válce. Pracovní látkou jsou přímo produkty spalování. Jedná se o pístové spalovací motory a spalovací turbíny. [1]

**Druhu paliv:**

- **Kapalná**

Jsou nejvíce používaným druhem paliva. Snadno se dopravují a uskladňují pro další využití. Vytvoření směsi paliva a vzduchu je těžší na provedení než u paliv plyných. Vyrábí se z ropy. Dále se dělí na paliva lehce odpařitelná a těžko odpařitelná. U zážehových motorů nejčastěji využíváme benzín a dříve také petrolej. [1,8]

- **Plynná**

Výborně se směšují se vzduchem a tvoří palivovou směs. Získáváme je pomocí ropné rafinérie a dostáváme plyny jako LPG a CNG. Mohou být využívány po malé přestavbě vozidla, která se nám vyplatí jejich nízkou cenou oproti benzínu a velkým dojezdem na delší vzdálenosti. [1,8,9]

**Dopravování palivové směsi:**

- **Přirozené sání (atmosférické)**

Využívá se u čtyřdobých motorů. Ty nasávají směs paliva a vzduchu do válce pomocí podtlaku vytvářeným pohybem pístu ve válci. [1]

- **Motory s vyplachováním**

Motory dvoudobé, které dopravují čerstvou směs do válce přetlakem vyvolaným dmychadlem nebo stlačením směsi paliva a vzduchu pomocí pístu v klikové skříni motoru při jeho pohybu do dolní úvratí. Vstupující čerstvá směs vypláchne vnitřek válce od zbylých spalin. Existují tři druhy vyplachování a ty jsou příčné, vratné a souproude. [1]

- **Přeplňované motory**

Používá se u čtyřdobých i dvoudobých motorů. K dopravě čerstvé směsi do válce jsou využívány kompresory s mechanickým pohonem, turbodmychadla nebo kombinovaná zařízení, která vytváří přetlak. [1]

**Způsobu zapalování palivové směsi se vzduchem:**

- **Motor zážehový**

Směs paliva se vzduchem se nejčastěji zažehne pomocí elektrické jiskry. Používá se u motorů na plyná paliva, benzín a dříve i petrolej. [1]

- **Motor vznětový**

Palivo je vstřikováno do pracovního prostoru válce motoru. Kvůli vysoké teplotě vzniklé stlačením vzduchem se vznítí. Palivem je nafta. [1]

**Podle počtu pracovního cyklu:**

- Čtyřdobý motor
- Dvoudobý motor

**Čtyřdobý zážehový motor**

Motor pracuje na spolupráci mnoha mechanických prvků, které jsou na sobě závislé. Celý cyklus je vykonán během dvou otáček klikové hřídele, které dělíme do čtyř dob. [1,8,10]

**1) Sání:**

Proces první doby, který se jmenuje sání, začíná pohybem pístu z horní úvratě do dolní, zároveň se vytváří podtlak, díky kterému je otevřeným sacím ventilem do prostoru nad pístem nasávána výbušná směs paliva a vzduchu, výfukový ventil je po celou dobu uzavřený. [1,8,10]

**2) Komprese:**

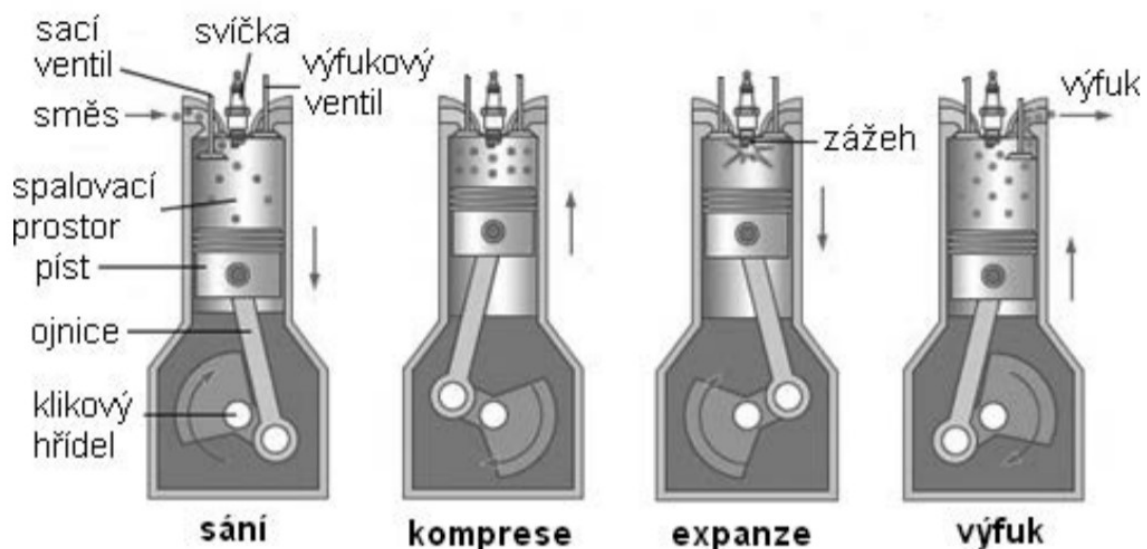
Během druhé doby se píst pohybuje z dolní úvratě do horní, sací i výfukový ventil jsou uzavřeny. Během tohoto procesu se směs paliva a vzduchu stlačuje. [1,8,10]

**3) Hoření a expanze:**

Než dosáhne píst horní úvratě, dojde k zažehnutí směsi pomocí jiskry ze zapalovací svíčky. Nastane hoření směsi a píst se silou zážehu pohybuje z horní úvratě zpět do dolní. Ve třetí době píst vykonává užitečnou práci neboli expanzi, díky které získáváme mechanickou práci na ojnici. [1,8,10]

**4) Výfuk:**

Čtvrtou a poslední dobou je výfuk, kdy se píst pohybuje z dolní úvratě do horní. Během tohoto pohybu pístu se otevírá výfukový ventil a z válce jsou vytlačovány všechny spaliny. Dále znovu nastává doba první a celý cyklus se opakuje. [1,8,10]



Obrázek 2-2 – Princip funkce čtyřdobého motoru [1]

**Výhody čtyřdobého motoru:**

- Lepší spotřeba paliva a oleje
- Čistější spalování
- Nižší tepelné ztráty

**Dvoudobý zážehový motor**

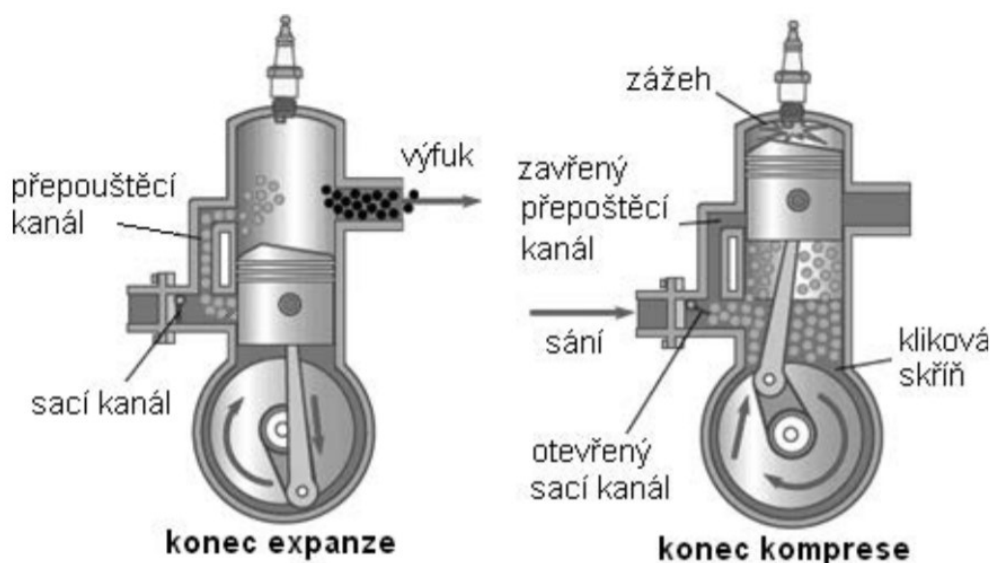
Zde je cyklus vykonán pouze během jedné otáčky klikové hřídele. Musí se tedy pracovní doby sloučit a proběhnout současně. Využívá se prostoru nad a pod pístem. Na rozdíl od čtyřdobého motoru zde není rozvodový mechanismus, který by řídil obměňování čerstvé směsi paliva, ale přepouštěcí a výfukový kanál. Ty jsou otvírány a zavírány pomocí pístu, který převzal funkci ventilů. [1,10]

**1) Sání a stlačování:**

Cyklus začíná, když se píst nachází v dolní úvrati a jeho horní hrana zároveň odkrývá přepouštěcí kanál. Kanálem vstupuje předběžně stlačená směs paliva a vzduchu z klikové skříně do prostoru nad pístem. Dále se posunem pístu z dolní úvrati do horní zakryje přepouštěcí a výfukový kanál a stlačuje se směs vzduchu a paliva. Během tohoto pohybu se vytváří v klikové skříně podtlak, který zapříčiní, že po odkrytí sacího kanálu dolní hranou pístu se do prostoru klikové skříně nasává směs paliva a vzduchu. [1,10]

**2) Výbuch a výfuk:**

Než dosáhne píst horní úvrati, dojde k zažehnutí palivové směsi jiskrou ze svíčky. Kvůli hoření se ve válci zvyšuje tlak. Píst je poté vytlačen k dolní úvrati. Prvně při tomto pohybu zakrývá hrana pístu sací kanál, proto dochází ke stlačování směsi v klikové skříně. Následuje odkrytí výfukového kanálu horní hranou pístu. To zapříčiní opuštění zplodin z válce. Nastane odkrytí přepouštěcího kanálu, kde se směs paliva a vzduchu stlačená v klikové hřídeli pohybuje do prostoru nad pístem a svým pohybem vytlačuje zbytky hoření do výfukového kanálu. V neposlední řadě zakryje píst výfukový i přepouštěcí kanál a celý cyklus se znovu opakuje. [1,10]



Obrázek 2-3 – Princip funkce dvoudobého motoru [1]



**Výhody dvoudobého motoru**

- Nepotřebuje ventily
- Dosahují vyšších otáček
- Menší hmotnost
- Jednodušší konstrukce

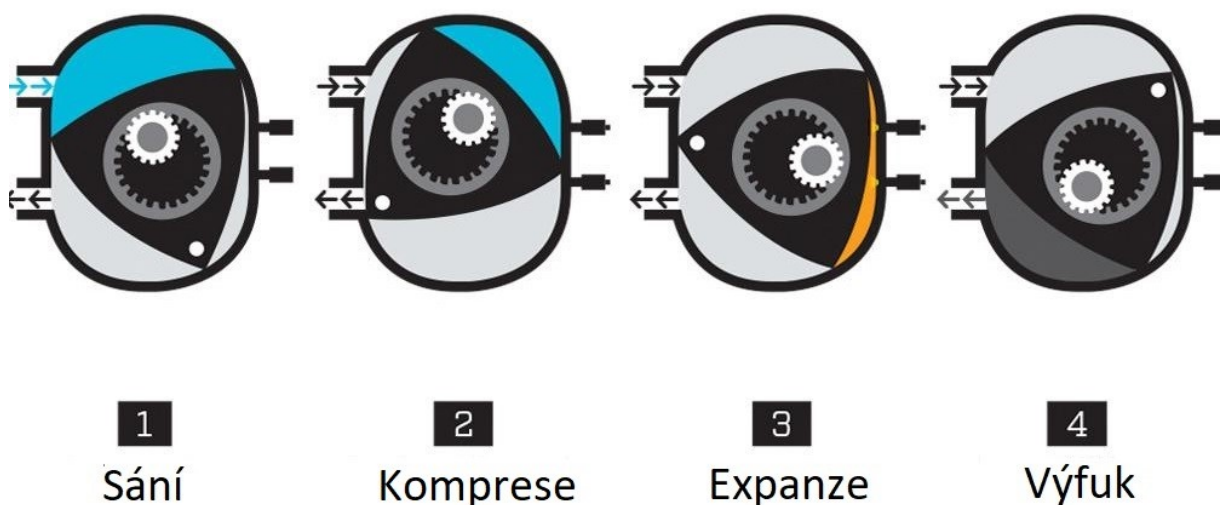
**Nevýhody dvoudobého motoru**

- Nedokonalé spalování
- Větší hlučnost
- Větší spotřeba paliva a oleje

**Wanklův motor**

Podobu prvního motoru vytvořil německý inženýr Felix Wankel roku 1929. Vývoj probíhal u firmy NSU, která vývoj začala podporovat až od roku 1951. O šest let později vznikl první prototyp DKM. Druhým typem byl motor KKM a ten se využívá dodnes. V současné době se nejvíce o výrobu automobilů s Wanklovým motorem zabývá Mazda. [11,12]

Wanklův motor je typem rotačního zážehového motoru. Chybí zde klikový mechanismus, proto píst nekoná vratný pohyb nahoru a dolů k získání rotačního pohybu. Jedná se o klasický čtyřdobý motor spalující benzín. Hlavním rozdílem od pístového čtyřdobého motoru je funkce vykonat celý čtyřdobý cyklus za pouhou jednu otáčku. Ve spalovací komoře oválného tvaru rotuje trojúhelníkový zaoblený píst. Jeho rotací se vytváří tři oddělené oblasti, které mění postupně vlastní objem. Pohyb pístu po své nesoustředné ose tak umožňuje vykonávat všechny doby celého cyklu pouze během jedné otáčky rotoru. Pohon rotoru je zajištěn dvojicí ozubených kol. Rotor je nasazen nesoustředně od osy hřídele. Poměr otáček hřídele a rotoru je 3:1. To znamená, že se hřídel otočí třikrát, zatímco rotor pouze jednou. [11,12]



Obrázek 2-4 – Princip funkce Wankelova motoru [11]

### Výhody

- **Jednoduchá konstrukce**  
Skládá se z méně pohyblivých částí, tím se snižuje šance poruchy a nároky na údržbu. [11]
- **Kompaktnost**  
Zabírá méně prostoru a má menší hmotnost než pístové motory. [11]
- **Klidnější chod**  
Pohyb konají pouze hřídel a rotor. Díky tomu motor vydává méně hluku a lépe se vyvažuje. [11]

### Nevýhody

- **Nízká tepelná účinnost**  
Pracovní prostor má velký povrch, a to vede k velkým tepelným ztrátám. [11]
- **Netěsnost**  
Dochází k přimíchávání oleje do směsi. [11]

## 2.3 Chlazení spalovacích motorů

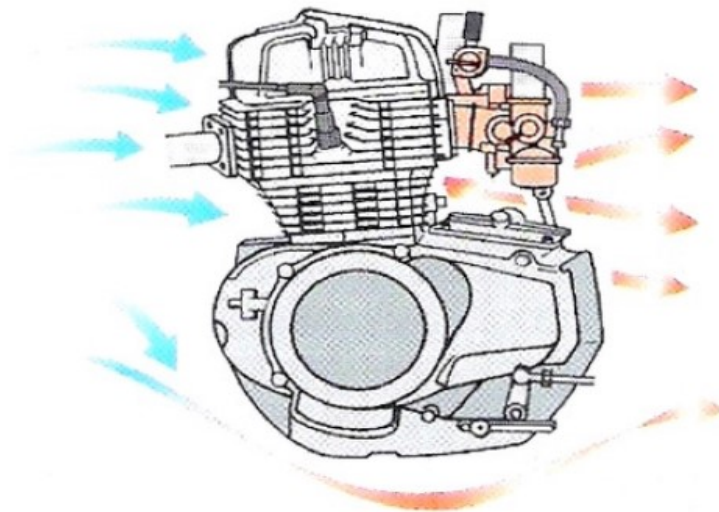
Při spalování směsi paliva a vzduchu se část tepelné energie přemění na mechanickou práci. Část zbylého tepla je odvedena spalinami. Přebytečné teplo je stále zapotřebí odvést, jinak se motor bude příliš zahřívat. Motory se proto udržují na požadované teplotě pomocí chladicího systému. Ten odvádí asi 30 % přebytečného tepla do okolního prostředí. [1,13,14]

Teplo může být vedeno přímo pomocí povrchem motoru nebo nepřímo pomocí teplotnosného média (chladicí kapalina), které předává teplo pomocí tepelného výměníku. Někdy se může využít obou metod zároveň, kdy se kapalinou chladí hlava válce a blok motoru je chlazen vzduchem. Motory s vyšším výkonem musí mít regulovatelný chladicí systém, protože příliš velké přehřátí motoru nám může zapříčinit nižší účinnost, špatné spalování, deformaci mechanických částí nebo trvalé poškození. Podobné nebezpečí hrozí z podchlazení motoru, které zapříčiní větší opotřebení pístů a jejich součástí. Je-li motor správně chlazený, zlepšuje se kompresní poměr, výkon nebo plnění válců. [10,13,14]

### Vzduchem chlazené motory

Chlazení vzduchem je druhem přímého chlazení kvůli nevyužívání přenosného média. Teplo se přenáší přímo z povrchu motoru do okolního vzduchu. Motor a jeho části jsou vyrobeny s žebrovaním nebo chladícím pláštěm. Jedná se o válce, hlavy válců a olejové vany. Tato úprava povrchu se provádí pro zvětšení teplosměnné plochy, tedy plochy, která přichází ke styku se vzduchem a předává mu tak přebytečné teplo. K výrobě je zapotřebí materiálů dobře vedoucích teplo, například ocel, hliník. [14]

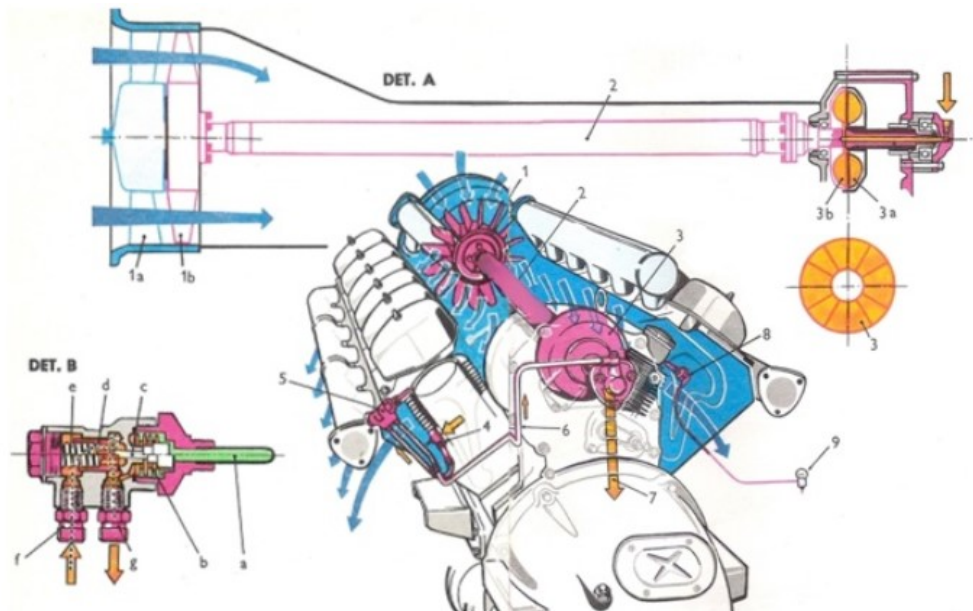
- **Náporové chlazení**  
Jedná se o nejjednodušší a zároveň nejvíce nedokonalý způsob chlazení. Závisí na pochybu na pohybu vozidla. Nejčastěji se využívá u motocyklů. Motory se ochlazují pomocí vzduchu, který proudí okolo jejich žebrovaného povrchu. Při malé pojezdové rychlosti s velkým zatížením může dojít k přehřátí, a naopak při vysoké rychlosti s malým zatížením k podchlazení motoru. [10,13,14]



Obrázek 2-5 – Motor chlazený vzduchem – náporové chlazení [13]

- **Nucené chlazení**

Fungují za pomoci ventilátorů a usměrňovacích plechů. Chlazení je rovnoměrnější a účinnější. Vzduch je z okolí nasáván ventilátorem a lopatkové kolo ho zase vytlačuje ven. Nucené chlazení se rozlišuje ve dvou typech. Jedním je chlazení přetlakové, kdy se ventilátor nachází před motorem a vhání vzduch na motor. Druhým způsob spočívá v umístění ventilátoru za motorem. Ten teplý vzduch odčerpává od motoru. Ventilátor je nejčastěji poháněn řemenovým převodem. Regulace průtoku vzduchu lze pomocí škrcení vstupu vzduchu do ventilátoru případně výstupu z ventilátoru nebo natáčením lopatek ventilátoru. [10,13,14]



Obrázek 2-6 - Chlazení vzduchem – nucené chlazení Tatra 930 – NA T 815 [13]

**Výhody:**

- Není potřeba teplosměnné médium
- Jednoduchá konstrukce
- Minimální údržba
- Spolehlivější v horších klimatických podmínkách

**Nevýhody:**

- Nerovnoměrnost chlazení
- Velká hlučnost
- Příkon ventilátoru
- Obtížné využití odpadního tepla

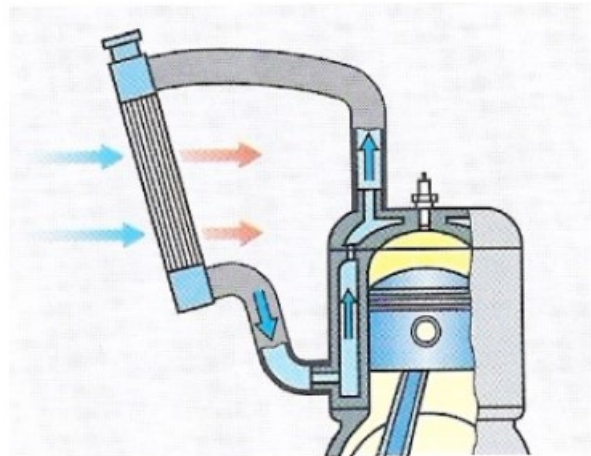
**Kapalinou chlazené motory**

Kapalina proudící z motoru do chladiče předává své teplo do okolí. K dokonalému chladicímu systému je zapotřebí více součástí než chladiče a chladicí plášť motoru. Kapalinu musíme pohánět čerpadlem (vodní pumpa) a kontrolovat její teplotu pomocí čidla teploty. Samotnou kapalinu ochlazuje proudící vzduch. Vše dohromady dává chladicí systém spojený trubkami a hadicemi. Při cirkulaci v systému může kapalina dosahovat teploty až 100 °C. Jako chladicí kapalina se nejvíce využívá destilovaná voda s ochrannými prvky, díky kterým kapalina při mrazivých podmínkách nezamrzne, a přitom udržuje čisté a průchozí soustavu trubek a hadic. Ve výjimečných případech se používá olej jako chladicí kapalina. [10,13,14]

**Druhy oběhu chladicí kapaliny:**

- **Gravitační chlazení (Termosifonové)**

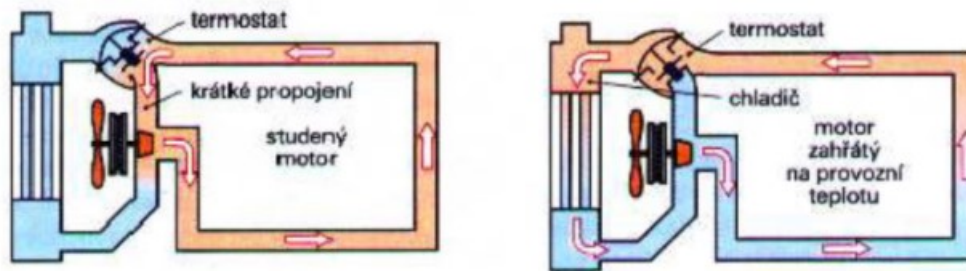
Princip chlazení závisí na rozdílu hustoty chladicí kapaliny při změnách teploty. Chladič musí být umístěn dostatečně vysoko nad motorem a být celý zaplněný kapalinou. Ochlazující se plášť motoru předává teplo proudící kapalině. Ta vlivem vysoké teploty mění svou hustotu. Stává se tak lehčí a stoupá vzhůru do chladiče. Ventilátor kapalinu ve chladiči ochlazuje. Kapalina zase houstne a těžkne. Klesá chladičem zpět do pláště motoru, kde se vše opakuje. [13]



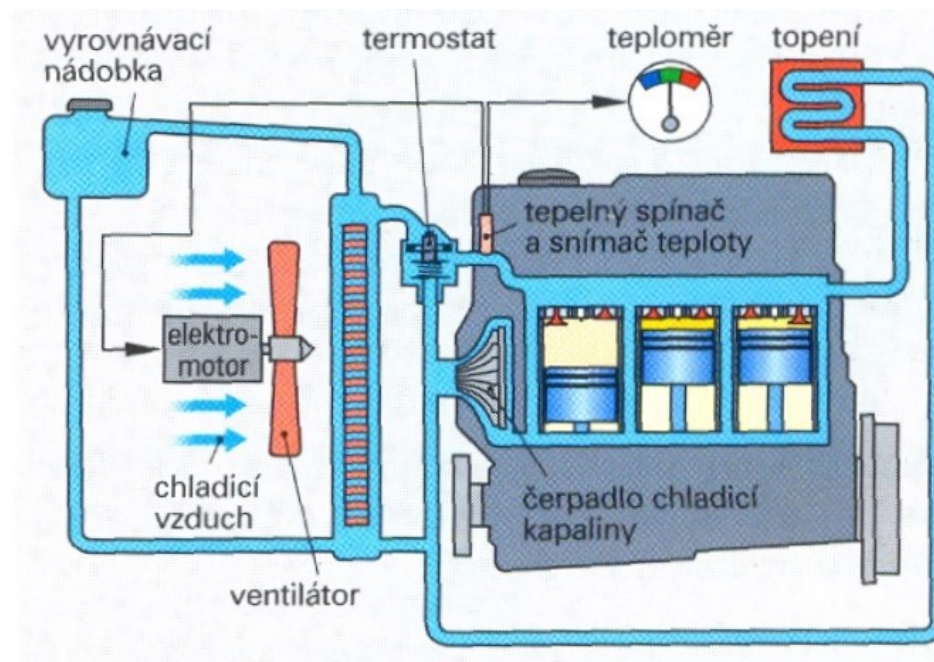
Obrázek 2-7 - Gravitační chlazení [13]

- **Chlazení kapalinou s nuceným oběhem**

Oběh kapaliny v celém chladicím oběhu zajišťuje čerpadlo. To nahrazuje potřebu chladiče ve vyšší úrovni než samotný motor. Při nastartování je motor stále studený, proto chladicí kapalina obíhá pouze malým okruhem (chladicí plášť motoru), ten je rozdělen od velkého okruhu termostatickým ventilem. Dokud není kapalina zahřátá na vhodnou pracovní teplotu, neopustí motor. Jakmile kapalina dosáhne teploty 85 °C, začne termostat otevírat průtok do chladiče. Při 95 °C je průtok plně otevřen viz. – Nucený oběh chlazení s termostatickým ventilem [13] Obrázek 2-8. Samotná kapalina je tak ochlazována na požadovanou teplotu ve chladiči pomocí ventilátoru, který je řízený termostatem nezávisle na zatížení motoru. Na Obrázek 2-9 si lze povšimnout, že ohřátá kapalina se dále využívá pro vytápění přes výměník tepla do kabiny automobilu. Na rozdíl od gravitačního chlazení zde nemusí být celý okruh zaplněn kapalinou. Kvůli tomu se může objem kapaliny měnit v závislosti na její teplotě. Pro potřebu vyrovnávání tlaku v chladicím okruhu slouží vyrovnávací nádobka (Obrázek 2-9), jejíž součástí může být přetlakový a podtlakový ventil. Jedná se tedy o neúčinnější chladicí zařízení. Nevýhodou je jejich složitost na výrobu a údržbu. [10,13]



Obrázek 2-8 – Nucený oběh chlazení s termostatickým ventilem [13]



Obrázek 2-9 – Motor chlazený kapalinou s nuceným oběhem [13]

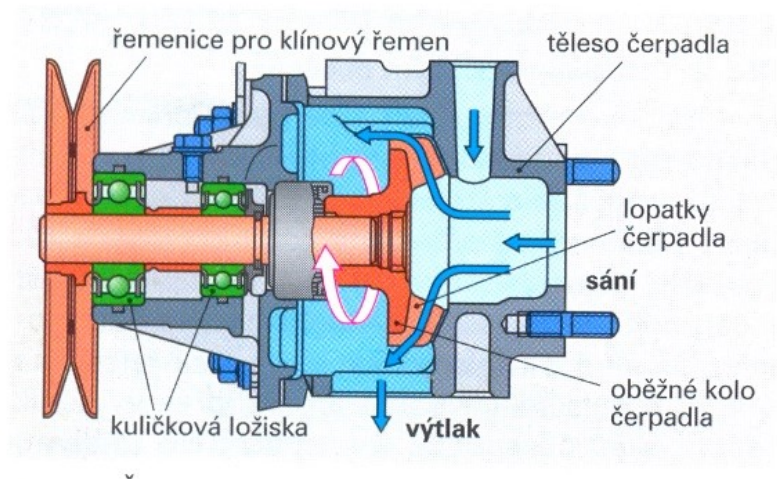
- **Kombinovaný systém chlazení**

Kombinacích gravitačního a nuceného systému zde čerpadlo dodává chladicí kapalinu z chladiče do vrchní části chladicího pláště válců motoru. Spodní část válců je tedy chlazená gravitačním prouděním kapaliny. [1]

**Základní prvky chladicího systému:**

- **Čerpadlo kapaliny**

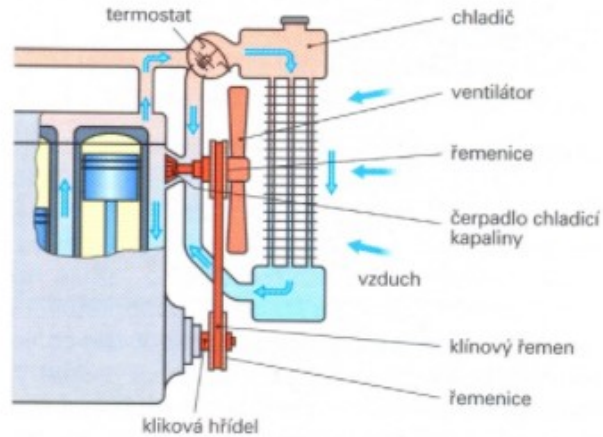
Základním úkolem čerpadla je zvyšovat množství kapaliny proudící v chladicím systému pro ochlazování stěn motoru, a tak dosahování lepších výkonů. Využívají se čerpadla jednostupňová nebo odstředivá, která mohou být umístěna v bloku motoru nebo samostatně. Kapalina nasávána pohybem oběžného lopatkového kola je vytlačována do pláště motoru. Celý chladicí systém by měl být co nejlépe odvědušněn, aby nechtěné bublinky vzduchu nezapříčinili poškození lopatek oběžného kola. Pohon čerpadla bývá zpravidla zajištěn řemenem. U novějších motorů je čerpadlo poháněno elektromotorem a tím umožňuje lepší regulaci výkonu čerpadla k okamžité potřebě chlazení. To vede ke snížení spotřeby paliva. [13]



Obrázek 2-10 – Schéma čerpadla kapalin [13]

- **Ventilátor**

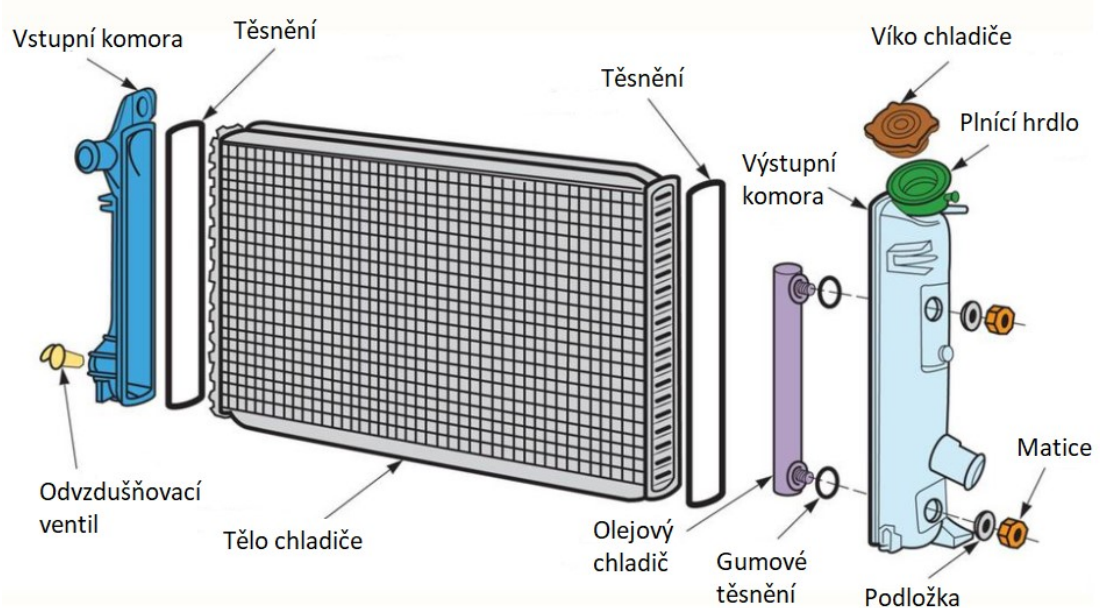
Způsobuje dostatečný průtok vzduchu chladičem pro ochlazení kapaliny. U automobilů je v činnosti pouze jen, když proudící vzduch z okolí není schopen dostatečně ochlazovat kapalinu v chladiči. Starší traktory využívaly ventilátor připevněný na hřídel čerpadla. Novější způsob pohonu ventilátoru je buď variabilní, nebo elektrický. Variabilní pohon přizpůsobuje okamžitý výkon ventilátoru pro potřebnou rychlost a teplotu motoru. Ovládání je za pomoci spojky kvůli šetření energie. Elektromotor ovládá výkon ventilátoru teplotním čidlem. Ventilátory může být umístěn za nebo i před motorem. [10,13]



Obrázek 2-11 – Ventilátor s trvalým pohonem [13]

- **Chladič**

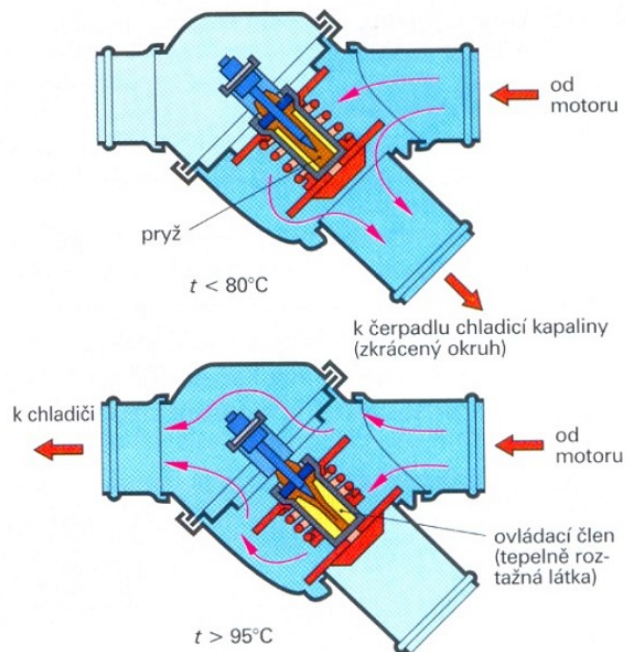
Vstupní komorou proudí do chladiče ohřátá chladicí kapalina z motoru. Ta dále pokračuje do chladicí mříže, kde předává teplo proudícímu vzduchu. Kapalina vystupuje z mříže přes výstupní komoru zpět do chladicího systému. Mohou obsahovat chladiče oleje převodovek. Chladicí mříž obsahuje trubky, které jsou obklopeny vlnovitými žebry pro zvýšení teplosměnné plochy. Rozlišují se chladiče horizontální a vertikální podle umístění vstupní a vertikální komory. Vertikální chladiče se vyskytují u nákladních automobilů. Vyrábí se z hliníku, plastů nebo slitin mědi. [10,13]



Obrázek 2-12 - Konstrukce chladiče [16]

- **Termostat**

Než se motor zahřeje nechává kapalinu cirkulovat pouze v malém okruhu (chladicí plášť motoru). Jakmile motor dosáhne provozní teploty (95 °C) začne se přehřívat a musí se chladit. Ventil se otevře a nechá kapalinu proudit do chladiče. Tím se do provozu dostane chladič a motor se začne ochlazovat. Termostat slouží k regulaci proudění potřebné chladicí kapaliny v závislosti na potřebě motoru. Jeho funkce snižuje opotřebení motoru, snižuje spotřebu paliva a také snižuje emise. [10,13]



Obrázek 2-13 - Funkce termostatu [13]

**Výhody:**

- Menší hlučnost
- Možnost vyhřívání kabinu vozidla
- Stejněměrné a účinné ochlazování všech částí motoru

**Nevýhody:**

- Složitá konstrukce
- Velké nároky na údržbu
- Zvyšuje hmotnost vozidel



### 3 TEPELNÁ BILANCE

Teplená bilance je rozdíl mezi přivedeným a odvedeným teplem v daném systému. Pro práci motoru se využívá pouze část přivedeného tepla palivem. Zbytek této energie se ztrácí v celém mechanismu. [10]

Teplnou bilance lze vyjádřit: [10]

$$Q_p = Q_e + Q_{chl} + Q_v + Q_{ns} + Q_s + Q_m [W] \quad (3.1)$$

Kde:

$Q_p$  ... teplo přivedené v palivu

$Q_e$  ... efektivní práce motoru

$Q_{chl}$  ... teplo odvedené chlazením

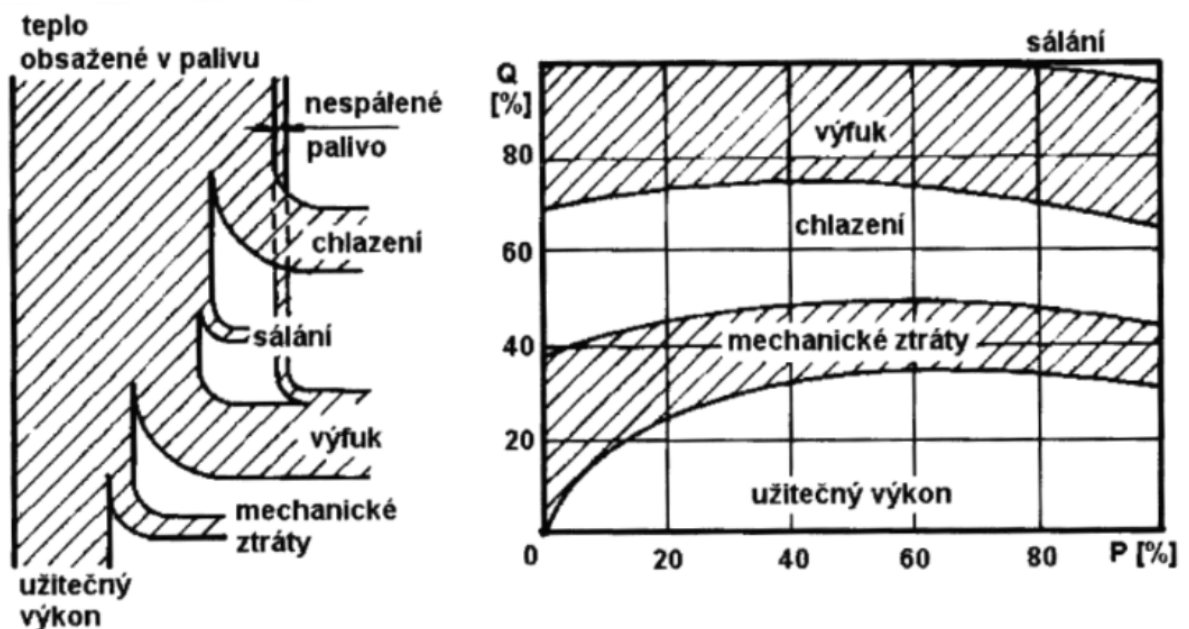
$Q_v$  ... teplo odvedené výfukem

$Q_{ns}$  ... teplo ztracené špatným spálením paliva

$Q_s$  ... teplo ztracené sáláním povrchu

$Q_m$  ... teplo ztracené mechanickými ztrátami

Teplné ztráty výfukem a chlazením jsou pro spalovací motory velmi nezbytné pro jejich správnou funkci. I tak musíme tyto dvě a zbylé ztráty stále snižovat pro největší efektivitu motoru. [10]



Obrázek 3-1 – Grafické zobrazení tepelná bilance spalovacího motoru [1]

**Výpočet tepelných ztrát:****Teplo přivedené v palivu**

Celá energie dodána do motoru se vyjádří pomocí vztahu: [20]

$$Q_p = Q_m * Q_i \text{ [W]} \quad (3.2)$$

Kde:

$Q_m$  ... hmotnostní průtok paliva [kg/s]

$Q_i$  ... výhřevnost paliva [J/kg]

**Teplo odvedené chlazením**

Teplo se stanoví z hmotnostního průtoku, rozdílu teplot chladící kapaliny a měrné tepelné kapacity chladící kapaliny. [20]

$$Q_{chl} = Q_{mv} * c_v * (t_2 - t_1) \text{ [W]} \quad (3.3)$$

Kde:

$Q_{mv}$  ... hmotnostní průtok chladící kapaliny [kg/s]

$C_v$  ... měrná tepelná kapacita chladící kapaliny [kJ/kg\*K]

$t_2$ ... výstupní teplota chladící kapaliny [K]

$t_1$ ... vstupní teplota chladící kapaliny [K]

**Teplo odvedené výfukem**

Stanovuje se z tepelné bilance ze vstupu média do pracovního prostoru a jeho výstupu do výfuku. [20]

$$Q_v = Q_{sp} * c_{sp} * (t_{sp-out}) \text{ [W]} \quad (3.4)$$

Kde:

$Q_{sp}$  ... hmotnostní průtok spalin z motoru [kg/s]

$C_{sp}$  ... měrná tepelná kapacita spalin [kJ/kg\*K]

$t_{sp-out}$ ... teplota spalin vycházejících z motoru [K]

**Teplo odvedené povrchem**

Přenos tepla mezi tekutinou (vzduchem) a pevným povrchem při jejich přímém styku se nazývá přestup tepla. Pro určení tepelného toku se používá jednoduchý výpočtový vzorec, tzv. Newtonova rovnice, podle které platí: [24]

$$Q_s = \alpha * S * (t_s - t_t) \text{ [W]} \quad (3.5)$$

Kde:

$\alpha$  ... součinitel přestupu tepla [W/m<sup>2</sup>\*K]

$S$  ... teplosměnná plocha [m<sup>2</sup>]

$t_s$ ... teplota stěny [K]

$t_t$ ... teplota tekutiny [K]

Zbylé ztráty se měří za pomoci teplotních senzorů. Pokud by nebyla možnost využití měřidel lze teplo ztracené špatným spálením paliva vypočítat pomocí Mendělejeva vztahu pro výhřevnost paliva. [10,20]

Vybrané ztráty jsou uvedeny na Obrázku 4-2.

| Dílčí tepla                               |             | Zážehový motor |     | Vznětový motor |     |
|---|-------------|----------------|-----|----------------|-----|
| Teplo ekvivalentní vykonané práci         |             | 32%            |     | 45%            |     |
| Teplo odvedené chlazením                  | Při hoření  | 6%             | 28% | 9%             | 25% |
|   | Při expanzi | 7%             |     | 7%             |     |
|   | Při výfuku  | 15%            |     | 9%             |     |
| Teplo odvedené výfukovými plyny a zářením |             | 40%            |     | 30%            |     |

Obrázek 3-2 – Tepelná bilance zážehového a vznětového motoru [10]

## 4 MĚŘENÍ POTŘEBNÝCH VELIČIN

### 4.1 Teplota

Jedná se skoro o nejčastěji měřenou fyzikální veličinu. Bez možnosti měření teplot by docházelo k výrobě vadných součástí nebo možné přehřátí strojů s následným poškozením. Může být považována za jednu z nejpodstatnějších veličin využívanou v technice. Teplota nám říká, jestli daná látka bude či nebude schopna přijímat nebo odevzdávat teplo. [17,18]

Měření teploty provádíme za pomoci termodynamické teplotní stupnice. Ta nám udává počátek v absolutní nule. Vyhodnocuje se základní jednotkou SI, kelvin (K). Další jednotkou teploty je stupeň Celsia (°C), který se využívá v běžné praxi. Přepočítání mezi jednotkami je  $1 \text{ K} = 1 \text{ °C}$ , kde největším rozdílem je právě hodnota absolutní nuly kde platí  $273,16 \text{ K} = 0 \text{ °C}$ . Zde se nacházíme v trojném bodu vody, kdy můžeme najít vodu ve všech třech skupenstvích. [18]

#### Rozdělení měřidel teploty povrchu:

- **Kontaktní měřidla**

Měřidla se dotýkají s měřeným objektem. Mohou být připevněna přímo na povrch nebo v drážkách. Důležité je, aby měřený objekt nijak chemicky nereagoval s měřidlem, a tak neznemožňoval přesné měření. [17]

- **Bezkontaktní měřidla**

Patří sem optické a infračervené pyrometry. Pracují na principu vyhodnocení, kolik množství energie se vyzáří z povrchu tělesa. Objekty o určité teplotě vyzařují danou vlnovou délku infračerveného záření. [17]

Pro měření v rámci mé bakalářské práce budu využívat pouze kontaktní měřidla, proto zde nebudou zmíněny rozsáhlejší informace o měřidlech bezkontaktních.

#### Kontaktní měřidla

- **Odporové kovové senzory**

Jsou založeny na teplotní závislosti elektrického odporu kovů nebo polovodičů. Přesněji řečeno atomy krystalické mřížky kovu s rostoucí teplotou mají větší amplitudu svých kmitů a tím kladou odpor v průchodu elektronů. Senzory fungují stabilně na čase a ve velkém rozsahu teplot. Kovové senzory mohou být platinové, niklové, měděné nebo ze speciálních slitin. Každý druh se využívá v různých teplotách a s možností nejlepšího využití. [17,18]



Obrázek 4-1-Platinové čidlo [17]

- **Odporové polovodičové senzory (termistory)**

Závisí na elektrickém odporu materiálu s teplotním vlivem v závislosti koncentrace volných nosičů náboje na teplotě. Absence kovových prvků způsobuje malý teplotní rozsah s větší nestabilitou. Největší plus je jejich citlivost. Existují negistory (NTC), pozistory (PTC). Využívají se v chemickém nebo vzduchotechnickém průmyslu. [17,18]



Obrázek 4-2- Termistor sonda [17]

- **Termoelektrické senzory (termočláanky)**

Pracují za pomoci Seebeckova jevu. Tedy na jevu přeměny tepelné energie na elektrickou. Spojením dvou vodičů z různých materiálů do jednoho bodu, kdy se na volném konci vytváří elektrické napětí. Jsou to aktivní senzory generující malá elektrická napětí. Vynikají velmi malými rozměry a velkým teplotním rozsahem. Dělí se do skupin podle použitých dvojic kovů. Mohou být využity k měření velkých rozdílů v různých prostředích. Termočláanky jsou vždy napojeny na teploměr, který ukazuje měřenou teplotu (Obrázek 6-3). [17,18]



Obrázek 4-3-Termočláanek [17]

## 4.2 Průtok

- **Hmotnostní průtok**

Udává přesnou hmotnost tekutiny, co proteče za jednotku času (kg/s). Hmotnostní průtok můžeme změřit pomocí Coriolisova principu nebo za využití teplotních hmotnostních průtokoměrů. Může být i vypočítán nepřímo z objemového průtoku a hustoty tekutiny proudící v potrubí. [19]

$$\dot{m} = Q_v * \rho [kg/s] \quad (4.1)$$

Kde:

$Q_v$  ... Objemový průtok [ $m^3/s$ ]

$\rho$  ... Hustota tekutiny [ $kg/m^3$ ]

- **Objemový průtok**

Objemový průtok udává objem proudící tekutiny v potrubí za jednotku času ( $m^3/s$ ). Získáváme ho buď to měřením rozdílů tlaků anebo výpočtem rychlosti proudění tekutiny o známém průřezu v potrubí. Toho lze využít pouze za předpokladu, že trubice je celá zaplněná kapalnou, a to není vždy pravda. Během měření je důležité dělat korekci objemového průtoku při změně teploty a tlaku. U plynů a par se tyto korekce provádí pokaždé kvůli stlačitelnosti média. [19]

$$Q_v = v * S [m^3/s] \quad (4.2)$$

Kde:

$Q_v$  ... Objemový průtok [ $m^3/s$ ]

$v$  ... Rychlost proudění tekutiny [ $m/s$ ]

$S$  ... Plocha průřezu potrubí [ $m^2$ ]

### Metody měření průtoku:

- **Měření rozdílu tlaku**

Fungují za pomoci Bernoulliho rovnice, která vyjadřuje zákon zachování energie v tekutinách. Ten říká, že při stejných podmínkách klesá tlak v tekutině a zvyšuje se její rychlost proudění. Toho dosáhneme vložením překážky do potrubí. Začne nám růst rychlost proudění a statický tlak klesá. Rozdíl tlaků před a za překážkou je úměrný druhé mocnině rychlosti proudění. Překážky mohou být různých tvarů. Používají se měřidla jako clona, Venturiho trubice nebo Prandtlova trubice. [19]

$$v = k * \sqrt{2 * \frac{\Delta p}{\rho}} [m/s] \quad (4.3)$$

Kde:

$k$  ... Konstanta určující vlastnosti průtokoměru [-]

$\Delta p$  ... Diferenční tlak [Pa]

$\rho$  ... Hustota tekutiny [ $kg/m^3$ ]

- **Měření rychlostí proudění tekutiny**

Objemový průtok získáme pomocí rovnice **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..** Z průtokoměru d ostáváme lineární signál. Průtokoměry máme turbínové, vírové, elektromagnetické nebo ultrazvukové. Každý jeden pracuje na jiném principu. [19]

- **Měření objemového průtoku**

Měří objem tekutiny oddělením tekutiny do měřících komor s určitým objemem. Vynásobením objemu měřící komory počtem postupně naplněných komor dostaneme celkový objem tekutiny, která protekla potrubím za určitý čas. Na průtokoměru můžeme nalézt informace o celkovém proteklém objemu nebo počty naplnění měřících komor. Průtokoměry se liší velikostí komor, tvarem komor nebo také uložením lopatek. Používáme bubnové průtokoměry nebo průtokoměry s kroužkovým pístem. Doporučuje se použití u kapalin, které nejsou nijak znečištěné. [19]

- **Měření hmotnostního průtoku**

Nepřímo můžeme hmotnostní průtok zjistit pomocí vztahu (3.1). Pro přímé změření máme Coriolisův a Teplotní hmotnostní průtokoměr. Coriolisův průtokoměr je velmi přesný kvůli jeho nezávislosti na tlaku, teplotě a viskozitě. Tepelný průtokoměr zachází se závislostí tepla zdroje a okolí (proudící tekutina) a dělí na termoanemometry (elektricky vyhřívaná sonda) a kalorimetrické průtokoměry. [19]

### 4.3 Otáčky

#### Kontaktní měření otáček

Měření kontaktními měřidly funguje při kontaktu snímače a měřeného objektu. Existují mechanické otáčkoměry, které pomalu upadají v oblibě kvůli svým pohyblivým částem a nahrazují je otáčkoměry s elektrickým výstupním signálem. [22]

#### Mechanické otáčkoměry

- **Odstředivý otáčkoměr**

Pracuje na principu odstředivé síly při otáčení tělesa dané hmotnosti. Vhodný pro rozsah 30 – 12 000 ot/min. [22]

- **Rezonanční otáčkoměr**

Využívá rezonančních vlastností mechanických rezonátorů představované řadou na jedné straně vetknutých ocelových nosníků naladěných na rezonanční kmitání. [22]

- **Hydraulický otáčkoměr**

Běží za pomoci měření frekvence otáčení působením účinků odstředivých sil při rotaci kapaliny. Podle výšky hladiny kapaliny při rotaci se určí příslušné otáčky. Pracují v rozsahu 20 – 10 000 ot/min. [22]

- **Stejnoseměrné tachodynamo**

V magnetickém poli permanentního magnetu nebo elektromagnetu se otáčí kotva s vinutím. Konce vinutí jsou vyvedené na komutátor, odkud se pomocí sběrných kartáčků snímá napětí U. Pro svou optimální funkci vyžaduje minimální zatěžování. Výhodou je velká citlivost, vysoký výstupní signál a rozpoznání směru otáčení. [22]

- **Střídavý asynchronní tachogenerátor**

Nemá komutátor, výstupní signál je napětí se střídavým průběhem. Vyrábějí se buď s klecovou kotvou nebo s bubínkovým rotorem. Asynchronní tachogenerátory lze použít až do 8000 ot/min, velikost výstupního signálu se pohybuje mezi 10 V až 100 V. Výhodou je vysoká linearita lepší než  $\pm 0,1 \%$  a malé zvlnění, nevýhodou je parazitní vliv teploty [22]

Pro měření v rámci mé bakalářské práce budu využívat pouze kontaktní měřidla s využitím nepřímé metody měření za využití vibračního senzoru, proto zde nebudou zmíněna rozsáhlejší informace o měřidlech bezkontaktních.

### 4.4 Emise

Během měření emisí se odebírají výfukové plyny do analytického systému, kde se měří celkový objem a koncentrace jednotlivých škodlivých látek. Měřeno je množství oxidu uhelnatého (CO), oxidu

uhlíčitého ( $\text{CO}_2$ ), uhlovodíků (HC), oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ), metanu ( $\text{CH}_4$ ), počet pevných částic (PN) a hmotnost pevných částic (PM). [23]

### **Analyzátory spalin**

Používají se analyzátory spalin s elektrochemickými senzory, jejichž výhodou jsou malé rozměry a nízká spotřeba energie. Každý analyzátor obsahuje kontaktní komponent neboli odběrovou sondu. Ta se umísťuje přímo do výfukového systému, a proto musí odolávat velkým teplotám spalin a případným nečistotám. Sondy dále měří i teplotu spalin, která může sloužit k výpočtu tepelné ztráty výfukem. Odběrové sondy jsou rozdělovány podle určitých požadavků na měření a také podle parametrů jako jsou délka trubice a hadice nebo teplotní odolnosti. [23]

U analyzátorů spalin s elektrochemickými senzory je naprostou nutností jímka kondenzátu, protože kondenzát může senzory nenávratně poškodit. Vlastní jímka se umísťuje za odběrovou sondu, buď přímo na hadici sondy, nebo až po vstupu do analyzátoru spalin. Kvůli malým rozměrům cesty plynu v odběrové hadici je kladen důraz na filtrování odebíraného vzorku spalin od různých částic, prachu a sazí. Filtry se umísťují přímo do odběrové sondy na vstupu a výstupu jímky kondenzátu. Pomocí čerpadel mohou být vzorky odebírány i z mírně podtlakových prostor. [23]

Každý analyzátor spalin obsahuje elektrochemické senzory, které pracují na principu iontové selektivní potenciometrie. Senzory jsou naplněny roztokem elektrolytu, do kterého jsou ponořeny dvě elektrody, na které je přivedeno elektrické napětí. Senzory jsou spojeny s okolím membránou, která je průchozí pro plyny. Základní vlastností elektrochemických sensorů je jejich daná životnost. Navíc mají některé senzory tzv. křížovou citlivost nejen na danou složku, ale reagují také na jiné složky plynu, což způsobuje ovlivnění výsledné hodnoty. Tento efekt je nutné kompenzovat, aby bylo možné získat spolehlivé a správné hodnoty koncentrací. Jako příklad se může použít senzor oxidu uhelnatého ( $\text{CO}$ ), který má křížovou citlivost vodík ( $\text{H}_2$ ). Zde jsou kladeny jiné nároky na přístroje určené pro servis plynových zařízení a pro úřední měření kde je podmínkou příslušných zákonů a prováděcích vyhlášek. [23]



## 5 SPECIFIKACE MOTORU PRO STAND

### Škoda Favorit 136

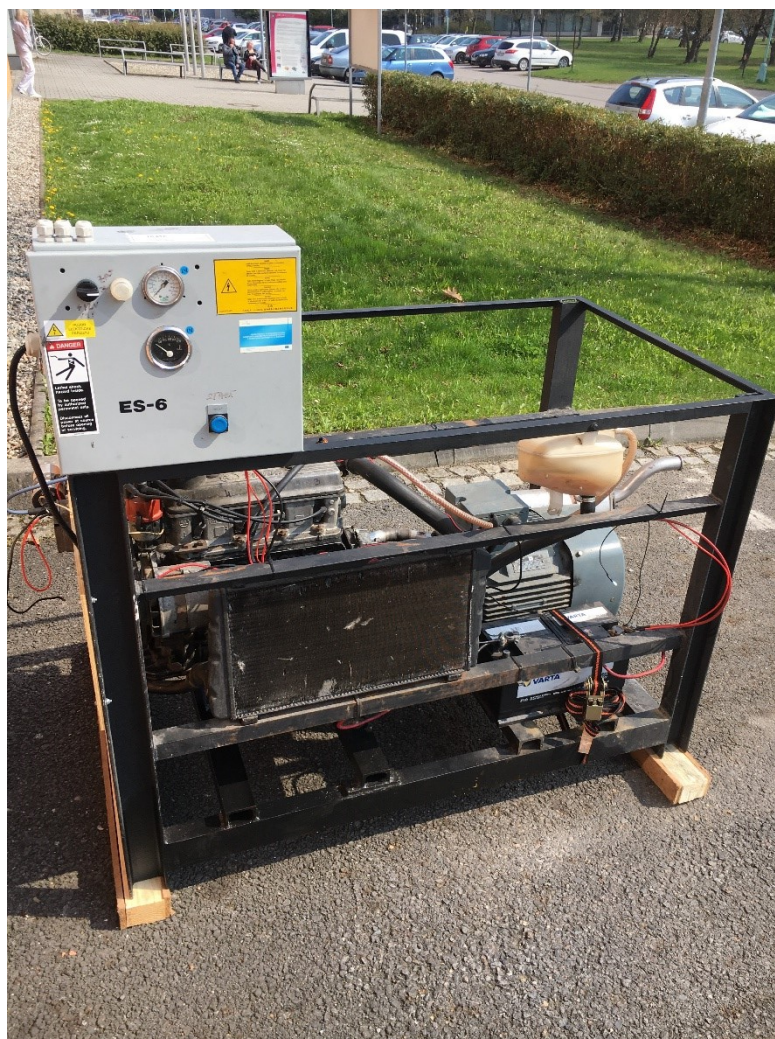
Škoda Favorit byl osobní automobil nižší střední třídy, vyráběný automobilovou značkou Škoda mezi roky 1988 až 1995. Poprvé byl představen roku 1987 v Brně na strojírenském veletrhu. [21]

Vždy se jednalo o benzínové čtyřválcové s objemem 1.3 litru, jejichž výkon se pohyboval v rozpětí 40 až 50 kW, tedy cca 54 až 68 koní. Motor přitom vycházel z letité konstrukce a stále pracoval s rozvodem OHV, na tu dobu již poměrně zastaralým způsobem. Nejvýkonnější jednotka s označením Š 781.136 X pak nabízela 105 Nm točivého momentu, akceleraci z 0 na 100 km/h a maximální rychlost 150 km/h. [21]

Tabulka 5-1- Motor Š 781.136

|                        |                                   |
|------------------------|-----------------------------------|
| Počet válců            | 4                                 |
| Zdvihový objem         | 1289 cm <sup>3</sup>              |
| Vrtání                 | 75,5 mm                           |
| Zdvih                  | 72 mm                             |
| Počet ventilů          | 8                                 |
| Maximální výkon        | 63 kW při 5000 ot/min             |
| Největší točivý moment | 100 Nm při 3000 ot/min            |
| Kompresní poměr        | 9,7:1                             |
| Příprava směsi         | Karburátor s automatickým sytičem |
| Rozvody                | OHV                               |
| Palivo                 | benzín                            |

Motor je uložen v ocelové kleci vybavený elektrickým generátorem. Momentálně je generátor odpojen a motor spíše funguje jako zkušební zařízení pro různé druhy paliv. Do budoucna je možná renovace celého zařízení. Viz Obrázek 5.1



Obrázek 5-1 – Měřicí stand [Autor]

## 6 POUŽITÁ MĚŘIDLA

Pro měření v mé bakalářské práci jsem využil těchto měřidel.

### **Omega Leaf Surface Temperature Probe – 88L40K (Viz. Obrázek 6.-1)**

Jedná se o termočlánek s listovým zakončením. Je schopný měřit v rozmezí 0 °C - 300 °C s odezvou do 5 sekund. Přesnost termočláneku je  $\pm 2$  °C. Byl navržen pro měření okamžité teploty na plochém povrchu. Termočlánek typu K je kompatibilní se všemi standardními digitálními teploměry. Díky své flexibilní konstrukci je vhodný pro těžko přístupná místa. [25]

Kvůli lepší ovladatelnosti jsem využil pro většinu mého měření právě termočlánek 88L40K (Obrázek 6-1). Při měření teplot na povrchu motoru hrozilo popálení o zahřátý motor, kde jsem díky dlouhému madlu ovládal termočlánek bez možnosti popálení.



*Obrázek 6-1 – Termočlánek 88L40K [Autor]*

### **Termočlánek 88000 série – 88012K (Viz. Obrázek 6-2)**

Sondy ze série 88000 jsou konstruovány na ruční měření povrchových teplot. Vyrábí se v mnoha provedení a také jako typ K nebo typ E. Lze využívat do 760 °C. Schopný měřit povrchy nacházející se v klidu, v pohybu a i rotující. [26]



Obrázek 6-2 – Sonda 88012K [Autor]

**Voltcraft PL- 120 T1 teploměr (Viz. Obrázek 6-3)**

Odolný teploměr s pouzrdem z měkké gumy pro tepelná čidla typu K a J. Vybaven podsvíceným displejem a ergonomicky uspořádanými tlačítky pro snadné ovládání. Vhodný pro všechny tepelná čidla typu K a J s miniaturní termoelektrickou zástrčkou. Schopný měřit v jednotkách °C, °F a K. Rozsah teploměru je -200 °C až 1372 °C. [27]



Obrázek 6-3 – Teploměr Voltcraft PL – 120 [Autor]

**Brain Bee AGS – 200** (Obrázek 6-4, 6-5, 6-6)

Infraanalyzátor výfukových plynů Brain Bee AGS-200 pro benzínové motory, měření CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, součinitel Lambda, otáčky a teplota, test lambda sond a katalyzátoru, komfortní ovládání pomocí počítače, napájení 12 V DC (11–15 V DC), automatická kontrola hodnoty průtoku výfukových plynů, automatická funkce nulování a odvodu kondenzátu. [28]



Obrázek 6-4- Analyzátor výfukových plynů AGS-200 [Autor]



Obrázek 6-5 -Odběrová sonda [Autor]



Obrázek 6-6- Kontaktní otáčkoměr Brain Bee [Autor]

## 7 METODIKA MĚŘENÍ

Z důvodů možnosti různých postupů při měření může dojít k chybám ve vyhodnocování výsledků. Je nutné stanovit daný postup, který se bude u každého měření dodržovat a zamezí se možnost výskytu chyb.

Před každým měřením je potřebné si vytvořit vhodnou tabulku pro zapisování hledaných hodnot.

- **Vytažení motoru**

Kvůli tvořícím se spalinám je nemožné provádět měření v uzavřeném prostoru. Proto je vhodné motor vyvézt na otevřený prostor.

- **Kontrola paliva, oleje, chladící kapaliny**

Před začátkem měření je nutné doplnit všechnu důležité kapaliny pro správný a bezpečný chod motoru.

- **Očištění měřících ploch**

Před měřením je důležité si vytipovat místa pro měření povrchové teploty. Tato místa mohou být zanesena nečistotami jako je prach nebo povrchová koroze, která mohou mít vliv na špatné měření teploty.

- **Nastartování a zahřátí motoru**

Měření je nutné provádět na zcela zahřátém a připraveném motoru. Doba, než se motor zahřeje na provozní teplotu se pohybuje okolo 5 minut.

- **Příprava měřidel**

Během toho, co se motor zahřívá, je vhodné si připravit všechna měřidla. Zjistit, zda fungují a jestli je nutná výměna baterie, určitého prvku měřidla nebo celého měřidla.

- **Měření a ustálení otáček**

Všechny měřené hodnoty je potřebná vztahovat k daným otáčkám. Pomocí otáčkoměru dostaneme otáčky motoru a můžeme je dále navýšovat/snižovat dle potřeby.

- **Měření povrchové teploty motoru**

Po zahřátí motoru začneme přikládat termočlánek na vytipovaná místa. Při měření je nutné ustálit termočlánek na měřeném místě po dobu několika sekund pro co nejpřesnější měření.

- **Měření obsahu a teploty spalin**

Sonda zasunuta do výfukového systému zaznamenává data o obsahu a teplotě spalin společně se součinitelem lambda do počítače.

- **Vychlazení motoru**

Jakmile se naměří všechny hledané hodnoty je vhodné motor nechat ochladit.

- **Uschování motoru**

Po ukončení měření a vychlazení motoru se motor uschová zpět do vnitřních prostor.

Všechna měření je vhodné provádět nejméně třikrát s určitým časovým rozestupem. Naměřená data je vhodné podrobit statistické analýze. Potvrdí to správnost a shodnost měření a odloučí se odlehlé výsledky.

## 8 STANOVENÍ ZTRÁTY SÁLÁNÍM POVRCHEM MOTORU

Při určení tepla odvedeného sáláním z motoru jsem vycházel z rovnice (3.1) pro stanovení tepelné bilance.

$$Q_p = Q_e + Q_{chl} + Q_v + Q_{ns} + Q_s + Q_{mech} [W] \quad (8.1)$$

Ze začátku bylo nejdůležitější si stanovit teplo přivedené palivem a vzduchem z rovnice (4.2). Citelné teplo přivedené vzduchem a citelné teplo paliva jsem se rozhodl nezanedbat právě proto, že v porovnání se zbylými položkami budou jejich hodnoty minimální.

$$Q_{pal} = m_B * (Q_i^r + C_{pal} * T_{pal}) + V_{vzd-min} * c_{vz} * T_{vz} [W] \quad (8.2)$$

Pro výpočet bylo nutné si dopočítat hmotnostní průtok paliva a minimální hmotností množství vzduchu. Měrnou tepelnou kapacitu paliva i vzduchu při 20 °C jsem dohledal v tabulkách.

Abych dostal výsledky hmotných průtoků, musel jsem počítat spotřebu kyslíku na spálení jednoho kilogramu paliva. Palivo byl benzín složený z C= 86 %, H= 14 %, S= 0 %. [31]

$$V_{O_2} = 22.1 * \left[ \frac{C}{12} + \frac{1}{4} * \left( H_2 - \frac{O_2}{2} \right) + \frac{S}{32} \right] \quad (8.3)$$

$$V_{O_2} = 22.1 * \left[ \frac{0,86}{12} + \frac{1}{4} * \left( 0,14 - \frac{0}{2} \right) + \frac{0}{32} \right] = 2,389 \frac{m^3}{kg}$$

Jelikož pro spalování nepoužívám jen čistý kyslík, bylo potřeba zjistit kolik je minimální potřeba vzduchu pro spálení jednoho kilogramu paliva.

$$V_{vzd-min} = \frac{V_{O_2}}{0,21} = \frac{2,389}{0,21} = 11,37 \frac{m^3}{kg_{pal}} \quad (8.4)$$

Nyní jsem mohl vypočítat teoretické množství nasávaného paliva na jeden válec motoru. Do pracovního válce lze naplnit jen daný objem směsi paliva a vzduchu, který je roven zdvihovému objemu válce  $V_z$ . Objem vzduchu  $V_{vzd-min}$  musí odpovídat potřebnému množství plynného paliva vzduchu ke spálení 1 kg nebo 1 m<sup>3</sup> kapalného paliva, při požadovaném přebytku vzduchu  $\alpha$ . Teplotu  $T_1 = 291,15$  K (18 °C) a tlak  $P_1 = 98\,300$  Pa v daném čase jsem zjistil z Hydrometeorologického ústavu v Ostravě, který se nachází blízko místa, kde bylo realizováno měření (porubský areál VŠB).

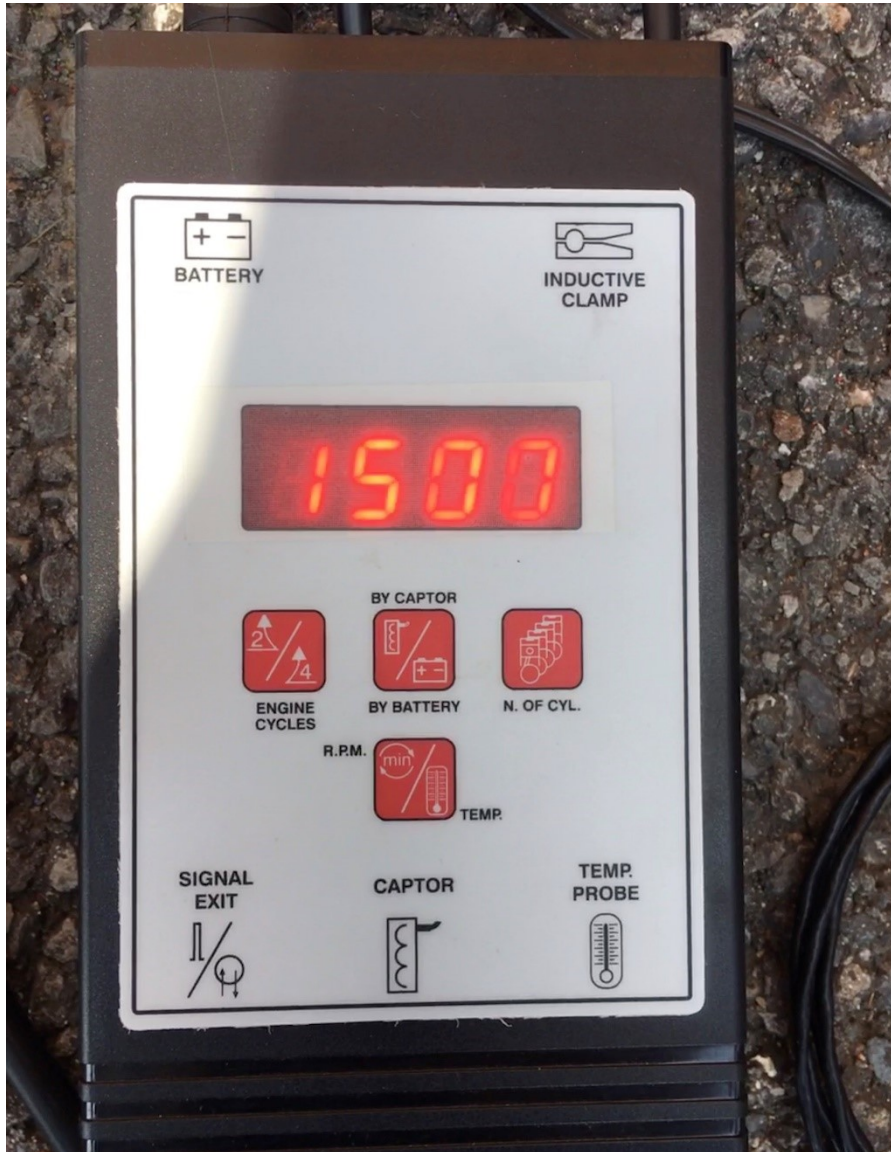
$$m_B = \frac{V_z}{\alpha * V_{vzd-min}} * \frac{P_1 * T_N}{P_N * T_1} \quad (8.5)$$

$$m_B = \frac{3,22 * 10^{-4}}{1,077 * 11,37} * \frac{98\,300 * 273,15}{101,325 * 291,15}$$

$$m_B = 2,4 * 10^{-5} \frac{kg_{pal}}{cyklus}$$



Dále jsem vypočítal spotřebu paliva pro celý motor při určitých otáčkách. Otáčky jsem měřil otáčkoměrem v sestavě Brain Bee AGS-200. Do výpočtu jsem dosadil  $n = 1500$  ot/min i přes to, že se otáčky pohybovaly v rozmezí  $n=1500 \pm 30$  ot/min. Otáčky musí být poloviční, protože 4 taktní motor musí udělat 2 otáčky na jeden cyklus.



Obrázek 8-1 – Naměřené otáčky [Autor]

$$m_{B-c} = m_B * i * \frac{n}{2} = 2,4 * 10^{-5} * 4 * \frac{25}{2} \quad (8.6)$$

$$m_{B-c} = 1,2 * 10^{-3} \frac{kg_{pal}}{s}$$

Zde jsem si vyzkoušel výpočet tepla přivedeného čistě palivem bez započítání citelného tepla vzduchu a paliva.

$$Q_{pal} = m_B * Q_p^i = 0,0012 * 43,6 * 10^6 = 52\,320\,W \quad (8.7)$$

$$\cong 52,3kW$$

Pro porovnání jsem dopočítal i citelná tepla paliva a vzduchu. Abych mohl dopočítat teplo přivedené z rovnice (8.2) musel jsem ještě množství přivedeného vzduchu přepočítat pro danou

hmotnost paliva, která je přiváděna. Zde stačilo pouze množství vzduchu vynásobit hustotou vzduchu. Jednotkami jsem si ověřil, že počítám správně.

$$V_{vzd-min} = 11,37 * \rho = 11,37 * 1,204 = 13,69 \frac{kg_{vzd}}{kg_{pal}} \quad (8.8)$$

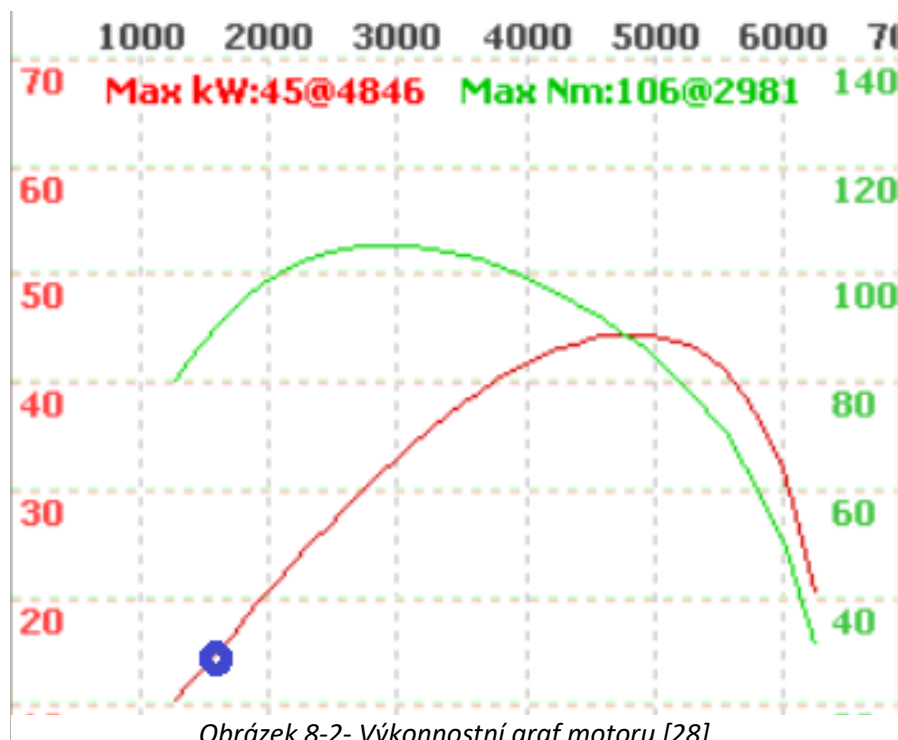
$$\begin{aligned} V_{vz-pal} &= V_{vzd-min} * m_B = 13,69 * 1,2 * 10^{-3} \\ &= 0,016 \frac{kg_{vz}}{s} \end{aligned} \quad (8.9)$$

Po dosazení hodnot do rovnice (8.2).

$$\begin{aligned} Q_{pal} &= m_B * (Q_i^r + C_{pal} * T_{pal}) + V_{vzd-min} * c_{vz} * T_{vz} \\ Q_{pal} &= 1,2 * 10^{-3} * (43,6 * 10^6 + 2090 * 293,15) + 0,016 * 1010 * 291,15 = 57\,757,78\,W \\ &\cong 57,8\,kW \end{aligned}$$

Citelné teplo paliva a vzduchu mi dodalo do celkového tepla 5,5 kW výkonu. Ani jeden výsledek přivedeného tepla nejde považovat za přesný z důvodu teoretického výpočtu. Pro nejpřesnější výsledky by bylo nutné použít průtokoměr na měření průtoku paliva, tepelného čidla v sacím kanále v blízkosti ventilu pro přesnou teplotu vzduchu.

Počítal jsem s výsledkem  $Q_{pal} = 57,8\,kW$ . Teoreticky by se teplo přivedené mělo rozdělit do tří třetin pro ztrátu výfukem, ztrátu chladičem a efektivní výkon. To odpovídá  $Q = 17,4\,kW$  pro každou složku. Porovnal jsem odhadovaný výkon s grafem vytvořeným v programu Daves AnaDyno 2.1.6, kde byl vytvořen výkonnostní graf (Obrázek 8-2). Měření probíhalo při 1500 ot/min, a to odpovídá 17kW výkonu.



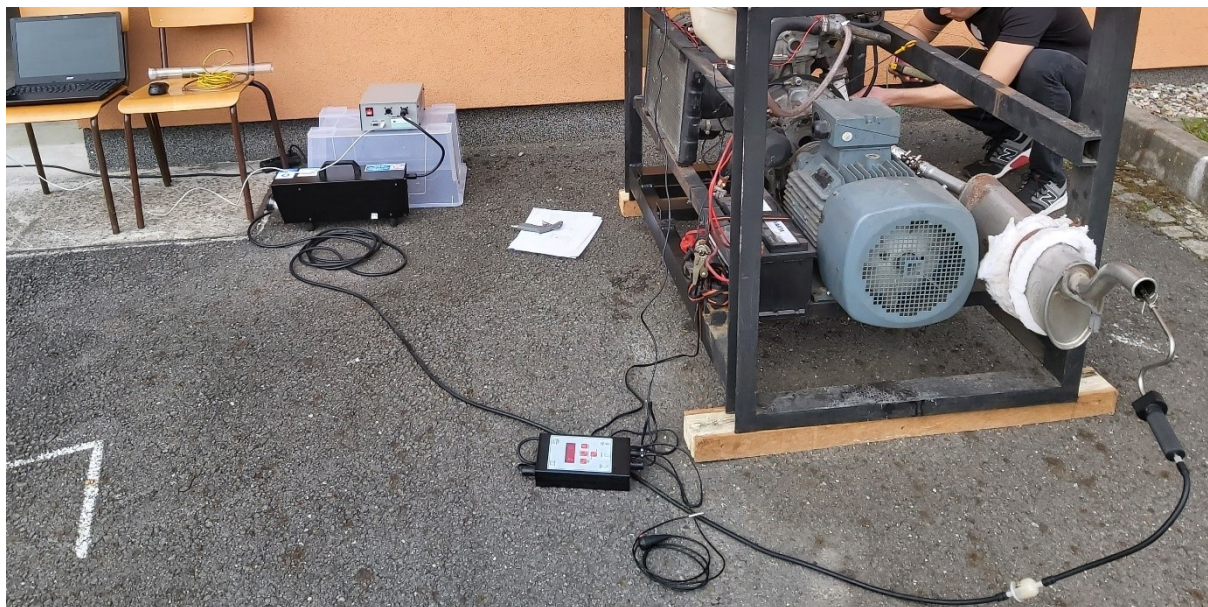
Obrázek 8-2- Výkonnostní graf motoru [28]

### Ztráta výfukem

Nyní jsem mohl začít počítat zbylé ztráty, ze kterých jsem nakonec stanovil tepelnou ztrátu povrchem motoru. Pokračoval jsem výpočtem tepelných ztrát výfukem, kde bylo nutné zjistit složení a teplotu spalin pro konečný výpočet z rovnice (8.9). Průtok spalin jsem musel dopočítat.

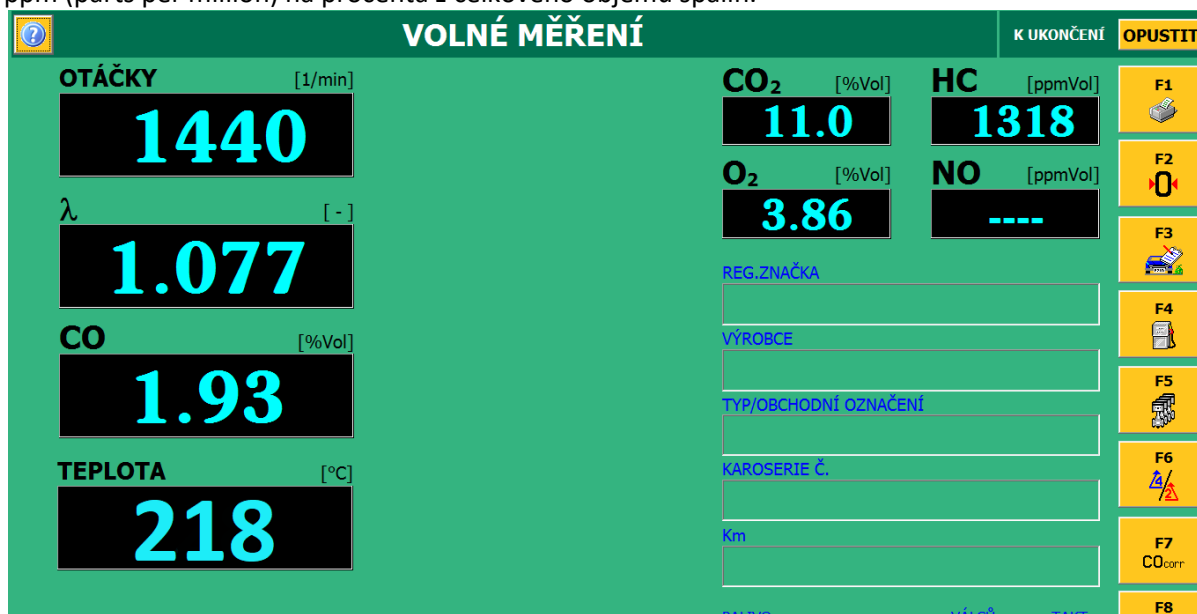
$$Q_v = V_{spal, cykl}^v * C_{v, spal} * \Delta T_{spal} [W] \quad (8.10)$$

Využil jsem měřící soustavu Brain Bee AGS-200. Analyzátor výfukových plynů jsem zapojil do počítače kde se zobrazovaly naměřené hodnoty z výfukové sondy. (Obrázek 8.2)



Obrázek 8-3 – Měření složení a teploty spalin [Autor]

Skrz chybu během měření se mi nepovedlo vyhodnotit celkový obsah oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>). U těch jsem musel později odhadnout jejich množství. Dále bylo nutné převést uhlovodíky (HC) z jednotek ppm (parts per million) na procenta z celkového objemu spalin.



Obrázek 8-4 – Výsledky měření spalin [Autor]

Nejdříve jsem přepočtl ppm na %

$$HC = \frac{1318}{10\,000} = 0,1318\% \quad (8.11)$$

Dále jsem dopočítal zbylé složení spalín.

$$\begin{aligned} 100 &= CO + CO_2 + O_2 + HC + N_{ox} + H_2O & (8.12) \\ 100 &= 1,93 + 11 + 3,86 + 0,1318 + N_{ox} + H_2O \\ N_{ox} + H_2O &= 83,07 \\ N_{ox} &= 72,7\% \\ H_2O &= 11\% \end{aligned}$$

Obsah vody ve spalínách jsem musel odhadnout. Přesné složení oxidů dusíku neznám, proto budu počítat, že hlavní obsažený prvek je oxid dusičitý ( $NO_2$ ). Abych dosáhl přesných výsledků, musel bych pracovat s měřidlem schopným měřit oxidy dusíku. Potom bych nemusel odhadovat ani jednu hodnotu odhadovat pomocí literatury.

Pro výpočet měrné tepelné kapacity spalín bylo nutné sečíst koncentraci spalín s násobkem jejich výhřevnosti. Výhřevnost bylo nutné hledat při dané teplotě spalín.

$$\begin{aligned} C_{v,spal} &= C_{CO} * CO + C_{CO_2} * CO_2 + C_{O_2} * O_2 + C_{H_2O} * H_2O + C_{NO_2} & (8.13) \\ &\quad * NO_2 + C_{HC} * HC \\ C_{v,spal} &= 1,307 * 0,0193 + 1,817 * 0,11 + 1,310 * 0,0386 + 1,519 \\ &\quad * 0,11 + 1,31 * 0,727 + 1,29 * 1,318 * 10^{-3} \\ &= 1,532 \frac{kJ}{m^3 * K} \end{aligned}$$

Abych mohl zjistit skutečné množství spalín vycházejících z motoru, bylo potřeba nejdříve vypočítat teoretické množství spalín vlhkých, které získám součtem teoretických spalín suchých a vody ve spalínách.

Teoretické Množství suchých spalín

$$\begin{aligned} V_{sp,t}^s &= V_{CO_2} + V_{N_2} & (8.14) \\ V_{sp,t}^s &= \left( \frac{CO}{100} + \frac{CO_2}{100} \right) + \frac{N_2}{100} + 0,79 * V_{vz-min} \\ V_{sp,t}^s &= \left( \frac{1,93}{100} + \frac{11}{100} \right) + \frac{72,7}{100} + 0,79 * 11,37 = 9,82 \frac{m^3}{kg} \end{aligned}$$

Teoretické množství spalín vlhkých dostanu přidáním 11% vody k spalínám suchým.

$$V_{sp,t}^v = V_{sp,t}^s * V_{H_2O} = 9,82 * 1,11 = 10,9 \frac{m^3}{kg} \quad (8.15)$$

Skutečné množství spalin vlhkých

$$V_{spal}^v = m_B * [V_{sp,t}^v + (\alpha - 1) * V_{vzd-min}] \quad (8.16)$$

$$V_{spal}^v = 1,2 * 10^{-3} [10,9 + (1,077 - 1) * 11,37] = 0,014 \frac{m_{spal}^3}{s}$$

Teplu odvedené výfukem

$$Q_v = V_{spal,cykl}^v * C_{v,spal} * T_{spal-out} \quad (8.17)$$

$$Q_v = 0,0141 * 1,532 * 10^3 * (491) = 10\,629,2 \text{ W} \cong 10,6 \text{ kW}$$

Výsledek 10,6 kW nedosahuje teoretických 30 % z celkového tepla, ale pouhých 20 %. Je tedy zřejmé, že měření neprobíhalo zcela správně. K dosažení přesnějšího měření by bylo potřeba zajistit analyzátor výfukových plynů s přesným měřením průtoku a složení spalin.

**Ztráta chladičem**

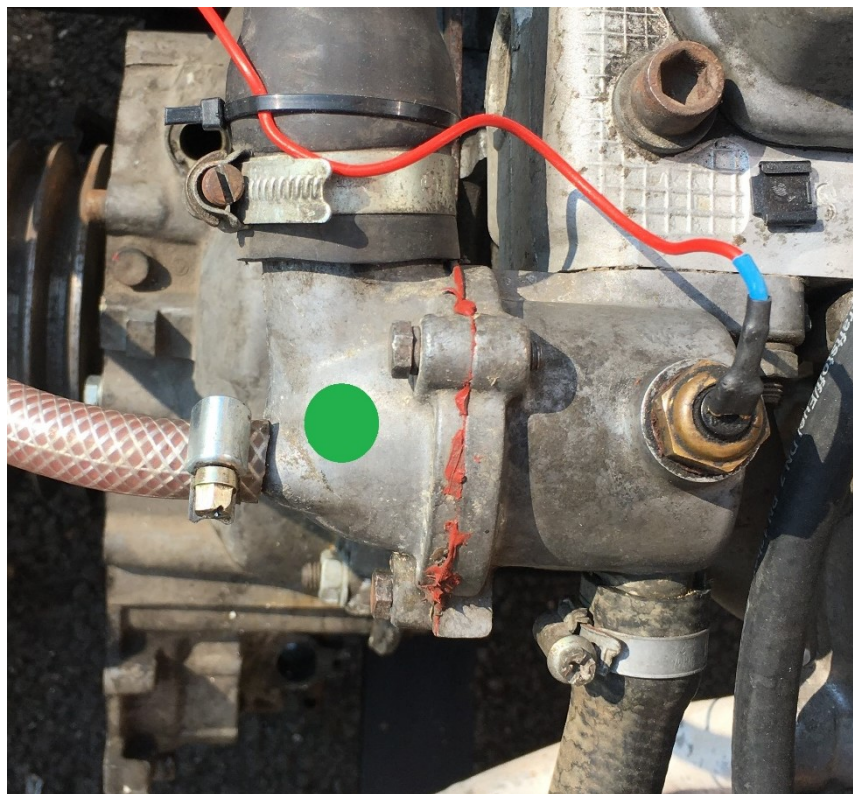
$$Q_{ch} = V_{ch} * C_{v,voda} * \Delta T_{vody} \quad (8.18)$$

Zde jsem narazil na problém se stanovením měrného průtoku chladicí kapaliny chladičem. Sehnat ultrazvukový průtokoměr v době mého měření nebylo možné, a i kdyby byl k dispozici, tak na motoru není potrubí, na které by se dal naistalovat skrze potřebu rovného úseku pro měření průtoku. Snažil jsem se kontaktovat Škoda Muzeum, zda by byli ochotni mi poskytnout potřebné informace, bohužel však bezvýsledně. Dále jsem tedy zkusil kontaktovat různé prodejce náhradních dílů a Škoda fórum kde jsem taktéž žádnou odpověď nedostal. Musel jsem se tedy pokusit měrný průtok vypočítat za pomoci obecně udávaných údajů průtoku pro maximální otáčky „Chladicí kapaliny bývá obvykle čtyř až šestinásobek zdvihového objemu motoru a oběhne chladicí soustavou 10 x až 15 x za minutu“. [13]

$$V_{ch} = \frac{V_z * 5 * 10}{60} = \frac{0,001289 * 5 * 10}{60} = 1,074 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} \quad (8.19)$$

$$V_{ch} \cong 1,074 \frac{l}{s}$$

Teplotu chladicí kapaliny jsem měřil na výstupu a vstupu (označené zeleným bodem) do motoru pomocí termočlánku 88L40K (Obrázek 8-5,8-6).



Obrázek 8-5 – Místo měření teploty před chladičem [Autor]

Teplota naměřená před chladičem se rovná  $T_1 = 75,6\text{ }^\circ\text{C}$  a za chladičem  $T_2 = 38,3\text{ }^\circ\text{C}$ . Dohledal jsem tedy měrnou tepelnou kapacitu vody při  $37\text{ }^\circ\text{C}$  a dosadil do rovnice (8.18).



Obrázek 8-6 – Místo měření teploty za chladičem [Autor]

Ještě než jsem začal počítat bylo potřeba převést měrný průtok do kapaliny na hmotnostní, aby mi odpovídala jednotková kontrola.

$$\dot{m}_{ch} = 0,038 * \rho = 1,074 * 10^{-3} * 1000 \quad (8.20)$$

$$\dot{m}_{ch} = 1,074 \frac{kg_{kap}}{s}$$

$$Q_{ch} = \dot{m}_{ch} * C_{v,voda} * \Delta T_{vody} = 1,074 * 4175 * (348 - 311) = 165\,906,15 \text{ W} \cong 165,9 \text{ kW}$$

Při měření teplot kapaliny před a za chladičem (Obrázek 8-5, 8-6) mohlo dojít k ovlivnění teploty na povrchu místa měření samotným teplem z motoru. Zkusil jsem tedy dosadit menší hodnoty teploty kapaliny. V rovnici (8.19) jsem vypočítal teoretický měrný průtok kapaliny pro maximální otáčky motoru, které by se měli pohybovat okolo 6000 ot/min. Má měření jsem prováděl při 1500 ot/min, což je pouhá čtvrtina. Zkusil jsem tyto odhadované hodnoty znovu dosadit do rovnice (8.18).

$$Q_{ch} = \dot{m}_{ch} * C_{v,voda} * \Delta T_{vody} = \frac{1,074}{4} * 4175 * (15) = 16\,814,8 \text{ W} \cong 16,8 \text{ kW}$$

Po dosazení upravených hodnot jsem došel k dobrému výsledku, který se pohybuje okolo 30 % z celkového příkonu z paliva. Abych však mohl dojít k přesnému výsledku bez teoretického odhadování je by nutné osadit chladicí systém průtokoměrem a tepelnými čidly pro dosažení přesných hodnot.

V poslední řadě jsem zkusil do tepelné bilance započítat tepelnou ztrátu nedopalem paliva. Tepelná ztráta chemickým nedopalem ve spalínách  $Q_n$  se určí z nespálených objemových podílů spalín  $\omega_{sp}$  ve výfuku a výhřevnosti jednotlivých nespálených složek spalín  $Q_{sp}$ .

$$Q_n = V_{spal}^v * \sum \omega_{sp} * Q_{sp} = 0,014 * 0,0193 * 126\,400 \quad (8.21)$$

$$= 34,15 \text{ W}$$

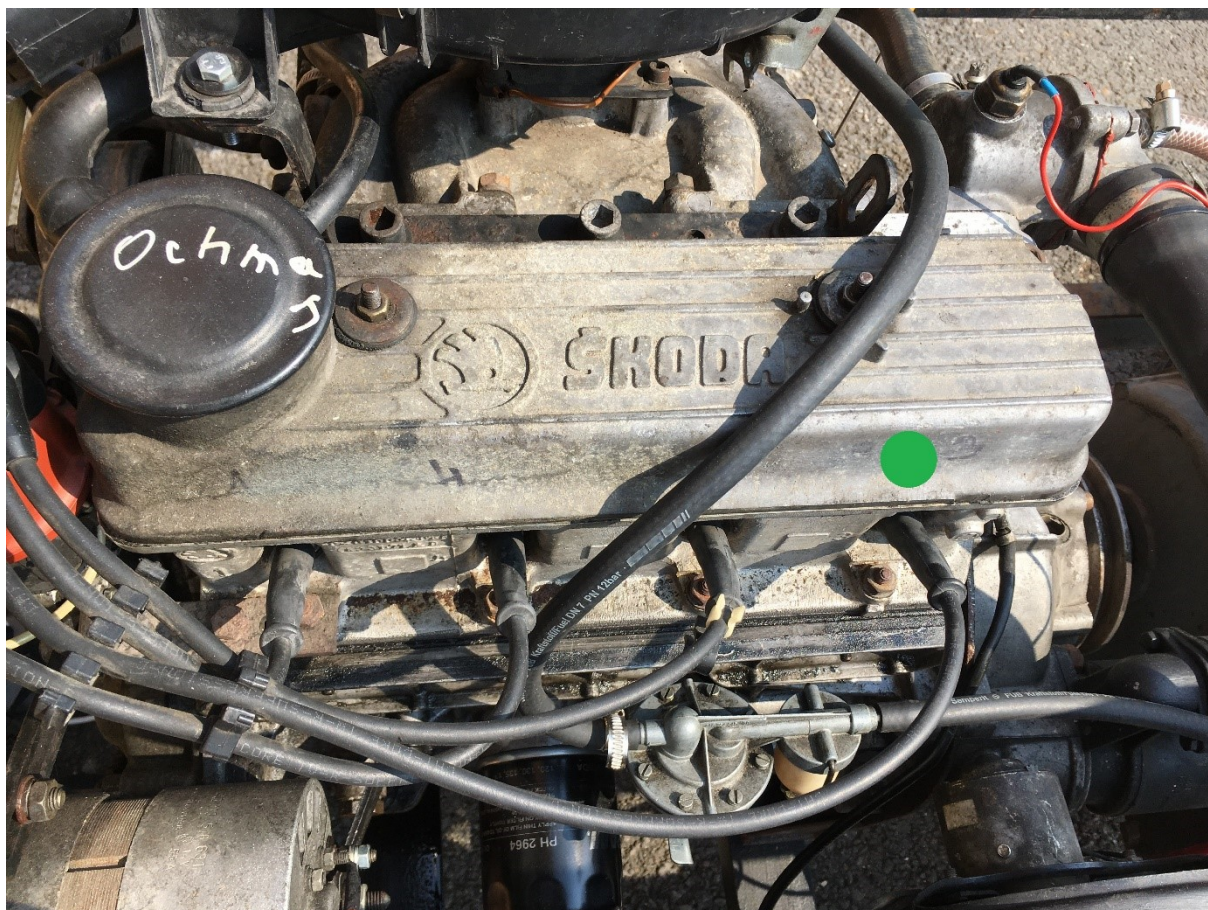
Výsledek 34 W je zanedbatelný a nepočítal jsem s ním ve zbylém výpočtu tepelné bilance.

### Tepelná ztráta povrchem

Pokusil jsem se vypočítat čistě ztrátu sáláním volnou konvekcí z rovnice (4.5). Zjednodušil jsem výpočet tepelné ztráty povrchem motoru na řešení za využití konvekce. V praxi se však řeší problémy ztráty tepla konvekcí a sáláním, kdy se tepelné toky sčítají. Během měření jsem si vytipoval celkově tři místa. Olejovou vanu (Obrázek 8-8), hlavy válců (obrázek 8-7) a blok motoru (Obrázek 8-9), na kterých jsem měřil povrchovou teplotu (označená místa jsou pouze orientační). Tato měření jsem třikrát opakoval v různých časových rozestupech a udělal aritmetický průměr ze všech hodnot kde mi vyšla průměrná teplota stěny  $t_s=49,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Teplota okolí během měření byla  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tabulka 2 – Naměřené povrchové teploty

| Měření č.    | 1       | 2       | 3       |
|--------------|---------|---------|---------|
| Olejová vana | 42,7 °C | 45,4 °C | 41,7 °C |
| Blok motoru  | 63,1 °C | 64,1 °C | 60,3 °C |
| Hlava válce  | 42,5 °C | 44,5 °C | 43,2 °C |

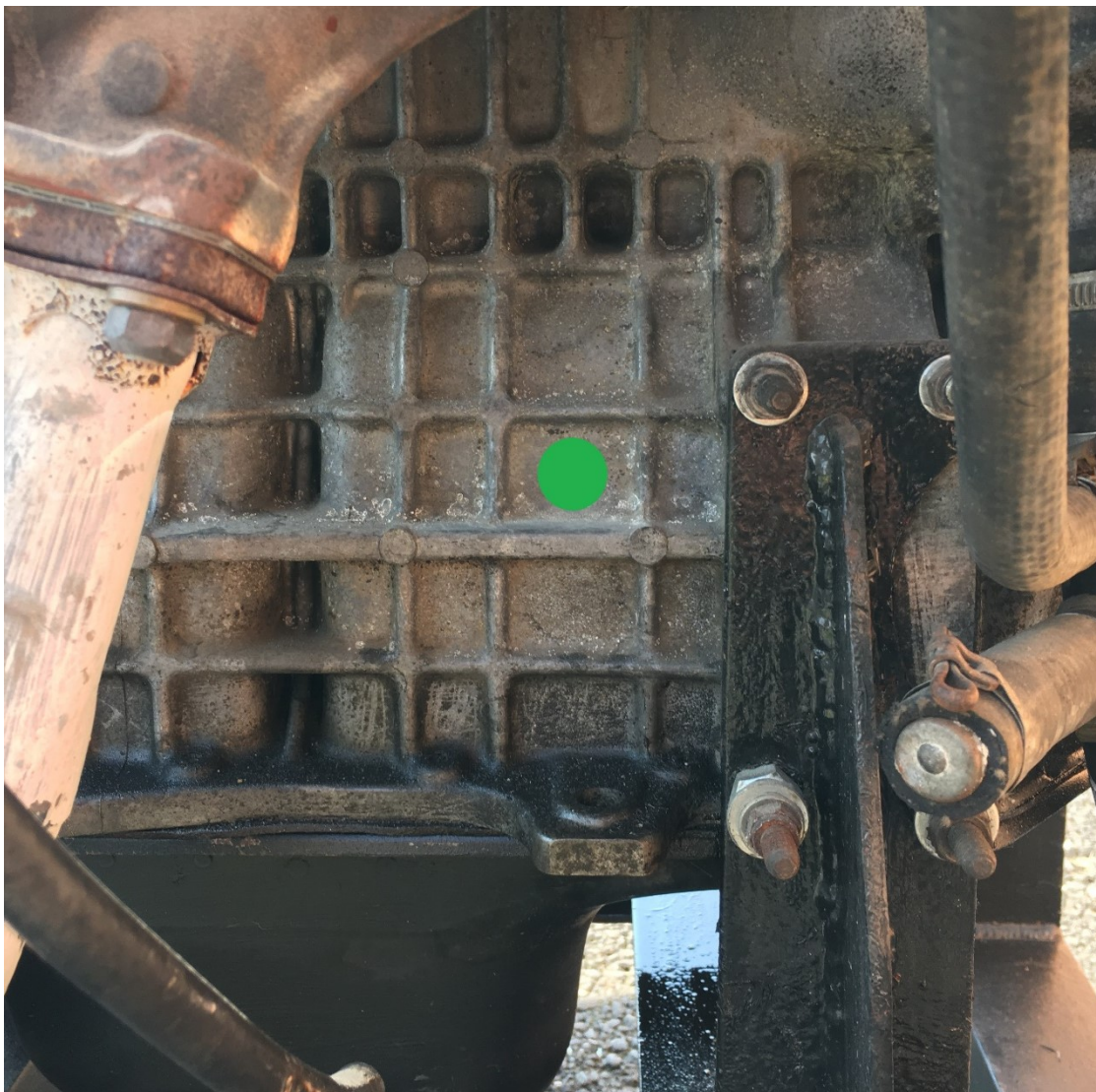


Obrázek 8-7 – Měřené místo na hlavě válce [Autor]



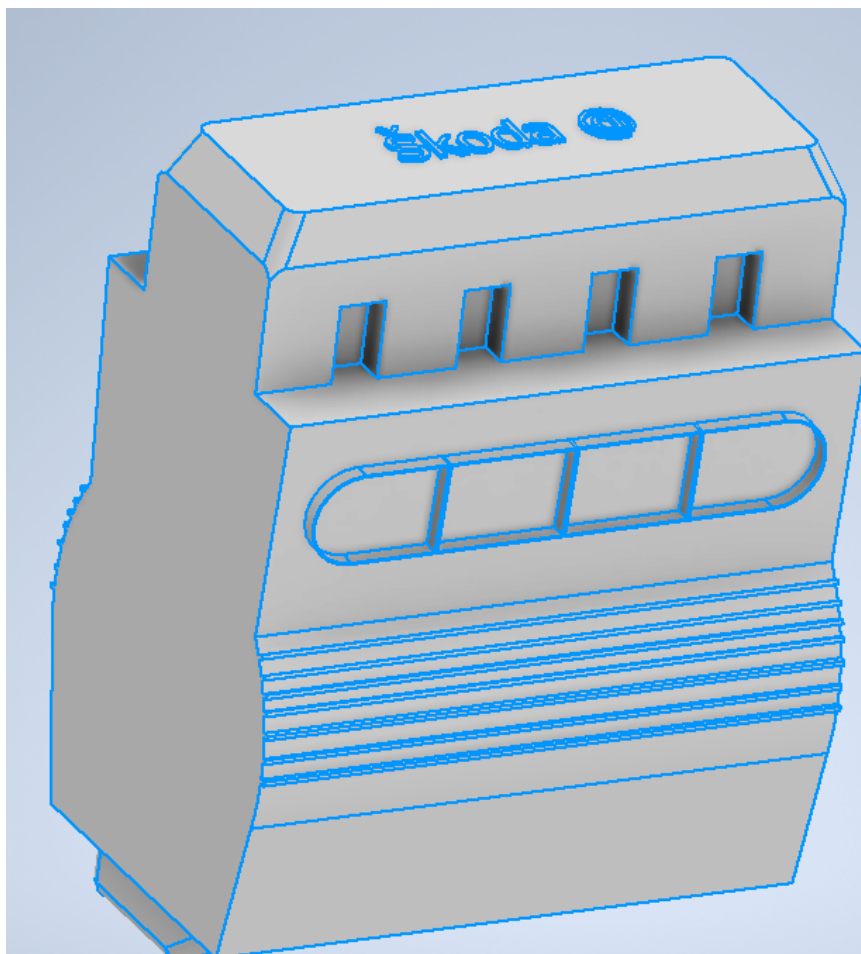
Obrázek 8-8 -Měřené místo na olejové vaně [Autor]





*Obrázek 8-9 – Měřené místo na bloku motoru [Autor]*

Po naměření teplot jsem musel dopočítat součinitel přestupu tepla  $\alpha$  a celou plochu motoru. Plochu motoru jsem získal vytvořením zjednodušeného modelu motoru v modelovacím programu Autodesk Inventor, který mi vypočítal plochu motoru  $S = 0,79 \text{ m}^2$ .



Obrázek 8-10 - Model motoru [Autor]

Součinitel přestupu tepla jsem vyjádřil z Nusseltova kritéria.

$$Nu = \frac{\alpha * L}{\lambda} \Rightarrow \alpha = \frac{Nu * \lambda}{L} \quad (8.22)$$

Zde bylo nutné najít hodnotu pro samotné Nusseltovo kritérium. Vypočítal jsem tedy Prandtlovo a Grashofovo kritérium (Obrázek 8-11).

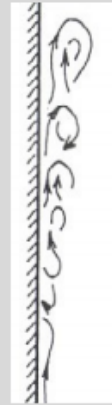
## Sdílení tepla konvekcí

### Základní kritériální rovnice

|   |  |
|---|--|
| Nusseltovo kritérium: $Nu = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda}$ | Archimédovo kritérium: $Ar = \frac{g \cdot L^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho - \rho_0}{\rho}$ |
| Reynoldsovo kritérium: $Re = \frac{w \cdot L}{\nu}$         | Galileovo kritérium: $Ga = \frac{g \cdot L^3}{\nu^2}$                                    |
| Prandtlovo kritérium: $Pr = \frac{\nu}{a}$                  | Grashofovo kritérium: $Gr = \frac{g \cdot L^3}{\nu^2} \cdot \gamma \cdot \Delta t$       |

### Volná konvekce

|  |  |                            |
|--|--|----------------------------|
| <b>Volná konvekce v neomezeném prostoru: <math>Nu = c (Gr \cdot Pr)^n</math></b> |  |                            |
| kde $\underline{c}$ a $\underline{n}$ :  | $Gr \cdot Pr < 1 \cdot 10^{-3}$                | $c = 0,45 \quad n = 0$     |
|  | $1 \cdot 10^{-3} < Gr \cdot Pr < 5 \cdot 10^2$ | $c = 1,18 \quad n = 0,125$ |
|  | $5 \cdot 10^2 < Gr \cdot Pr < 2 \cdot 10^7$    | $c = 0,54 \quad n = 0,25$  |
|  | $2 \cdot 10^7 < Gr \cdot Pr$                   | $c = 0,135 \quad n = 1/3$  |
| U desek obrácených teplou stranou nahoru zvětšit $c$ o 30 %.                     |  |                            |
| U desek obrácených teplou stranou dolů zmenšit $c$ o 30 %.                       |  |                            |
| Určovací teplotou je aritmetický střed mezi teplotou stěny a teplotou tekutiny.  |  |                            |
| Charakteristický rozměr:   |  |                            |
|  | pro svislé stěny a svislé trubky               | - výška ( $L = h$ )        |
|  | pro vodorovné válcové stěny                    | - průměr ( $L = d$ )       |
|  | pro vodorovné desky                            | - kratší strana            |



Obrázek 8-11 - Kritériální rovnice [24]

Všechny proudící hodnoty pro proudící tekutinu (vzduch) jsem našel v tabulce. [32]

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\frac{n}{\rho}}{\frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}} = \frac{15,11}{2,56} = 7183,4 \quad (8.23)$$

Kde:

$\nu$  ... Kinematická viskozita tekutiny [ $m^2/s$ ]

$a$  ... Teplotní vodivost tekutiny [ $m^2/s$ ]

$n$  ... Dynamická viskozita tekutiny [ $Pa \cdot s$ ]

$\rho$  ... Hustota tekutiny [ $kg/m^3$ ]

$\lambda$  ... Tepelná vodivost tekutiny [ $W/m \cdot K$ ]

$c_p$  ... Měrná tepelná kapacita tekutiny [ $J/kg \cdot K$ ]

$$Gr = \frac{g * L^3}{\nu^2} * \gamma * \Delta T \quad (8.24)$$

$$Gr = \frac{9,81 * 0,46^3}{12,539^2} * \frac{1}{\frac{322,57 + 291,15}{2}} * (322,57 - 291,15)$$

$$Gr = 6,21 * 10^{-4}$$

Kde:

g ... Tíhové zrychlení [m/s<sup>2</sup>]

L ... charakteristický rozměr tělesa [m]

ν ... Kinematická viskozita tekutiny [m<sup>2</sup>/s]

ΔT ... Rozdíl teplot stěny a okolí [K]

γ ... Součinitel teplotní objemové roztažnosti tekutiny

Vynásobil jsem Prandtlovo a Grashofovo kritérium a podle Obrázku 8-11 určil zbylé parametry (c,n).

$$Nu = c * (Gr * Pr)^n \quad (8.25)$$

$$Nu = 1,18 * (6,21 * 10^{-4} * 7183,4)^{0,125} = 1,42$$

Dopočetl jsem součinitel přestupu tepla z rovnice (8.22).

$$\alpha = \frac{Nu * \lambda}{L} = \frac{1,42 * 2,56}{0,46} = 7,79 \frac{W}{m^2 * K}$$

Nyní jsem mohl dopočítat tepelnou ztrátu z rovnice (4.5).

$$Q_s = \alpha * \Delta T * S = 7,73 * (322,57 - 291,15) * 0,791 = 196,75 W$$

Tepelná ztráta povrchem vyšla velmi malá, proto je možné ji ve stanovení tepelné bilance mohu zanedbat. Zde by pro dosažení přesnějšího výsledku bylo do budoucna vhodné využít program CoolProp nebo EES.

Finálním krokem všechny výsledky dosadím do počáteční rovnice (8.1).

$$Q_{mech} = Q_{pal} - (Q_v + Q_{ch} + Q_e)$$

$$Q_{mech} = 57,8 - (10,6 + 16,8 + 17,4)$$

$$Q_{mech} = 13 kW$$

Dále jsem je zkusil porovnat dosadit teoretických 30 % pro ztráty chladičem, výfukem a využitým výkonem.

$$Q_{mech} = Q_{pal} - (Q_v + Q_{ch} + Q_e)$$

$$Q_{mech} = 57,8 - (17,3 + 17,5 + 17,4)$$

$$Q_{mech} = 5,6 kW$$

Celkový návrh je bohužel z větší části pouhým odhad. Aby se zamezilo vzniku chyb při výpočtu, je potřeba upravit měření a celý měřicí stand. Vybavit ho potřebnými měřidly pro stanovení lepších výsledků a celkové tepelné bilance.

## 9 NÁVRH IMPLEMENTACE MĚŘÍČÍHO STANDU

Navrhuji pro budoucí stanovení tepelné bilance tyto úpravy.

### Palivový průtokoměr senzor

Měřením průtoku a teploty paliva se zpřesní stanovení přivedeného tepla v palivu i s přesným citelným teplem paliva. Jednalo by se o průtokoměr MGL Avionocs Fuel Flow sender (Obrázek 9-1). Jelikož je motor otevřený a nevznikají okolo něj velké teploty je možné využít levnějšího plastového průtokoměru. Aby se palivová hadička mohla bezpečně osadit průtokoměrem bude nutné vytvořit ustálenou palivovou nádrž, ta by byla osazena mechanickým ukazatelem paliva.



Obrázek 9-1 - Průtokoměr paliva [29]

### Průtokoměr chladící kapaliny

Během celé mé práce jsem nebyl schopen získat měrný průtok chladící kapaliny. Je tedy nejdůležitější osadit chladicí systém průtokoměrem pro stanovení měrného průtoku. Navrhuji Vortex průtokoměr LIQUI-VIEW Base (Obrázek 9-2). Schopný měřit do teploty 125 °C a měrného průtoku až 150 l/min. Může být vybaven displejem. []



Obrázek 9-2 - Průtokoměr chladící kapaliny [30]

**Teplotní čidla chladicí kapaliny**

Bylo by potřeba osadit chladicí systém čidlem pro měření teploty před i za chladičem pro přesný rozdíl teplot. Navrhuji pouze vyměnit stávající čidlo za nové funkční s tím, že kapalina se pohybuje v rozdílu 5-7 °C před a za chladičem. [13]

**Dynamometr**

Místo stávajícího elektrického generátoru je možné osadit motor dynamometrem pro měření přesného užitečného výkonu motoru.

**Snímače Nox**

Dále pro přesnější určení obsahu spalin je nutné naměřit obsah Noxů (oxidů dusíku) ve spalinách. Navrhuji snímač Nox 9817454580. Zde by bylo nutné použití výfukových svodů s místem pro lambda sondu. Pokud by nebyla možnost dodání nového výfuku dalo by se na starém výfuku vytvořit díra se závitem pro umístění snímače.

U všech mnou navržených změn je nutné získané informace někde sbírat. Byla by nutné vytvořit kabelová síť, která by tato data dodávala do počítače, kde by se mohla v nově vytvořeném programu prezentovat.

V celém standu jsou rozvody elektrické energie ve špatném stavu. Bylo by vhodné všechny rozvody renovovat kvůli možnosti možného poškození baterie.

Schéma návrhu zapojení implementace viz Příloha A.

## 10 ZÁVĚR

V teoretické části jsem popsal prvotní historii spalovacích motorů, která se rozvíjela od druhé poloviny 19. století a stále se vyvíjí do dnešní doby. Uvedl jsem rozdíly mezi spalovacími motory dvoudobými, čtyřdobými a Wankelovým motorem. Následně jsem se zabýval celým chladicím systémem spalovacího motoru, kde jsem popisoval funkci a důležitost každého komponentu pro správnou funkci motoru. Poukázal jsem na měření teploty, otáček, emisí a průtoku různými postupy a měřidly.

Vysvětlil jsem postup stanovení tepelné bilance spalovacího motoru, u které musí být dodržován zákon zachování energie, tedy součet všech energií vstupujících se musí rovnat energiím vystupujícím. Na to jsem poukázal Obrázkem 3-1 zobrazujícím Sankeyho diagram tepelné bilance.

Pro můj návrh stanovení tepelné bilance motoru jsem vytypoval měřící termočlánky Leaf Surface Temperature Probe – 88L40K, Termočlánek 88000 série – 88012K, teploměr Voltcraft PL- 120 T1 a sestavu analyzátoru výfukových plynů Brain Bee AGS – 200. Samotnými termočlánky jsem měřil povrchové teploty motoru pro stanovení tepelné ztráty povrchem motoru. Z důvodu poruchy tepelného čidla chladicí kapaliny jsem využil i termočlánek 88L40K k pokusu naměření teploty chladicí kapaliny v motoru. Výsledek nebyl velmi přesný a pro přesnější měření je nutné pořídit nové tepelné čidlo. Dále jsem v celém chladicím okruhu nebyl schopen určit měrný průtok kapaliny. Pokusil jsem se kontaktovat Škoda Muzeum, bohužel bez úspěchu. V poslední řadě bylo nutné naměřit průtok spalin, teplotu a složení spalin. Jedinou teplotu se mi podařilo přesně stanovit měřením, kdy u obsahu spalin kvůli nebylo možné zjistit celkový obsah oxidů dusíku a vodní páry ve spalin, které jsem nakonec musel odhadovat. Každé měření tedy probíhalo s určitými nedokonalostmi a chybami.

Při samotném teoretickém stanovení tepelné bilance jsem vycházel z naměřených hodnot. Hodnoty, které se mi nepodařilo naměřit jsem musel odhadovat. Za správný výsledek, od kterého jsem se mohl odrazit považuji teplo přivedené palivem. I s vynecháním citelného tepla paliva a vzduchu bylo možné potvrdit celkový výkon motoru na Obrázku 8-2. Při výpočtu ztrát výfukem a chladičem jsem uvedl výpočet z mnou naměřených hodnot pro ukázkou, jak velké nedostatky nastaly při celém měření. Abych mohl určit přesnou tepelnou bilanci musel jsem ztráty vypočítané nahradit ztrátami odhadovanými.

Do celkové tepelné bilance jsem se pokusil započítat můj návrh ztráty povrchem motoru, který jsem se pokusil vyřešit výpočtem volné konvekce z povrchu motoru. V mém postupu jsem výpočet zjednodušil na pouhou volnou konvekci, ale v praxi by bylo nutné řešit i celkové sálání povrchu.

Pro budoucí pokusy stanovení tepelné bilance jsem navrhl nová měřidla pro přesnější měření, díky kterým by se bylo možné vyvarovat chybám v mé práci. Jako nejdůležitější zlepšení považuji osazení chladicího systému průtokoměrem pro stanovení měrného průtoku. Zde bude ovšem nutné prodloužení trubice s chladicí kapalinou pro možné osazení a přesné měření. Všechny mé návrhy by bylo možné zoptimalizovat a měřené výsledky sbírat jako data na počítači.

V budoucnu je možné se prací znovu zabývat a pokusit se o její vylepšení s možností vytvoření perfektního měřícího standu, který může sloužit pro výuku.

## PODĚKOVÁNÍ

Zde bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Pavlíkovi, Ph.D. za všechnu pomoc a rady během mé celé práce společně s možností uskutečnit všechna potřebná měření v této nelehké době.



## 11 CITACE

- [1] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: Komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 2011. Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [2] REMEK, Branko. *Automobil a spalovací motor: Historický vývoj*. 2012. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-3538-2.
- [3] A brief history of the internal combustion engine. *Www.tuev-nord.de/explore/en/* [online]. Hannover: TÜV NORD GROUP, 2019 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://www.tuev-nord.de/explore/en/remembers/a-brief-history-of-the-internal-combustion-engine/>
- [4] STONE, Richard. *Introduction to internal combustion engines*. 3rd. London: MACMILIAN PRESS, 1999. ISBN 978-1-349-14916-2.
- [5] Proč downsizing motorů nepřináší kýženou úsporu paliva? Zůstalo jen u dobré myšlenky. *Autoforum.cz* [online]. Praha: Autoforum, 2021 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://www.autoforum.cz/technika/proc-downsizing-motoru-neprinasi-kyzenou-usporu-paliva-zustalo-jen-u-dobre-myslenky/>
- [6] Pomůžeme vám vyznat se v moderních pohonech. *Garaz.cz* [online]. Praha: Seznam.cz, a.s, 2019 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/pomuzeme-vam-vyznat-se-v-modernich-pohonech-21002303>
- [7] Motor budoucnosti je „diesel na benzin“. Jak funguje? A proč ho ještě nemáte? *Https://www.autoforum.cz/* [online]. Praha: Autoforum, 2016 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.autoforum.cz/technika/motor-budoucnosti-je-diesel-na-benzin-jak-funguje-a-proc-ho-jeste-nemate/>
- [8] Co je zážehový motor. *Kralmotoru.cz* [online]. Stochov: Kralmotoru, 2016 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://kralmotoru.cz/media/co-je-zazehovy-motor>
- [9] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [10] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80–238-8756-4.
- [11] 3 'alternative' internal-combustion engines. *Carmag.co.za* [online]. Cape town: CAR magazine, 2017 [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: <https://www.carmag.co.za/technical/technical/3-alternative-internal-combustion-engines/>
- [12] Jak funguje Wankelův motor? A proč musel skončit? Expert vše popsal na jeho modelu. *Autoforum.cz* [online]. Praha: Autoforum, 2018 [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: <https://www.autoforum.cz/technika/jak-funguje-wankeluv-motor-a-proc-musel-skoncit-expert-vse-popsal-na-jeho-modelu/>
- [13] *Technologie oprav 1* [online]. Nový Jičín: Střední škola technická a zemědělská, 2015 [cit. 2021-02-20]. ISBN 978-80-88058-23-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/Cover.html>
- [14] Motory a zase jen motory: jak je uchládit? *Tipcars.com* [online]. Frýdek-Místek: Tipcars.com, 2015 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://www.tipcars.com/magazin/nase-tema/motory-a-zase-jen-motory-jak-je-uchladit-4-dil.html>
- [15] Jak vytvořit hladký ventilátor ventilátoru ve WHA. Přídavný řídicí modul pro chladicí ventilátor. *Https://beasthackerz.ru* [online]. beasthackerz.ru, 2019 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://beasthackerz.ru/cs/audio/kak-sdelat-blok-plavnogo-upravleniya-ventilyatorom.html>

- [16] Cooling System Technology. <https://slideplayer.com> [online]. SlidePlayer.com, 2019 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://slideplayer.com/slide/15384244/>
- [17] Přehled principů el. měření teploty - 1. díl. <https://automatizace.hw.cz> [online]. Praha: HW server s.r.o, 2014 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil>
- [18] Teplota a její měření. <https://vytapeni.tzb-info.cz/> [online]. Praha: TZB-info, 2006 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/3115-teplota-a-jeji-mereni>
- [19] Měření průtoku tekutin - principy průtokoměrů. <http://www.elektrorevue.cz/> [online]. Brno: VUTBrno, 2001 [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: [http://www.elektrorevue.cz/clanky/01049/index.html#\\_Porovn%C3%A1n%C3%AD\\_jednotliv%C3%B Dch\\_pr%C5%AFtokom%C4%9Br%C5%AF](http://www.elektrorevue.cz/clanky/01049/index.html#_Porovn%C3%A1n%C3%AD_jednotliv%C3%B Dch_pr%C5%AFtokom%C4%9Br%C5%AF)
- [20] *Vliv režimu práce zážehového motoru na jeho tepelnou bilanci* [online]. Brno, 2017 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: [https://theses.cz/id/zd78mu/zaverecna\\_prace.pdf](https://theses.cz/id/zd78mu/zaverecna_prace.pdf). Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně.
- [21] Nejrychlejší Favorit byl Ferrari mezi Škodovkami. Kde je unikátnímu kousku konec? <https://autoroad.cz/> [online]. Praha: AutoRad.cz, 2018 [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://autoroad.cz/historie/93438-nejrychlejsi-favorit-byl-ferrari-mezi-skodovkami-kde-je-unikatnimu-kousku-konec>
- [22] *NÁVRH A REALIZACE BEZKONTAKTNÍHO OTÁČKOMĚŘU* [online]. Brno, 2008 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=10635](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=10635). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [23] Analýza spalín - Efektivní a bezpečné provádění měření na otopných zařízeních. [Topin.cz](http://www.topin.cz) [online]. Praha: Testo, s.r.o, 2017 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.topin.cz/clanky/analyza-spalin-efektivni-a-bezpecne-provadeni-mereni-na-otopnych-zarizenich-detail-2399>
- [24] *Základy sdílení tepla*. Druhé. Ostrava: Edice SPBI Spektrum, 2000. ISBN 80-902001-1-7.
- [25] Leaf Surface Temperature Probe - for Instant Measurement of Flat Surfaces. <https://www.omegaeng.cz> [online]. Karviná: OMEGA Engineering, 2018 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: [https://www.omegaeng.cz/pptst/88L40K\\_88L75K.html](https://www.omegaeng.cz/pptst/88L40K_88L75K.html)
- [26] Mnoho jedinečných sond pro povrchová měření s rychlou odezvou. <https://www.omegaeng.cz/> [online]. Karviná: OMEGA Engineering, 2016 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: [https://www.omegaeng.cz/pptst/88000\\_SURF\\_PROBES.html](https://www.omegaeng.cz/pptst/88000_SURF_PROBES.html)
- [27] INFRAANALYZÁTOR BRAIN BEE AGS-200 SESTAVA 01. <https://www.technology-garage.cz/> [online]. Praha: TECHNOLOGY-GARAGE spol. s r.o., 2018 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: [https://www.technology-garage.cz/infraanalyzator-brain-bee-ags-200-sestava-01\\_z2294/](https://www.technology-garage.cz/infraanalyzator-brain-bee-ags-200-sestava-01_z2294/)
- [28] Měření výkonu motoru. [Skoda.daves.cz](http://skoda.daves.cz) [online]. Praha: skoda.daves.cz, 2004 [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: [https://skoda.daves.cz/Mereni\\_vykonu\\_motoru\\_ve\\_vozu#\\_003~1~pid=350&art=350&i=350&limit\\_003=0](https://skoda.daves.cz/Mereni_vykonu_motoru_ve_vozu#_003~1~pid=350&art=350&i=350&limit_003=0)
- [30] Vortex průtokoměr LIQUI-VIEW Base. <https://www.dex.cz> [online]. Brno: DEX, 2018 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.dex.cz/produkt/liqui-view-base/#zalozka-prislušenství>
- [31] Elementární složení a výhřevnost kapalných paliv. <https://www.oleje.cz> [online]. Brno: EKOLUBE, 2018 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Dalsi-uzitecne-tabulky?phone=1>

- [32] Fyzikální hodnoty pro suchý vzduch při tlaku 100 kPa. *Https://www.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo, 2018 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/38-fyzikalni-hodnoty-pro-suchy-vzduch-pri-tlaku-100-kpa>

## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 2-1 – Schéma přeměny energie ve spalovacím motoru [1] .....               | 5  |
| Obrázek 2-2 – Princip funkce čtyřdobého motoru [1] .....                          | 9  |
| Obrázek 2-3 – Princip funkce dvoudobého motoru [1] .....                          | 10 |
| Obrázek 2-4 – Princip funkce Wankelova motoru [11] .....                          | 11 |
| Obrázek 2-5 – Motor chlazený vzduchem – náporové chlazení [13] .....              | 13 |
| Obrázek 2-6 - Chlazení vzduchem – nucené chlazení Tatra 930 – NA T 815 [13] ..... | 13 |
| Obrázek 2-7 - Gravitační chlazení [13] .....                                      | 14 |
| Obrázek 2-8 – Nucený oběh chlazení s termostatickým ventilem [13] .....           | 15 |
| Obrázek 2-9 – Motor chlazený kapalinou s nuceným oběhem [13] .....                | 15 |
| Obrázek 2-10 – Schéma čerpadla kapalin [13] .....                                 | 16 |
| Obrázek 2-11 – Ventilátor s trvalým pohonem [13] .....                            | 17 |
| Obrázek 2-12 - Konstrukce chladiče [16] .....                                     | 17 |
| Obrázek 2-13 - Funkce termostatu [13] .....                                       | 18 |
| Obrázek 3-1 – Grafické zobrazení tepelná bilance spalovacího motoru [1] .....     | 19 |
| Obrázek 3-2 – Tepelná bilance zážehového a vznětového motoru [10] .....           | 21 |
| Obrázek 4-1-Platinové čidlo [17] .....  | 22 |
| Obrázek 4-2- Termistor sonda [17] .....   | 23 |
| Obrázek 4-3-Termočlánek [17] .....  | 23 |
| Obrázek 5-1 – Měřicí stand [Autor] .....  | 28 |
| Obrázek 6-1 – Termočlánek 88L40K [Autor] .....                                    | 29 |
| Obrázek 6-2 – Sonda 88012K [Autor] .....  | 30 |
| Obrázek 6-3 – Teploměr Voltcraft PL – 120 [Autor] .....                           | 30 |
| Obrázek 6-4- Analyzátor výfukových plynů AGS-200 [Autor] .....                    | 31 |
| Obrázek 6-5 -Odběrová sonda [Autor] .....   | 32 |
| Obrázek 8-1 – Naměřené otáčky [Autor] .....                                       | 35 |
| Obrázek 8-2- Výkonnostní graf motoru [28] .....                                   | 36 |
| Obrázek 8-3 – Měření složení a teploty spalin [Autor] .....                       | 37 |
| Obrázek 8-4 – Výsledky měření spalin [Autor] .....                                | 37 |
| Obrázek 8-5 – Místo měření teploty před chladičem [Autor] .....                   | 40 |
| Obrázek 8-6 – Místo měření teploty za chladičem [Autor] .....                     | 40 |
| Obrázek 8-7 – Měřené místo na hlavě válce [Autor] .....                           | 42 |
| Obrázek 8-8 -Měřené místo na olejové vaně [Autor] .....                           | 42 |
| Obrázek 8-9 – Měřené místo na bloku motoru [Autor] .....                          | 43 |
| Obrázek 8-10 -Model motoru [Autor] .....  | 44 |
| Obrázek 8-11 - Kritériální rovnice [24] .....                                     | 45 |
| Obrázek 9-1 - Průtokoměr paliva [29] .....  | 47 |
| Obrázek 9-2 - Průtokoměr chladicí kapaliny [30] .....                             | 47 |

## 13 SEZNAM TABULEK

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 5-1- Motor Š 781.136.....           | 27 |
| Tabulka 2 – Naměřené povrchové teploty..... | 41 |

## 14 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Schéma zapojení implementace