



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Bakalářská práce

Diagnostika motorových vozidel pomocí termo- kamery

Autor práce: Jan Bürger DiS.

Vedoucí práce: Ing. Martin Filip

České Budějovice
2022

Prohlášení

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

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývala využitím termokamery v diagnostice automobilů. Termokamerou byly měřeny komponenty na třech automobilech a byly diagnostikovány podle postupů popsanych v metodice práce a porovnávaly se s očekávanými hodnotami.

Proběhlo dohromady pět měření, bylo kontrolováno žhavení na vznětovém motoru, dvouzónová klimatizace, podvozek, brzdy a zda funguje vstřikování v jednotlivých válcích zážehového motoru.

Výsledky ukázaly, že termokamera může být v některých případech nápomocná. Konkrétně ze zmíněných měření je využitelná termokamera u kontroly žhavení, dvouzónové klimatizace, podvozku a kontroly vstřikování.

Klíčová slova: Termokamera, termogram, diagnostika

Abstract

The bachelor's thesis dealt with the use of a thermal camera in car diagnostics. The thermal imager measured the components on three cars and diagnosed them according to the procedures described in the work methodology and compared them with the expected values.

A total of five measurements were made. The glow plugs on the diesel engine, the two-zone air conditioning, the chassis, the brakes, and the injection in the individual cylinders of the petrol engine was checked.

The results show that a thermal imager can be helpful in some cases. Specifically, the thermal imaging can be used for glow plug control, dual-zone air conditioning, chassis, and injection control.

Keywords: Thermal camera, thermogram, diagnostics.

Poděkování

Touto formou bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Martinu Filipovi za pomoc při vypracovávání práce a za cenné rady. Zároveň bych rád poděkoval své rodině za podporu při studiu.

Obsah

| | |
|--|----|
| Úvod..... | 8 |
| 1 Tepelné záření..... | 9 |
| 1.1 Teplo a teplota..... | 9 |
| 1.2 Termodynamická teplota..... | 9 |
| 1.3 Emisivita..... | 9 |
| 1.4 Planckův vyzařovací zákon..... | 10 |
| 1.5 Stefanův-Boltzmannův zákon..... | 11 |
| 1.6 Wienův posunovací zákon..... | 12 |
| 2 Základní principy záznamu záření ve snímačích..... | 14 |
| 2.1 Pyrometrie..... | 14 |
| 2.2 Senzory infračerveného záření..... | 14 |
| 2.2.1 Tepelné senzory..... | 14 |
| 2.2.2 Kvantové senzory..... | 14 |
| 2.3 Porovnání pyrometrů a termokamer..... | 15 |
| 2.4 Termokamery..... | 15 |
| 2.5 Konstrukce termokamery..... | 15 |
| 2.5.1 Optika..... | 16 |
| 2.5.2 Detektor..... | 16 |
| 2.5.3 Elektronika pro zpracování a prezentaci obrazu..... | 17 |
| 2.6 Parametry termokamery..... | 18 |
| 2.6.1 Teplotní rozsah..... | 18 |
| 2.6.2 Spektrální citlivost..... | 18 |
| 2.6.3 Přesnost stanovení teploty..... | 19 |
| 2.6.4 Teplotní citlivost..... | 19 |
| 2.6.5 Optické rozlišení, možnosti ostření a vyměnitelné objektivy..... | 20 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.6.6 | Doplňkové a nadstandardní funkce a vybavení | 20 |
| 2.7 | Bezpečnost..... | 20 |
| 3 | Metodika | 23 |
| 3.1 | Cíl měření | 23 |
| 3.2 | Měřicí přístroj..... | 23 |
| 3.3 | Měřené automobily..... | 25 |
| 3.3.1 | Peugeot 206..... | 25 |
| 3.3.2 | Citroën C2 | 26 |
| 3.3.3 | BMW E90 | 27 |
| 3.4 | Měření | 28 |
| 3.4.1 | Kontrola žhavicích svíček | 28 |
| 3.4.2 | Kontrola vstřikování..... | 30 |
| 3.4.3 | Kontrola dvouzónové klimatizace..... | 31 |
| 3.4.4 | Kontrola podvozku..... | 33 |
| 3.4.5 | Kontrola kotoučových brzd..... | 33 |
| 4 | Výsledky | 35 |
| 4.1 | Naměřené hodnoty při kontrole žhavicích svíček | 35 |
| 4.2 | Naměřené hodnoty při kontrole vstřikování..... | 39 |
| 4.3 | Naměřené hodnoty při kontrole dvouzónové klimatizace..... | 41 |
| 4.4 | Naměřené hodnoty při kontrole podvozku | 43 |
| 4.5 | Naměřené hodnoty při kontrole kotoučových brzd..... | 45 |
| 5 | Diskuse..... | 48 |
| 5.1 | Kontrola žhavicích svíček | 48 |
| 5.2 | Kontrola vstřikování..... | 48 |
| 5.3 | Kontrola dvouzónové klimatizace..... | 49 |
| 5.4 | Kontrola podvozku | 50 |
| 5.5 | Kontrola brzd..... | 50 |

| | |
|--|----|
| 5.6 Chyby při měření termokameru | 51 |
| Závěr | 53 |
| Seznam použité literatury | 54 |
| Seznam obrázků | 56 |
| Seznam tabulek | 58 |

Úvod

Termokamery se v posledních několika letech začaly využívat v mnoha odlišných odvětvích například ve stavebnictví, vyhledávání pohřešovaných osob, v lékařství nebo při kontrole strojních součástí montážních linek. To mě přivedlo na myšlenku, že v diagnostice motorových vozidel to ještě není tak časté, a tak jsem se rozhodl, že zjistím, jestli je termokamera využitelná v praxi při hledání závad na vozidle a kontrole jednotlivých částí.

Cílem této práce je zjistit, zda je výhodné využívat termokameru při diagnostice automobilu. Pro praktickou část bude vybráno několik vozidel, na kterých budou kontrolovány komponenty pomocí termokamery. Konkrétně se bude jednat o žhavicí svíčky, dvouzónovou klimatizaci, kontrolu podvozku, brzdy a kontrolu funkčnosti vstříkování. V metodice budou konkrétně vypsány postupy měření a očekávané hodnoty. Na základě naměřených dat a zkušeností z měření budu usuzovat, zda se hodí využívat termokameru na danou diagnostiku, anebo se vyplatí zůstat u stávajících diagnostických metod.

1 Tepelné záření

Tepelné záření nebo také sálání se dá popsat jako vyzařování celého elektromagnetického spektra. Při sálání látka emituje energii ze sebe sama a tato energie má formu elektromagnetického záření. Nejedná se pouze o přenos tepla vedením, ale teplo se přenáší sáláním i ve vakuu. Nemusí tedy dojít k přenosu tepla dotekem dvou látek. (Nožička, J., 2008)

Množství energie, která emituje z látky, závisí na několika faktorech. Prvním z faktorů je teplota tělesa a její vyzařování z něj, tím se zaobírá Planckův vyzařovací zákon. Druhým faktorem je obsah plochy, protože platí, že energie, která vyzařuje z tělesa, závisí na obsahu povrchu daného tělesa. Třetí faktor je barva povrchu. Je dokázáno, že barva povrchu má vliv na sálání tepla z látky. Nejvíce vyzařuje teplo látka, která má černý povrch, ale jakmile teploty vyšplhají nad 1000 °C, pak je rozdíl v sálání téměř nulový a všechna tělesa se chovají jako tzv. absolutně černé těleso. (Wikipedia, 2022)

1.1 Teplo a teplota

Teplo je veličina charakterizující přenos energie mezi makroskopickými soustavami. Nejedná se o druh energie, ale pouze o míru přenosu energie v nějaké formě, jako je třeba záření. Teplo se značí Q a jeho jednotkou je J (joule). (Blažek, J., 1993)

Teplota je oproti teplu stavovou veličinou a charakterizuje rovnovážný termodynamický stav nějaké soustavy. Charakterizuje stav tělesa nezávisle na složení či hmotnosti. Základní jednotkou teploty je kelvin. (Mechlová, E. a Košťál, K., 1999)

1.2 Termodynamická teplota

Termodynamická teplota je jednou ze sedmi základních jednotek soustavy SI. Její jednotkou je kelvin (K) a značí se T . K měření termodynamické teploty se využívá Mezinárodní teplotní stupnice a základní teplota byla stanovena na hodnotu 273,16 K, což odpovídá 0 °C. (Mechlová, E. a Košťál, K., 1999)

1.3 Emisivita

Důležitý pojem v souvislosti s tepelným zářením je emisivita. Lze ji chápat jako efektivitu vyzařování daného tělesa. U každého tělesa (kromě tzv. černého tělesa) je emisivita vždy menší než jedna. (Modest, M., 2013)

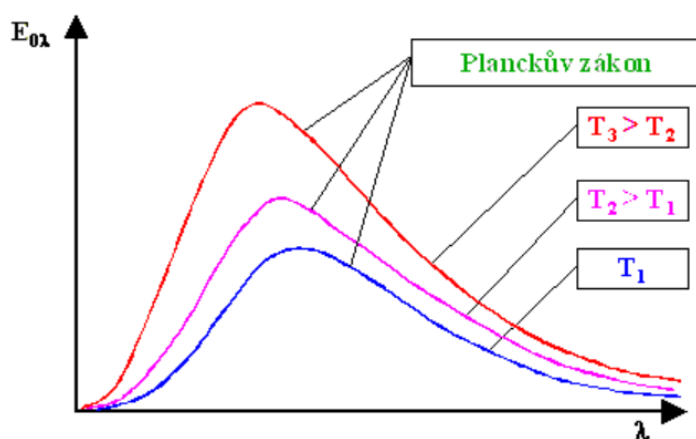
Černé těleso do sebe pohlcuje veškeré záření, má tedy nejvyšší emisivitu. Každé těleso vyzařuje teplo a je takzvaným selektivním zářičem. Emisivita je závislá na vlnové délce. Velikost emisivity je důležitá hodnota pro měření termokamerou, jest-

liže bude špatně nastavena před začátkem měření, mohou být výsledky zavádějící. (Halliday, D. et al., 1997)

V praxi se emisivita měří velice těžko. Při práci s termokamerou je potřeba znát skutečnou teplotu povrchu, kterou může termokamera zkusit. Existuje několik metod, které lze provádět pouze v laboratoři. Jsou ale některé, které lze použít při každodenní práci s termokamerou v terénu. Lze použít dotykový teploměr pro zjištění skutečné teploty. Tato metoda je ale zbytečně pracná a často i zdlouhavá. Z tohoto důvodu se používá častěji metoda využívající materiál s referenční emisivitou. Využívá, jak už název napovídá, cizí materiál – nejčastěji jde o nátěr nebo lepicí pásku. Materiál se nanese na měřený předmět nebo povrch a následně je stanovena jeho teplota pomocí termokamery a mění nastavení hodnoty emisivity v termokameře tak, aby teplota byla stejná, jako kdybychom teplotu měřili kontaktně. (Sládek, P., 2017)

1.4 Planckův vyzařovací zákon

Planckův vyzařovací zákon plně popisuje tepelné záření těles a stanovuje intenzitu vyzařování na konkrétních vlnových délkách. Zákon zformuloval Max Planck v roce 1900 a na něj poté navazoval Wienův zákon a Stefanův-Boltzmannův zákon. Vyzařování černého tělesa s různou povrchovou teplotou znázorňuje následující graf. (Pavelek, M. et al., 2007)



Obrázek 1.1: Planckův vyzařovací zákon. (Pavelek, M. et al., 2007)

Z grafu vyplývá, že při teplotě T vyzařuje černé těleso do okolí elektromagnetické vlnění různých vlnových délek. Černé těleso ale nevyzařuje vlnění se stejnou intenzitou. (Nožička, J., 2008)

Matematicky se Planckův zákon vyjadřuje takto:

$$M_{0\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)}, \quad (1.1)$$

Kde $M_{0\lambda}$ je spektrální hustota intenzity záření černého tělesa, $c_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ W}\cdot\text{m}^2$, $c_2 = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ m}\cdot\text{K}$, λ je vlnová délka záření, jejíž základní jednotkou jsou metry, a T je teplota povrchu tělesa, která se uvádí v Kelvinech. (Ripka, P. et al., 2005)

Součástí zákona je také Planckova konstanta, která je základní fyzikální konstantou. Nejpoužívanější je v odvětví kvantové fyziky. Tato konstanta byla stanovena na hodnotu $6,6260755 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$. (Mechlová, E. a Košťál, K., 1999)

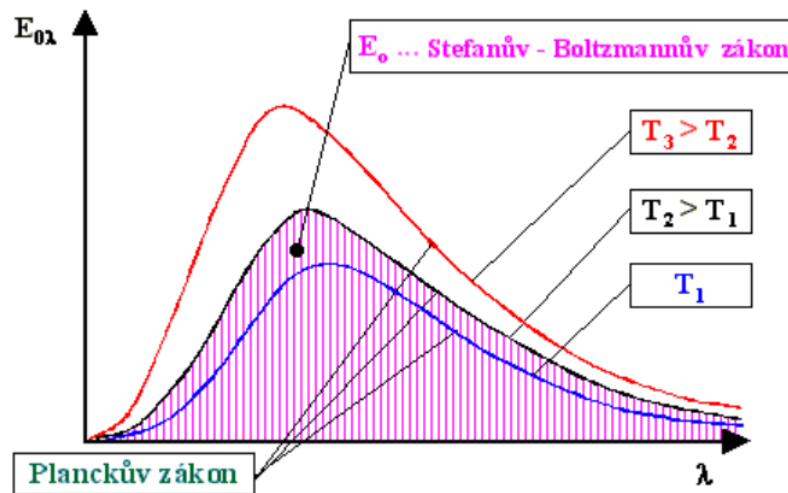
1.5 Stefanův-Boltzmannův zákon

Rakouští fyzici Boltzmann a Stefan zkoumali závislost teploty objektu na hustotě zářivého toku. Došli k tomu, že každé těleso s nenulovou teplotou září a hustota tohoto záření jsou úměrné čtvrté mocnině absolutní teploty. (Pavelek, M. et al., 2007)

Z Planckova vyzařovacího zákona lze získat matematickou formulaci, jestliže se zintegruje spektrální hustota toku záření dokonale černého tělesa. Hustota zářivého toku dokonale černého tělesa se tedy dá vyjádřit takto:

$$M_0 = \sigma_0 \cdot T^4, \quad (1.2)$$

Kde σ_0 je Stefanova-Boltzmannova konstanta, která odpovídá hodnotě $\sigma_0 = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$, M_0 je hustota toku dokonale zářivého tělesa a T je absolutní teplota měřeného objektu. (Ripka, P. et al., 2005).



Obrázek 1.2: Stefanův – Boltzmannův zákon vycházející z Planckova zákona. (Pavelek, M. et al., 2007)

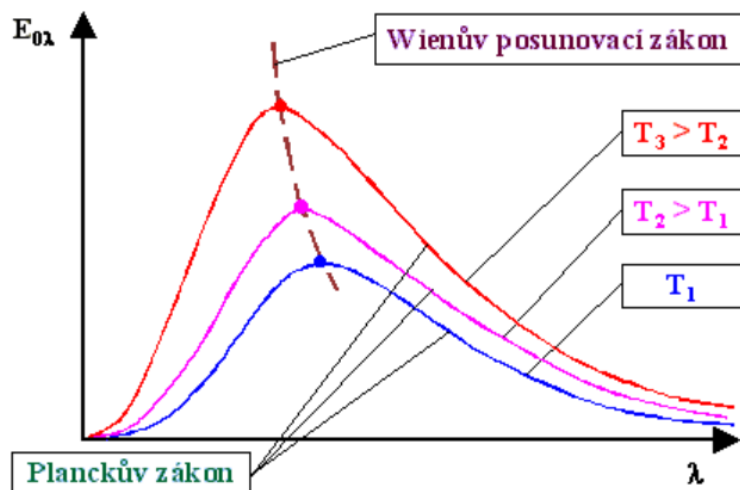
1.6 Wienův posunovací zákon

Německý fyzik Wien se zabýval závislostí vlnové délky na spektrální hustotě zářivého toku a došel k závěru, že jestliže roste teplota zářiče, tak se posouvá maximální hodnota spektrální hustoty ke kratším vlnovým délkám (Pavelek, M. et al., 2007). Matematicky se tento zákon dá vyjádřit takto:

$$\lambda_m = \frac{b}{T}, \quad (1.3)$$

Kde λ_m je vlnová délka, při které je spektrální hustota dané teploty zářiče nejvyšší. b odpovídá hodnotě 2898 $\mu\text{m}\cdot\text{K}$. (Ripka, P. et al., 2005).

Wienův posunovací zákon získáme z Planckova zákona.



Obrázek 1.3: Wienův posunovací zákon vycházející z Planckova zákona. (Pavelek, M. et al., 2007)

2 Základní principy záznamu záření ve snímačích

2.1 Pyrometrie

Pyrometrie neboli bezdotykové měření teplot se zabývá měřením povrchových teplot těles na základě zkoumání elektromagnetického záření, které se nachází mezi senzorem a povrchem tělesa. Záření se pohybuje v rozmezí 0,4 až 25 μm vlnové délky. Tato teplotní škála odpovídá rozsahu teplot od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $10\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Ripka, P. et al., 2005)

Měření teplot bezdotykově má své výhody i nevýhody. Výhodou je, že lze měřit teplotu rotujících a pohyblivých součástí a měřicí zařízení nemá vliv na měřenou součást. Bezdotykové měření také dokáže zaznamenat rychlé rozdíly teplot a zároveň snímat teplotu po celém povrchu měřeného objektu najednou. (Obdržálek, J., 2015)

Při měření může dojít k chybám z důvodu špatného stanovení emisivity měřené součásti, odražení záření z prostředí nebo špatnou propustností záření. Při měření také záleží na úhlu k povrchu měřeného objektu. (Ripka, P. et al., 2005)

2.2 Senzory infračerveného záření

2.2.1 Tepelné senzory

Tepelné senzory absorbují fotony a oteplují určité části senzorů, pohlcená energie se vyhodnocuje měřením přes senzory teploty. Detekují zvýšení teploty některého svého čidla. Typickými zástupci jsou termočláňkové baterie, bolometry nebo pyroelektrické senzory. (Malý, P., 2008)

Termočláňkové baterie jsou konstruovány z tenké kovové pásky a články jsou řazeny do série. Měřicí spoje jsou načerněny, aby lépe vedly teplo. Baterie bývají ve vakuovém pouzdře. (Ripka, P. et al., 2005)

Pyroelektrické senzory jsou složeny ze dvou elektrod, z nichž jedna elektroda musí umět vnímat infračervené záření. Při změně teploty se změní polarizace těchto dvou elektrod a naindukuje se elektrický náboj. (Obdržálek, J., 2015)

2.2.2 Kvantové senzory

Kvantové senzory nebo také fotonové fungují na principu počítání fotonů, tj. kvant elektronového záření. Velikost výstupního elektrického signálu je úměrná intenzitě dopadajícího záření. Jsou mnohem citlivější než tepelné detektory, ale nevýhodou je, že potřebují chlazení. (Malý, P., 2008)

2.3 Porovnání pyrometrů a termokamer

Pyrometry jsou v porovnání s termokamerami levnější a je tedy v některých případech efektivnější využít pyrometr, také disponují větší tepelnou i mechanickou odolností. Může být zvolen pyrometr s užším pásmem spektrální citlivosti v závislosti na měřeném materiálu a teplotách. Celkově pyrometry mají větší přesnost oproti termokamerám, především ve vysokých teplotách. Při využití poměrového pyrometru není potřeba zjišťovat emisivitu měřeného povrchu. Možné je měření teploty i přes sklo.

Termokamery zobrazují termogramy s velkým rozlišením. Některé termokamery dokážou měřit až 1 000krát za sekundu. Oproti pyrometrům mají větší teplotní citlivost. Hlavní výhodou ovšem je, že termokamery nabízejí celkovější představu o rozložení teplot v místě měření. (Sova, J. a Kovář, J., 2014)

2.4 Termokamery

Důležitým termínem nebo spíše oborem je termografie, jak už název napovídá, je to obor zabývající se rozbořením teplotního pole na povrchu tělesa pomocí bezdotykových termokamer. Analýza teploty je prováděna pouze na jeho povrchu. (Fluke Corporation a The Snell Group, 2009)

Termokamera pracuje na principu bezdotykového měření teploty a funguje stejně jako infračervený teploměr. Hlavním rozdílem je, že infračervený teploměr měří čistě teplotu v jednom bodě, zatímco termokamera měří rozložení teploty na větší ploše. Teploměr má totiž často pouze jeden senzor záření. (Sova, J. a Kovář, J., 2014)

2.5 Konstrukce termokamery

Konstrukce termokamery je velice podobná klasické kameře nebo digitálnímu fotoaparátu. Objektiv promítá dopadající tepelné záření na tzv. detektor záření, kde se měří intenzita tohoto záření. (Termokamera.cz, 2022)

Záření je poté digitalizováno dalšími komponentami a výsledný snímek se nazývá termogram. Termogram při správném pořízení a dosažení vhodných podmínek nese přesnou informaci o teplotě a jejím rozložení na měřeném objektu. Je složený z pixelů jako jakákoliv fotografie jen s tím rozdílem, že zde každý jeden pixel poté odpovídá povrchové teplotě měřeného objektu v daném bodě. (Fluke Corporation a The Snell Group, 2009)

Nejjednodušší rozdělení termokamery je do tří částí:

- optika,
-

-
- detektor,
 - elektronika pro zpracování a prezentaci obrazu. (Termokamera.cz, 2022)

2.5.1 Optika

Optika je principiálně stejná jako u fotoaparátu, soustředí většinu dopadajícího elektromagnetického záření. Jedná se pouze o většinu, jelikož optika funguje jako takový filtr, který si vybere jen určitou část záření, kterou potřebuje. (Saleh, B. a Teich, M., 1995)

Optika je z germania a výhradně bez možnosti optického zoomu, který není u takového zařízení potřeba na rozdíl od fotoaparátu. Materiál, ze kterého je optika, se může i lišit, ale nejčastěji se používá právě germanium. Germanium se používá, jelikož velmi dobře propouští infračervené záření. (Termokamera.cz, 2022)

Propustnost světla u čočky je navíc vyšší u termokamery až 90 %, fotoaparát má daleko méně. Na povrchu čočky je totiž nanášena speciální antireflexní vrstva, která zabráňuje odrazu infračerveného záření na povrchu čočky. (Štrba, A., 1979)

2.5.2 Detektor

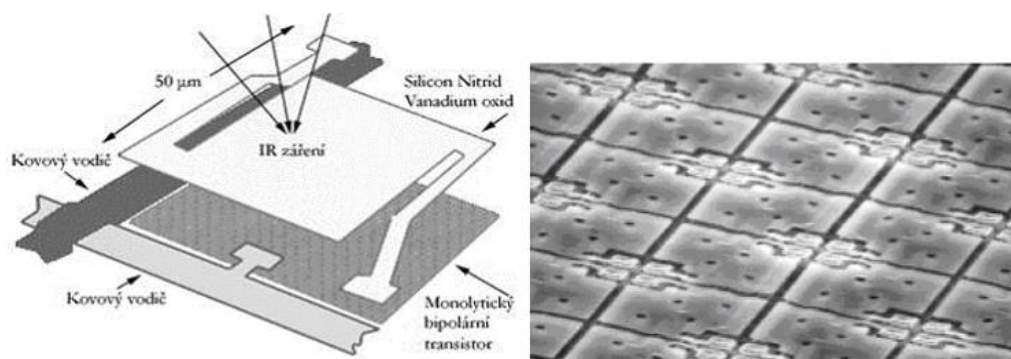
Detektor převádí dopadající infračervené záření vyfiltrované optikou na elektrický signál, ten poté další elektronika převede na již zmiňovaný termogram. (Saleh, B. a Teich, M., 1995)

Rozlišujeme dva základní typy detektorů, každý z nich funguje na jiném principu:

- tepelný detektor,
- fotonový detektor.

Tepelné detektory fungují tak, že převádějí energii infračerveného záření na energii tepelnou. Tyto detektory se používají ve větším množství při sobě v takzvaném 2D poli, což je pole o délce hrany okolo 1 až 2 cm. Takovému poli se říká mikrobolometrické pole. Mikrobolometrické pole mění svůj elektrický odpor v závislosti na intenzitě dopadajícího záření. S tímto typem se dnes setkáme v 95 % případů, je to tudíž nejpoužívanější. (Fluke Corporation a The Snell Group, 2009)

Na Obrázku 2.1 je vidět mikrobolometrické pole (vlevo) a vedle je schéma elektronového mikroskopu, který ukazuje umístění pole.



Obrázek 2.1: Mikrobolometrické pole. (Termokamera.cz, 2022)

Z tohoto důvodu jsou termokamery používající fotonové detektory výrazně těžší a pochopitelně dražší. Tyto termokamery jsou požívané spíše ve výzkumných centrech.

Důležitý rozdíl mezi těmito dvěma druhy detektorů je spektrální citlivost. Tepelné detektory jsou širokopásmové, zatímco fotonové jsou úzko pásmové. To znamená, že fotonové mají větší citlivost na teplo než tepelné. (Malý, P., 2008)

Rozdílnosti mezi tepelným a fotonovým je dobře vidět v následující Tabulce 2.1.

Tabulka 2.1: Rozdíl mezi tepelným a fotonovým detektorem. (Termokamera.cz, 2022)

| Vlastnost | Fotonový detektor | Tepelný detektor |
|----------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Spektrální citlivost | Omezená | Široká |
| Citlivost | Vysoká | Nízká |
| Časová konstanta | Velmi krátká (cca μs) | Střední (cca ms) |
| Nejčastější typ | PtSi a InSb, QWIP | Mikrobolometr |
| Pracovní teplota | Nízká (nutné chlazení) | Pokožová (lze chladit) |
| Cena | Vysoká | Nízká |

2.5.3 Elektronika pro zpracování a prezentaci obrazu

Tato část vezme převedený elektrický signál a pomocí mikroprocesoru ho převede na obrazovku jako již hotový obraz v reálném čase anebo jako fotografii. Mikroprocesor provádí všechny možné operace od auto kalibrace obrazu, až třeba po korekci celkového obrazu tak, aby obraz byl ostrý. Mikroprocesor je velmi důležitou částí. Kdyby byl poškozený, tak obraz může být například zrnitý nebo dokonce úplně nepřesný. (Fluke Corporation a The Snell Group, 2009)

Termokamera se musí během práce neustále kalibrovat. Nejčastěji se to děje při namíření kamery na jiný objekt, než předtím měřila. V tu chvíli dojde ke kalibraci, což zjistíme tak, že při této operaci je z termokamery slyšet zvuk cvaknutí a na displeji se objeví nápis kalibrace. Nejde však o teplotní kalibraci, nýbrž korekci převodních charakteristik, kterou obstarává mikroprocesor. (Termokamera.cz, 2022)

2.6 Parametry termokamery

Důležitými faktory při výběru termokamery jsou především její parametry. Rozlišujeme několik parametrů, které jsou velmi důležité pro fungování termokamery. Je potřeba si nejprve říct, co od termokamery vyžadujeme, podle toho se bude odvíjet výběr.

Existuje celkem šest parametrů, které termokameru definují (Termokamera.cz, 2022):

- teplotní rozsah,
- spektrální citlivost,
- přesnost stanovení teploty,
- optické rozlišení, možnosti ostření a vyměnitelné objektivy,
- měřící a další funkce.

2.6.1 Teplotní rozsah

Jak už samotné slovo rozsah v názvu napovídá, tento parametr označuje, jakou nejnižší a nejvyšší teplotu je termokamera schopna změřit. V dnešní době je největší limit rozsahu hodnot, při měření bezdotykově -40 °C až $+3000\text{ °C}$. (Sova, J. a Kovář, J., 2014)

Když se špatně nastaví teplotní rozsah před pořízením snímku, je možné že snímek nebude dávat smysl nebo bude přinejmenším zavádějící.

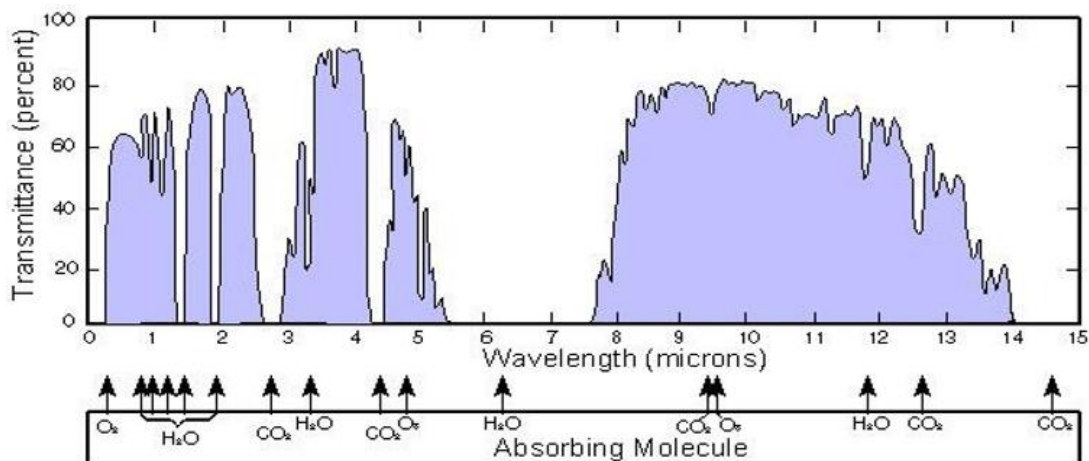
2.6.2 Spektrální citlivost

Spektrální citlivost je rozsah vlnových délek, díky nimž je termokamera dostatečně citlivá. Čím větší spektrální rozsah, tím lépe termokamera rozeznává infračervené záření. (Sova, J. a Kovář, J., 2014)

Rozdílnou citlivost mají pochopitelně kamery, které mají tepelný detektor oproti fotonovému a naopak. U tepelného se citlivost pohybuje od $8\text{ }\mu\text{m}$ až do $14\text{ }\mu\text{m}$. Ty, které mají fotonové detektory, měří v jiných vlnových délkách a jsou i širokopásmové. (Fluke Corporation a The Snell Group, 2009)

Velký problém u měření bezdotykovou metodou je především vzduch. Tento problém je nejvíce znatelný především na větší vzdálenosti. Zdrojem tohoto atmosférického útlumu jsou především molekuly vody, oxidu uhličitého a kyslíku. (Sova, J. a Kovář, J., 2014)

Na obrázku níže je tento útlum vidět a je na něm také znát, jak moc je složka vzduchu za útlum odpovědná. (Termokamera.cz, 2022)



Obrázek 2.2: Vliv útlumu jednotlivých složek vzduchu. (Termokamera.cz, 2022)

2.6.3 Přesnost stanovení teploty

Přesnost stanovení teploty je ovlivněna vlastní chybou termokamery, kterou nelze eliminovat, jelikož je pevně dána. S touto chybou je nutné počítat a výsledná chyba může být vyšší například nepřesným nastavením emisivity. (Termokamera.cz, 2022)

Proto je dobré počítat u změřené teploty s určitou nepřesností. Výrobci stanoví ve většině případů přesnost teploty $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 2\%$ ze změřeného údaje, v takovém případě platí hodnota, která je horší. Existují velice kvalitní termokamery, které dokážou měřit teplotu s přesností $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\%$. S takovouto nepřesností při měření je potřeba počítat především při konečném vyhodnocování snímku. (Sova, J. a Kovář, J., 2014)

2.6.4 Teplotní citlivost

Teplotní citlivost termokamery vyjadřuje parametr NETD (Noise Equivalent Temperature Difference), což je v překladu nejmenší rozdíl teplot, který vyvolá signál větší, než je vlastní šum systému. (Sova, J. a Kovář, J., 2014)

Rozdíl teplot na měřeném objektu musí být tak veliký, aby byl na termogramu znát rozdíl teplot. NETD se udává ve stupních Celsia nebo také v Kelvinech a vyja-

druje, jak moc přesně dokáže termokamera zaznamenat teplotní rozdíly na povrchu tělesa. V současné době je obvyklá hodnota 100mK u základních modelů a až 15mK u nejcitlivějších termokamer. Čím tedy větší je hodnota NETD, tím více jsou termogramy „zašuměné“. (Saleh, B. a Teich, M., 1995)

Citlivost je jeden z nejdůležitějších parametrů, které zodpovídají za kvalitu obrazu termogramu. Dnes je nejčastější citlivost 50 mK, poskytuje dostatečnou citlivost pro běžné zjišťování teplotního rozložení na objektech. (Sova, J. a Kovář, J., 2014)

2.6.5 Optické rozlišení, možnosti ostření a vyměnitelné objektivy

Mikrobolometrické pole převádí infračervené záření na elektrický signál a následně na teplotu. Podle toho, jak moc je rozsáhlé mikrobolometrické pole (neboli kolik je v detektoru snímačů infračerveného záření), se vybírá vhodné rozlišení. Nejčastější je čtvercové rozlišení. (Termokamera.cz, 2022)

Jak moc velká část prostoru se bude promítat na obrazovku, záleží na tom, jak velké zorné pole má objektiv termokamery. Zorné pole je vlastně hodnota vyjadřující, jak moc velkou část prostoru je objektiv schopný zachytit. Pole se měří a udává ve stupních rovinného úhlu a rozlišuje, jestli se jedná o vertikální a horizontální směr, dále čím větší je hodnota rovinného úhlu, tím větší je prostor zachycen, tím menší detaily jsou viditelné. (Fluke Corporation a The Snell Group, 2009)

2.6.6 Doplnkové a nadstandardní funkce a vybavení.

Existuje mnoho doplňkových funkcí a parametrů, které přidávají termokameře na kvalitě. Každý výrobce v dnešní době používá svůj software. Takovým základem je volba jazyka, data, času a přejmenování fotografie. Menší rozdíl je u levnějších termokamer, velký rozdíl je u těch dražších. U nich se například můžeme setkat s pohyblivými kurzory měření teploty, audiem, sledováním nejteplejšího a zároveň nejstudenějšího bodu, propojením termo i vizuálního obrazu, vysokorychlostním snímáním, záznamem videa a bezdrátovým přenosem do PC. (Termokamera.cz, 2022)

2.7 Bezpečnost

Pro měření termokamerou platí velké množství bezpečnostních pravidel a postupů. Termokamery se využívají při nespočtu úkolů, které mohou probíhat i v místech, kde je možnost vystavení nebezpečí, například práce ve výšce nebo práce s elektrickým zařízením. Proto je potřeba, aby pracovník prošel řádným školením o používání termokamery spolu s implementací bezpečnostních pravidel.

Práce s termokamerou je poměrně jednoduchá a pracovník se s ní naučí rychle, obtížnější je naučit se správně interpretovat snímky. Školení jsou rozdělena do tří skupin certifikace. Certifikace pracovníků je sice investice, ale díky certifikaci dochází ke kvalitnější práci, potažmo i úsporám. (Fluke Corporation a The Snell Group, 2009)

Tabulka 2.2: Skupiny certifikace. (Fluke Corporation a The Snell Group, 2009)

| | |
|-----------|---|
| Skupina 1 | Kvalifikovaný pro shromažďování vysoce kvalitních dat a třídění dat na základě písemných kritérií vyhověl/nevyhověl. |
| Skupina 2 | Kvalifikovaný pro nastavení a kalibraci zařízení, interpretování dat, vytváření hlášení a dohlížení na personál ve skupině 1. |
| Skupina 3 | Kvalifikovaný k vytváření inspekčních postupů, vykládat relevantní kódy a spravovat programy včetně dohledu nebo poskytování školení a testování. |

V Evropské unii zajišťuje certifikaci centrální certifikační orgán, který podléhá Mezinárodní organizaci pro standardizaci (ISO). ISO je nevládní mezinárodní organizace, která se skládá z institucí z více než 90 zemí.

Každý certifikační program připravuje pracovníky na různá nebezpečí termografie a informuje je o technických a jiných dovednostech potřebných k práci s termokamerou a zajištění bezpečnosti. Například při kontrole elektrických systémů může dojít k poranění elektrickým proudem, jelikož se často kontrolují stroje pod napětím. V takovém případě je vyžadováno používat předepsané osobní ochranné prostředky, aby se zabránilo popálení.

V mnoha případech je bezpečnější, když měření provádí tým většinou dvou lidí. Jeden měří termokamerou a druhý například otevírá kryty zařízení a dává pozor na vznik nebezpečné situace. Druhá osoba musí být také kvalifikovaná a mít znalosti související s konstrukcí měřeného zařízení, absolvovat bezpečnostní školení.

Pracovník by si při měření v jakémkoliv prostředí měl být vědom všech možných nebezpečí, která z daného prostředí nebo situace mohou vzejít. Při měření v noci se pracovník může stát šeroslepým při prohlížení termogramu na jasném displeji zobrazovacího systému. Je to stav, kdy se oči přizpůsobí na osvětlenou obra-

zovku a v důsledku toho nevidí tmavé předměty. (Fluke Corporation a The Snell Group, 2009)

3 Metodika

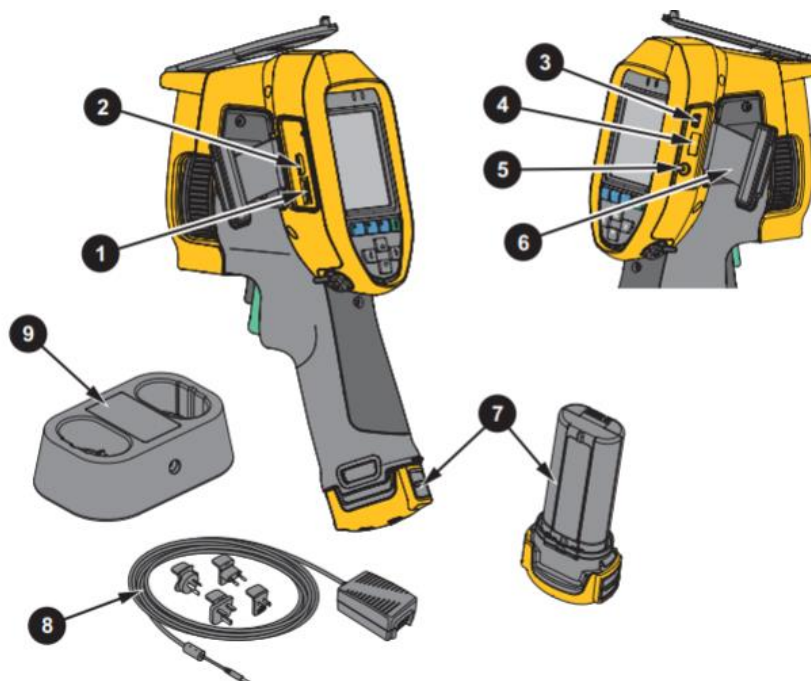
3.1 Cíl měření

Cílem měření je zjistit, zda je možné využít termokameru v diagnostice automobilů. Bude vybráno pět měření na třech automobilech, proběhnou podle přesného návodu v metodice. Následně budou výsledky porovnány s očekávanými hodnotami a bude vyhodnoceno, zda je efektivní využívat při daném problému termokameru, či zda je lepší zůstat u stávajících metod.

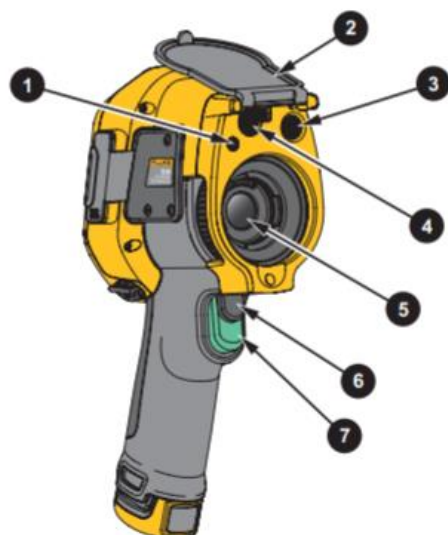
3.2 Měřicí přístroj

Měření bylo prováděno termokamerou Fluke Ti200. Jedná se o jednu z nejnovějších termokamer od firmy Fluke.

Popis konstrukce termokamery je popsán na následujících třech obrázcích.



Obrázek 3.1: Termokamera Fluke Ti200 1–1. Slot pro paměťovou kartu micro SD 2. Připojení HDMI 3. Konektor pro USB kabel 4. Připojení pro přenosné paměťové zařízení USB 5. Zdíčka pro napájecí adaptér nebo nabíječku 6. Kryt konektoru 7. Lithium-iontová baterie s inteligentním řízením 8. Síťový zdroj napájení s univerzálními adaptéry 9. Nabíjecí základna s pozicemi pro dvě baterie (Fluke, 2013)



Obrázek 3.2: Termokamera Fluke Ti200 2–1. Svítidla/baterka LED, 2. Kryt výsuvné objektivu, 3. Objektiv optické kamery, 4. Laserové ukazovátko/ dálkoměr, 5. Objektiv termokamery, 6. Sekundární spoušť, 7. Primární spoušť (Fluke, 2013)



Obrázek 3.3: Termokamera Fluke Ti200 3–1. Mikrofon, 2. Reprodukční, 3. LCD dotyková obrazovka (displej) 4. Ovládací panel, 5. Řemínek na ruku, 6. Ruční ostření (Fluke, 2013)

Termokamera Ti200, kterou budou měřeny automobily, má několik funkcí. Pro ostření a vylepšení snímku má pokročilé ruční ostření a systém automatického ostření. V praxi bude ve většině případů využíváno spíše automatické ostření. Tento model sice nemá digitální zoom, ale digitální zoom dělá snímek zrnitý, navíc se pro tyto účely nachází v balení objektiv se stálým zoomem.

Termokamery od Fluke disponují funkcí IR-Fusion. Tato funkce dokáže snímek převést na termogram. Díky tomu lze nastavit, aby byl snímek na celé obrazovce nebo takzvaný *obraz v obraze*. To znamená, že obraz je složen ze dvou částí, přes celý displej je samotný obraz, který snímá kamera, v něm je termogram uprostřed ve zmenšené podobě. U takového termogramu je poté možno nastavit průhlednost. (Fluke, 2013)



Obrázek 3.4: Funkce obraz v obraze s částečnou průhledností.

3.3 Měřené automobily

Měření komponent bude probíhat na automobilech Peugeot 206, Citroën C2 a BMW E90.

3.3.1 Peugeot 206

Peugeot 206 je automobil z roku 2002 a motorizace u tohoto modelu je 2.0 HDi (High Pressure Direct Injection), což znamená, že je to diesellový motor s common rail systémem a přímým vstřikováním paliva. Motor má výkon 66 kW. (AUTOkataloge.cz, 2011)

Měřit se budou žhavicí svíčky a kabely k nim připojené.



Obrázek 3.5: Peugeot 206.

3.3.2 Citroën C2

Druhým měřeným automobilem je Citroën C2 z roku 2003. Jedná se o třídvéřový hatchback s pohonem předních kol. Tento měřený model má nejnižší vyráběnou motorizaci 1.1 litrový benzínový motor, který má výkon 44 kW a krouticí moment 110 N.m. (AUTOkataloge.cz, 2011)

Na vozidle bude kontrolována funkčnost vstřikování měřením výfukového potrubí.



Obrázek 3.6: Citroën C2.

3.3.3 BMW E90

Posledním automobilem, na kterém bude prováděno měření, je BMW E90 z roku 2006. V tomto BMW je řadový šestiválcový motor s objemem 2,5 litru a výkonem 160 kW. Nejvyšší točivý moment tohoto motoru je 250 Nm. Jedná se o sedan s pohonem zadní nápravy. (Auto-data.net, 2022)

Tato verze má dvouzónovou klimatizaci, která bude měřena termokamerou. Kontrolovat se bude také zahřívání jednotlivých částí podvozku a brzdy.



Obrázek 3.7: BMW E90.

3.4 Měření

3.4.1 Kontrola žhavicích svíček

Měření bude prováděno na automobilu Peugeot 206. Žhavicí svíčky jsou aktivní pouze při studeném startu, bude kontrolována tato část jen při studeném motoru, jinak by byly výsledky zavádějící nebo by se žhavicí svíčka vůbec neaktivovala.

Při měření bude potřeba spolupracovník, který otočí klíčkem ve spínací skřínce.

První měření bude prováděno při zapojených svíčkách ve spalovacím prostoru. V tomto případě bude měřeno zahřívání kabelů připojených ke svíčkám. Poté budou svíčky vyšroubovány a bude změřeno, jak vypadá ohřev žhavicí svíčky.

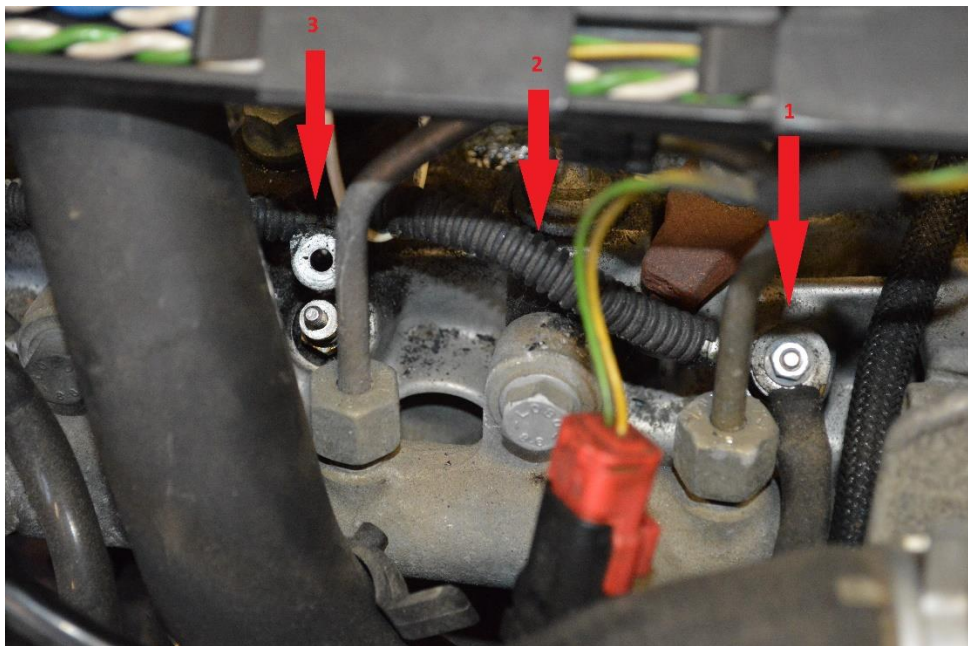
Při měření kabelů se průchod proudu pozná zahřátím především spojů kabelu s žhavicí svíčkou. Bude kontrolováno nadměrné zahřátí částí kabelových svazků ihned po otočení klíčkem.

U vymontovaných žhavicích svíček bude kontrolováno místo nejvyšší teploty, které musí být na konci svíčky, kde se nachází žhavicí spirála. Teplota by se měla pohybovat mezi 800 a 1350 °C (MaK, 2017). Vyčká se tři vteřiny od rozžhavení, a poté se vyfotí svíčka.

Postup měření:

1. Zapnout termokameru.
-

2. Otevřít víko motorového prostoru.
3. Demontovat plastový kryt přes motor.
4. Připravit si termokameru tak, aby snímek byl co nejpřesnější (zkalibrovat termokameru, aby byl znát co největší rozdíl teplot).
5. Při funkci „obraz v obraze“ je nutné nastavit průhlednost termogramu na co nejnižší (tzn. nejméně viditelné pozadí).
6. Zajistit si dostatečný výhled na všechny čtyři žhavicí svíčky.
7. Spolupracovník otočí klíčkem ve spínací skřínce.
8. Při špatném vyfocení opakovat měření po 15 minutách, jelikož by bylo měření zavádějící kvůli předešlému ohřevu žhavicích svíček a kabelů.
9. Vyčkat 15 minut.
10. Žhavicí svíčky vyšroubovat ze spalovacího prostoru, ale nechat napájecí kabely na svíčkách.
11. Těla svíček přiložit k bloku motoru, aby byl elektrický okruh uzavřen, nebo propojit mínus pól akumulátoru s tělem svíčky pomocí kabelu.
12. Otočit klíčkem v spínací skřínce.
13. Zkontrolovat a vyfotit jednotlivé žhavicí svíčky po 3 vteřinách po otočení klíčku.
14. Vyhodnotit.



Obrázek 3.8: Zapojení napájecího kabelu na žhavicí svíčky. 1. zapojený kabel na žhavicí svíčku maticí, 2. napájecí kabel, 3. odpojený spoj



Obrázek 3.9: Žhavicí svíčka u vozu Peugeot 206.

3.4.2 Kontrola vstřikování

Měřit se bude na automobilu Citroën C2. Měřením bude zjištěno, zda fungují všechny vstřikovače nebo zapalovací svíčky v jednotlivých válcích motoru. Konkrétně bude kontrolováno, jestli se ve spalovacím prostoru zapálí směs vzduchu a paliva pomocí měření výfukového potrubí těsně u bloku motoru, kde má každý válec své vlastní potrubí.

Před samotným měřením je potřeba zajistit dostatečnou viditelnost na výfukové potrubí, takže se demontuje plastový kryt motoru a plech přes výfukové potrubí.

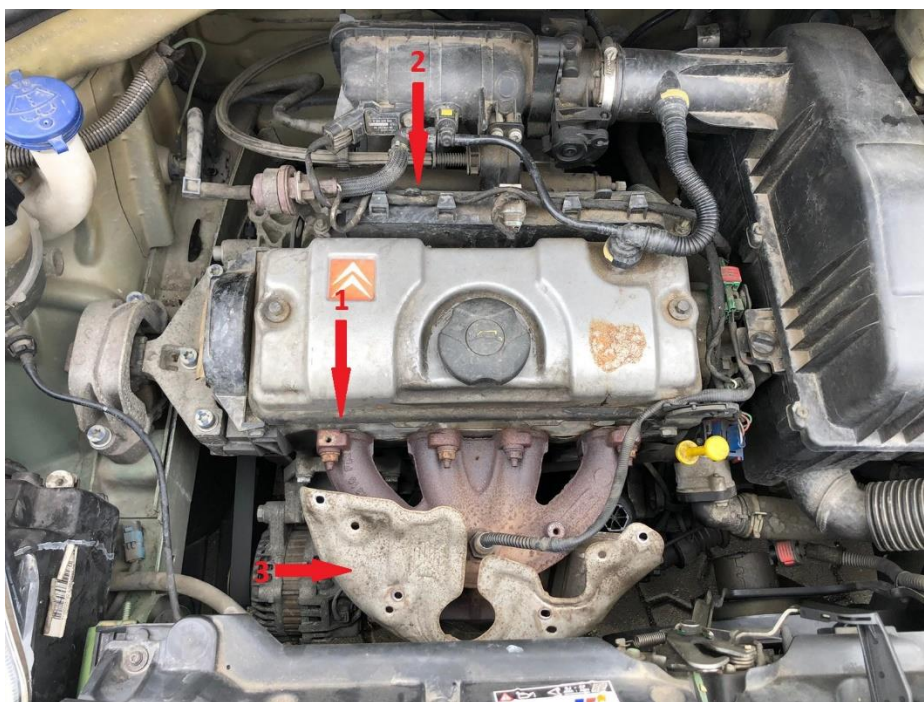
Je důležité mít na paměti, že výfukové potrubí dosahuje vysokých teplot a může dojít ke zranění.

Kontrolujeme především rozdíly teplot v jednotlivých potrubích, začne se s diagnostikou 30 vteřin od startu motoru, jelikož bude vidět ztelněji rozdíl. Ne-funkční vstřikování v jednom z válců by mělo být dobře ztelné velikým rozdílem teplot v jednom z výfukových potrubí.

Budou probíhat dvě měření. Aby byl vidět ztelný rozdíl, bude na automobilu nasimulována vada a odpojí se vstřikovač prvního válce. První měření bude probíhat s odpojeným vstřikovačem a po změření bude vstřikovač opět připojen, ihned se bude pokračovat druhým měřením se všemi funkčními vstřikovači. Vada bude nasimulována z důvodu ověření, zda je tato kontrola správná a použitelná.

Postup měření:

1. Otevřít víko motorového prostoru automobilu.
2. Sundat plastový kryt, který je na motoru auta.
3. Sundat plechový kryt na výfukovém potrubí.
4. Odpojit vstříkovač prvního válce.
5. Zapnout termokameru.
6. Nastartovat motor.
7. Nastavit správně termokameru.
8. Sledovat ohřívání výfukových potrubí termokamerou.
9. Vyfotit po 30 s správně nastavený termogram.
10. Vypnout motor.
11. Zapojit vstříkovač.
12. Nastartovat motor.
13. Vyfotit po 30 s správně nastavený termogram.
14. Vypnout motor.
15. Vyhodnotit.



Obrázek 3.10: Motorový prostor připravený na měření. 1. Výfukové potrubí prvního válce, 2. Kabeláž vstříků, 3. Již sundaný krycí plech výfukového potrubí.

3.4.3 Kontrola dvouzónové klimatizace

Měření bude probíhat na automobilu BMW E90. Dvouzónová klimatizace byla vyvinuta a instaluje se do automobilů kvůli tomu, že si může řidič i spolujezdec nastavit

svou vlastní teplotu. Dovoluje mírný teplotní rozdíl mezi nimi, například si řidič nastaví menší teplotu, při které se může lépe soustředit a nepocítuje únavu.

Před měřením bude u řidiče nastaveno 16,5 °C a u spolujezdce 28 °C. Bude nastaven tak velký teplotní rozptyl, aby byl na termokameře vidět co největší teplotní rozdíl, a mohla být tak lépe provedena kontrola funkčnosti. Poté, co budou nastaveny teploty, proběhne samotné měření termokamerou. Důležité je nezapomenout, že klimatizace funguje až po nastartování vozidla. Na termokameře by měl být vidět značný teplotní rozdíl ve výdeších topení na straně řidiče a na straně spolujezdce. Kontrolovat se začne po deseti minutách od nastartování po zahřátí motoru.

Postup měření:

1. Zapnout termokameru.
 2. Nastartovat motor automobilu.
 3. Motor ohřát na provozní teplotu.
 4. Vyčkat 10 minut.
 5. Na panelu topení zapnout klimatizaci.
 6. Pro jednodušší zjištění funkčnosti klimatizace nastavit foukání pouze na čelní výdechy topení.
 7. Elektromotor větráku topení nastavit na maximum.
 8. Nastavit teplotu topení u spolujezdce na 28 °C a u řidiče na 16,5 °C.
 9. Sednout si na zadní sedadla s termokamerou.
 10. Změřit a vyfotit jednotlivé výdechy.
 11. Vyhodnotit.
-



Obrázek 3.11: Ovládání topení u vozu BMW E90.

3.4.4 Kontrola podvozku

Měřit se bude na automobilu BMW E90. Tato kontrola bude prováděna jako celek. Nejprve se s automobilem ujede 30 kilometrů, aby byly všechny části podvozku zahřáty a bylo znatelné nějaké zvýšené opotřebení. Kontrolovány budou především veškerá ložiska a jiné rotační součásti. Často jsou tyto součásti v páru, tudíž se bude kontrolovat rozdíl teplot mezi sebou.

Kontrolovat se bude také opotřebení pneumatik, protože jestli by byla nerovnoměrně opotřebovaná některá pneumatika, znamenalo by to, že je špatně nastavená geometrie náprav.

Postup měření:

1. Ujet automobilem 30 kilometrů, aby se zahřály komponenty.
2. Automobilem najet na zvedák.
3. Zvednout automobil.
4. Zapnout termokameru.
5. Zkontrolovat všechny zmíněné komponenty.
6. Jestliže je nalezena nějaká chyba, vyfotit a vyhodnotit.

3.4.5 Kontrola kotoučových brzd

Měřit se bude na automobilu BMW E90. Při kontrole kotoučových brzd nejprve musí vůz ujet 30 kilometrů v městském provozu, kdy je potřeba brzdit. U brzd se bude

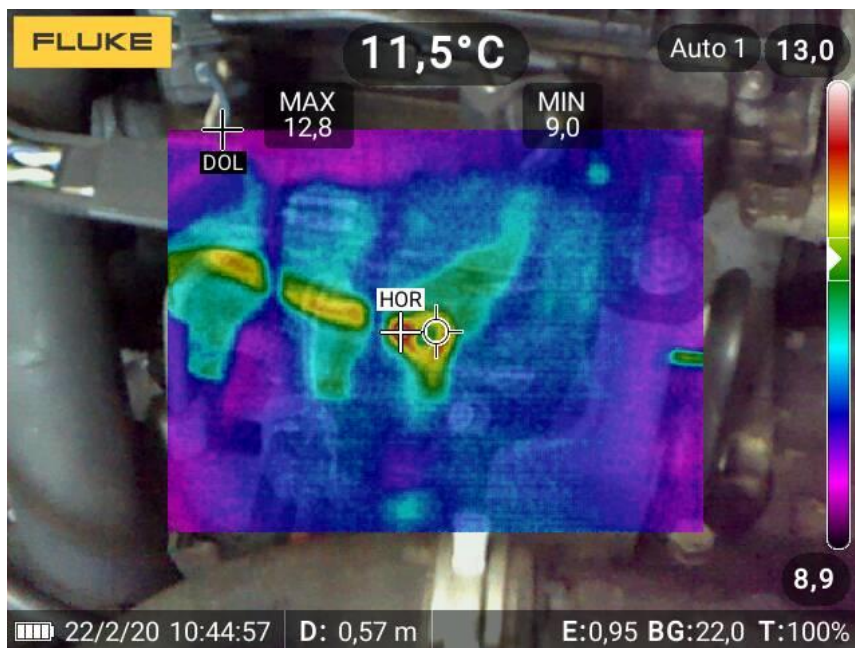
kontrolovat především rozložení teplot na jednotlivých kotoučích, dále také jestli se některý z kotoučů nezahřívá víc než jiný.

Postup měření:

1. Autem ujet 30 kilometrů v městském provozu, aby se zahřály brzdy.
2. S vozem najet na zvedák a zvednout ho.
3. Sundat kola z vozu.
4. Zapnout termokameru.
5. Změřit termokamerou brzdové kotouče.
6. Vyfotit.
7. Vyhodnotit.

4 Výsledky

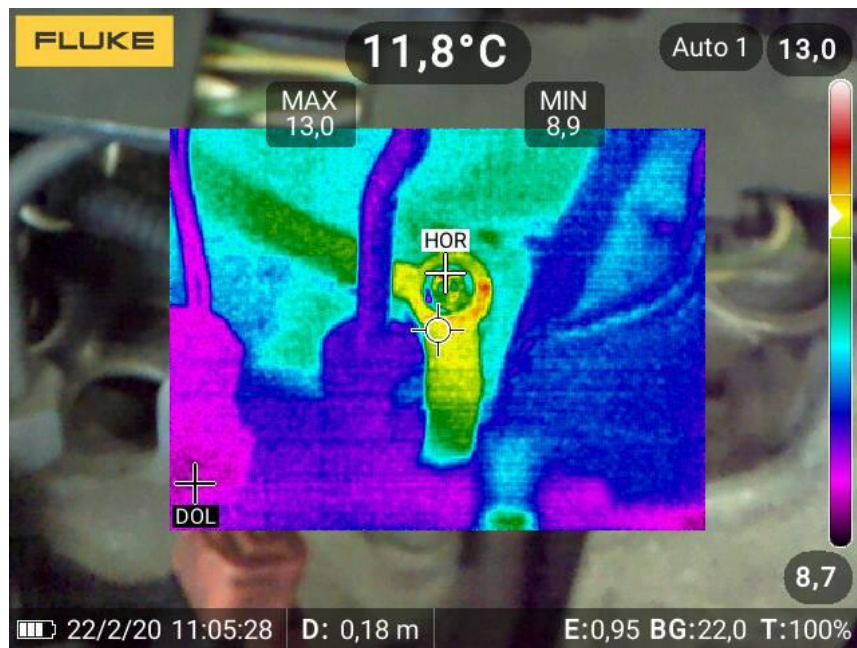
4.1 Naměřené hodnoty při kontrole žhavicích svíček



Obrázek 4.1: Ohřátí kontaktu a kabelu žhavicích svíček po několika sekundách.

Tabulka 4.1: Nejdůležitější teploty na obrázku 4.1.

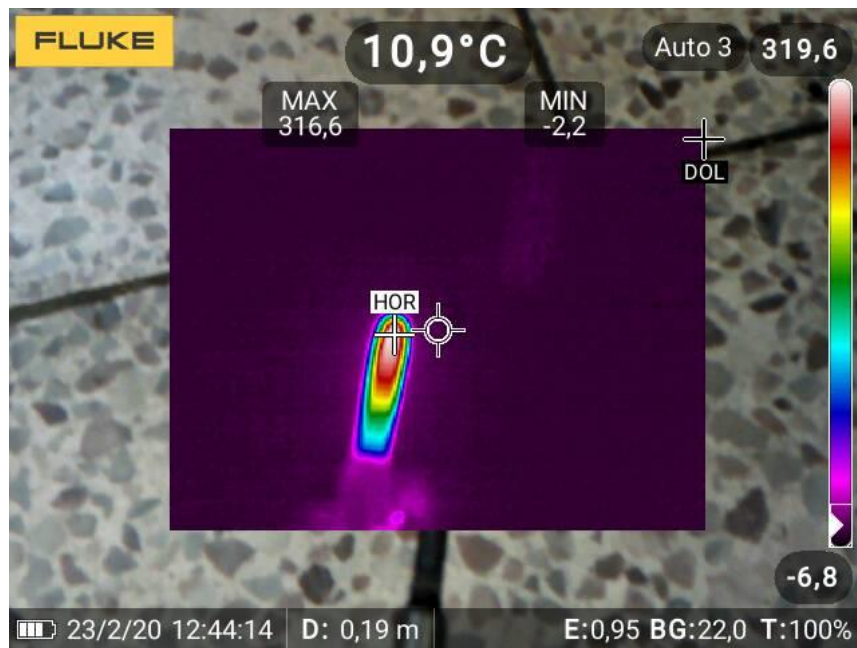
| | |
|-------------------------------------|---------|
| Nejvyšší teplota | 12,8 °C |
| Nejnižší naměřená teplota na snímku | 9,0 °C |
| Teplota v místě styku | 11,5 °C |



Obrázek 4.2: Detailnější pohled na kontakt napájení žhavicí svíčky.

Tabulka 4.2: Nejdůležitější teploty na obrázku 4.2.

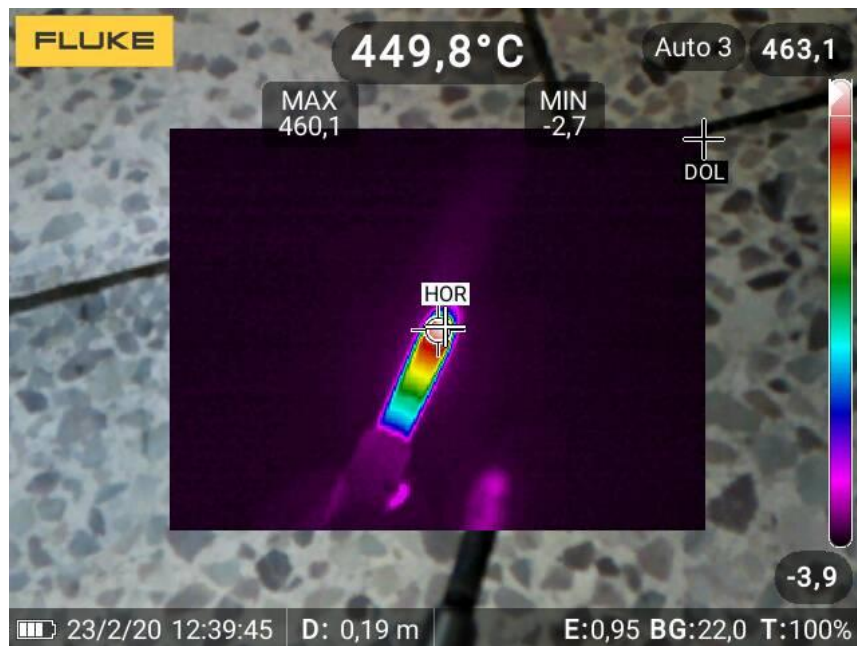
| | |
|-------------------------------------|---------|
| Nejvyšší teplota | 13,0 °C |
| Nejnižší naměřená teplota na snímku | 8,9 °C |
| Teplota v místě styku | 13,0 °C |



Obrázek 4.3: Termogram žhavicí svíčky 1.

Tabulka 4.3: Teploty žhavicí svíčky na obrázku 4.3.

| | |
|---------------------------------|----------|
| Nejvyšší teplota na snímku | 316,6 °C |
| Teplota na konci žhavicí svíčky | 316,6 °C |
| Nejnižší teplota | -2,2 °C |



Obrázek 4.4: Termogram žhavicí svíčky 2.

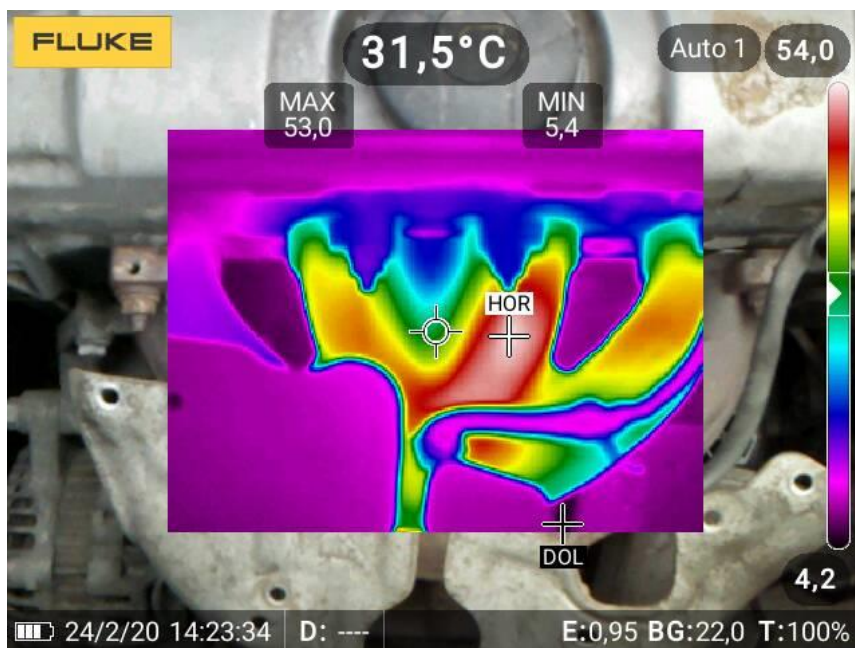
Tabulka 4.4: Teploty žhavicí svíčky na obrázku 4.4.

| | |
|---------------------------------|----------|
| Nejvyšší teplota na snímku | 460,1 °C |
| Teplota na konci žhavicí svíčky | 460,1 °C |
| Nejnižší teplota | -2,7 °C |

Tabulka 4.5: Porovnání nejvyšších teplot žhavicích svíček.

| | |
|----------------------------------|--------|
| Nejvyšší teplota svíčky 1. válce | 418 °C |
| Nejvyšší teplota svíčka 2. válce | 460 °C |
| Nejvyšší teplota svíčky 3. válce | 436 °C |
| Nejvyšší teplota svíčky 4. válce | 447 °C |

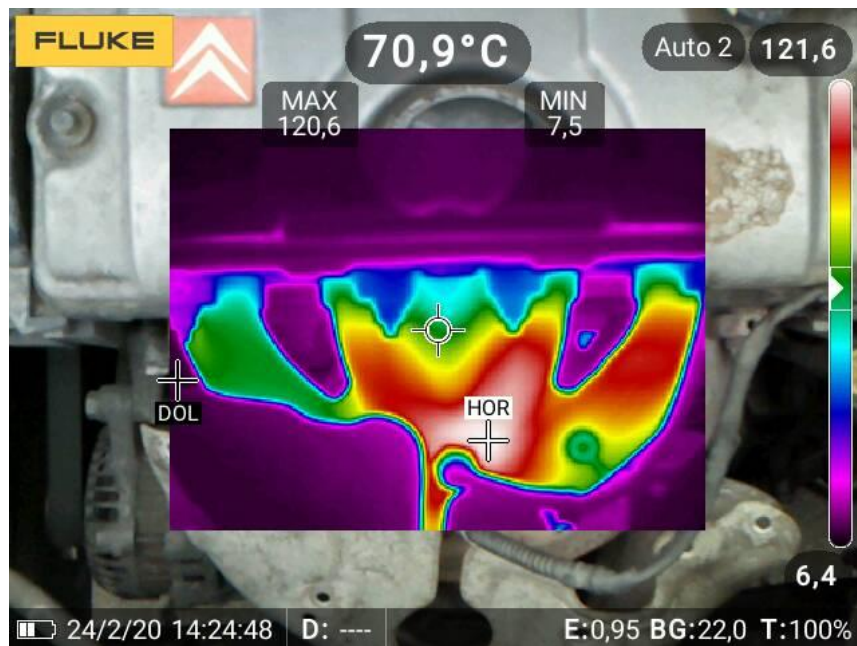
4.2 Naměřené hodnoty při kontrole vstřikování



Obrázek 4.5: Termogram výfukového potrubí, kdy je u prvního válce odpojený vstřikovač.

Tabulka 4.6: Teploty výfukového potrubí při odpojeném vstřikovači.

| | |
|--|---------|
| Nejvyšší teplota výfukového potrubí | 53,0 °C |
| Teplota ve výfukovém potrubí prvního válce | 5,3 °C |
| Nejnižší teplota výfukového potrubí | 5,3 °C |
| Doba uplynutí od zážehu motoru | 20 s |



Obrázek 4.6: Termogram výfukového potrubí, kdy jsou všechny vstřikovače připojené a funkční.

Tabulka 4.7: Teploty výfukového potrubí s připojeným vstřikovačem.

| | |
|--|---------|
| Nejvyšší teplota výfukového potrubí | 120 °C |
| Teplota ve výfukovém potrubí prvního válce | 70,8 °C |
| Nejnižší teplota výfukového potrubí | 60,3 °C |
| Doba uplynutí od zážehu motoru | 180 s |

4.3 Naměřené hodnoty při kontrole dvouzónové klimatizace



Obrázek 4.7: Termogram výdechů topení uprostřed vozidla.

Tabulka 4.8: Teploty výdechů topení uprostřed vozidla.

| | |
|---------------------------------|---------|
| Teplota v levém výdechu topení | 11,8 °C |
| Teplota v pravém výdechu topení | 21,3 °C |
| Teplota prostředí | 2,5 °C |



Obrázek 4.8: Termogram výdechů topení u spolujezdce.



Obrázek 4.9: Termogram výdechu topení u řidiče.

Tabulka 4.9: Teploty výdechů na straně řidiče.

| | |
|---|---------|
| Nejnižší teplota výdechů na místě řidiče | 7,2 °C |
| Nejvyšší teplota výdechů na místě spolujezdce | 19,4 °C |
| Teplota okolí | 1,5 °C |

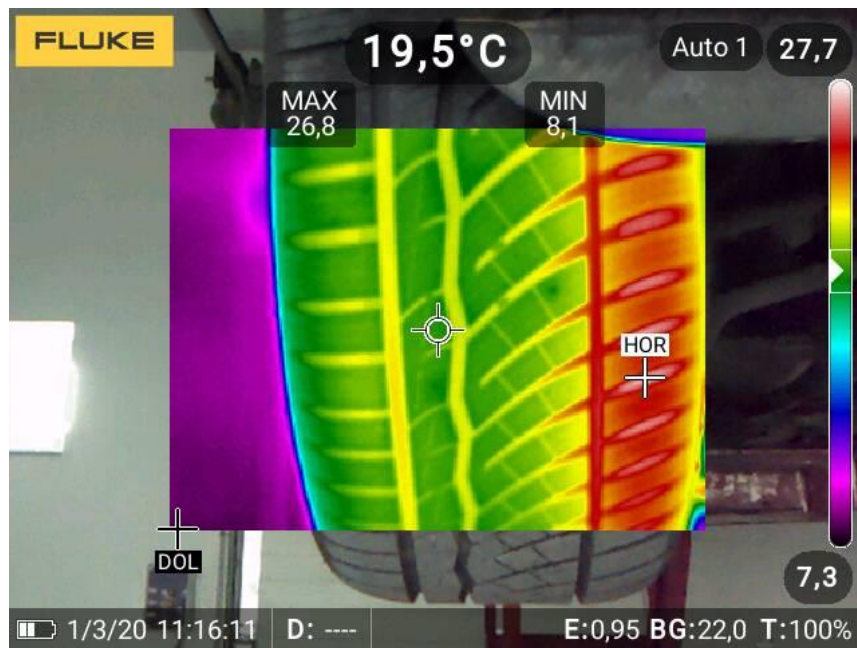
4.4 Naměřené hodnoty při kontrole podvozku



Obrázek 4.10: Termogram opotřebení pneumatiky přední nápravy na straně řidiče.

Tabulka 4.10: Teplota pneumatiky na straně řidiče.

| | |
|---------------------------|---------|
| Vnitřní strana pneumatiky | 27,0 °C |
| Teplota ve středu běhounu | 21 °C |
| Vnější strana pneumatiky | 15,4 °C |

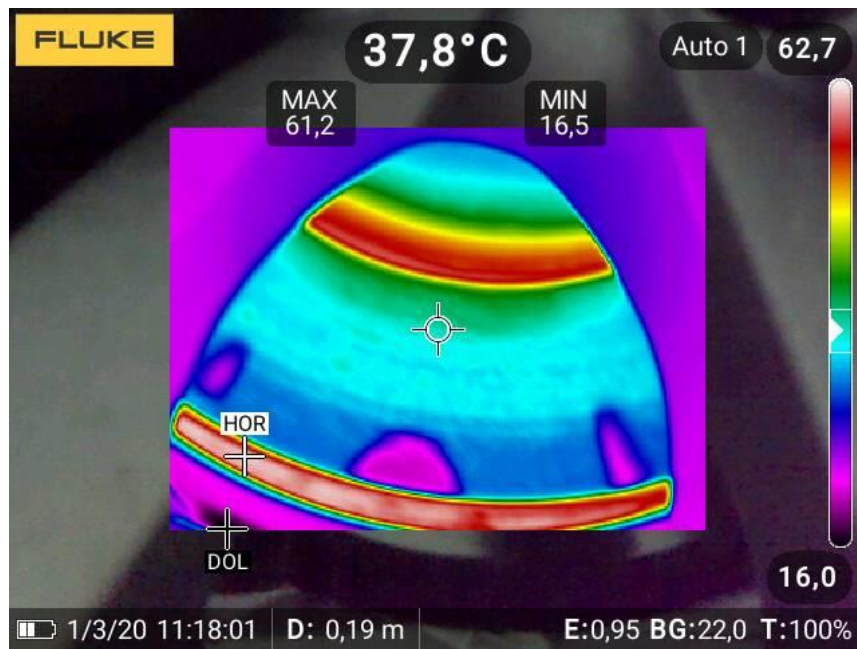


Obrázek 4.11: Termogram opotřebení pneumatik přední nápravy na straně spolujezdce.

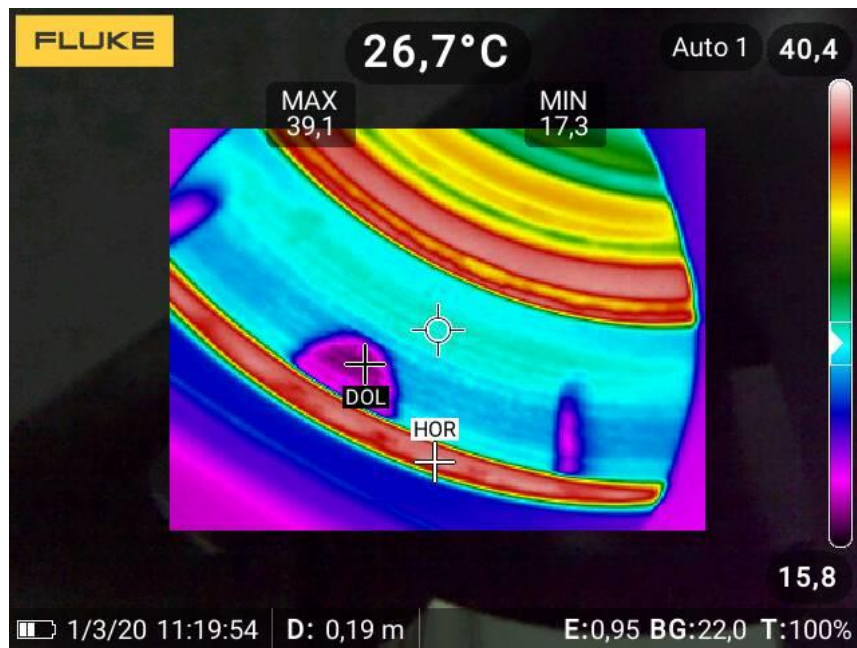
Tabulka 4.11: Teplota pneumatiky na straně spolujezdce.

| | |
|---------------------------|---------|
| Vnitřní strana pneumatiky | 26,8 °C |
| Teplota ve středu běhounu | 19,5 °C |
| Vnější strana pneumatiky | 14,9 °C |

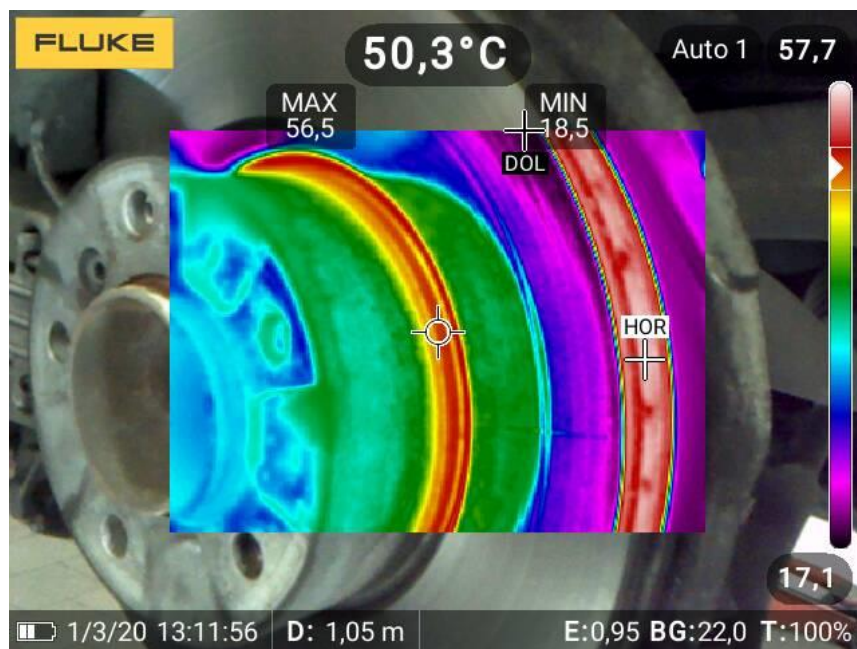
4.5 Naměřené hodnoty při kontrole kotoučových brzd



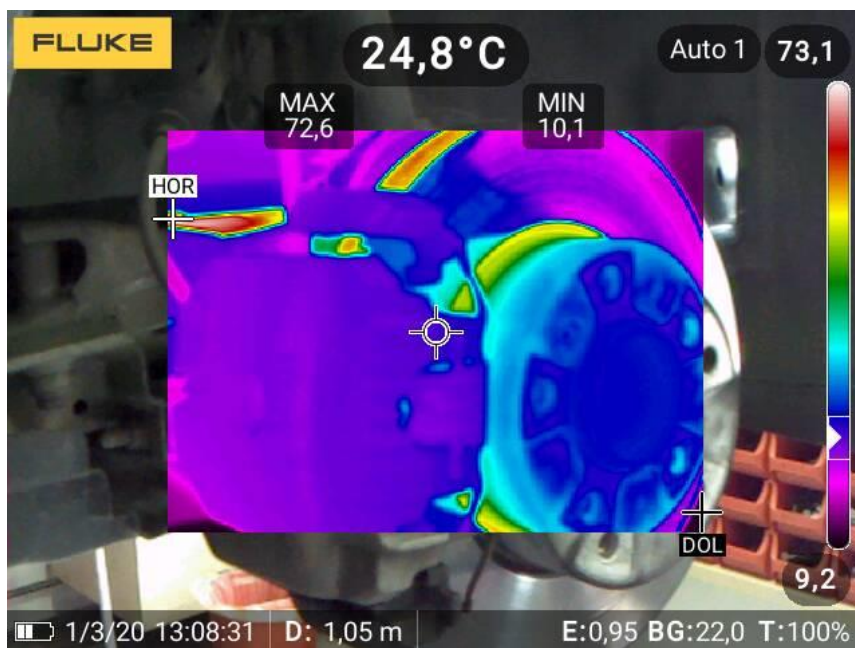
Obrázek 4.12: Brzdový kotouč přední nápravy na straně řidiče 1.



Obrázek 4.13: Brzdový kotouč přední nápravy na straně řidiče 2.



Obrázek 4.14: Termogram brzdového kotouče s demontovaným kolem na straně řidiče.



Obrázek 4.15: Termogram brzdového kotouče i s brzdovým třmenem na straně řidiče.

Tabulka 4.12: Důležité teploty kotoučových brzd přední nápravy.

| | |
|---|---------|
| Nejvyšší teplota žebrování předního kotouče na straně řidiče | 61,5 °C |
| Nejvyšší teplota žebrování předního kotouče na straně spolujezdce | 56,5 °C |
| Nejvyšší teplota brzdového třmenu na straně řidiče | 24,8 °C |
| Nejvyšší teplota brzdového třmenu na straně spolujezdce | 25,5 °C |

5 Diskuse

5.1 Kontrola žhavicích svíček

V prvním měření bylo nejprve změřeno, zda proudí ke žhavicím svíčkám proud, kontrolovalo se zahřívání kabelů. Celé měření probíhalo při teplotě 9 °C.

Na dvou termogramech (Obrázky 4.1 a 4.2) je znatelné ohřátí z důvodu procházejícího proudu kabelem až ke svíčce. Ohřátí kontaktu bylo během čtyř sekund znatelné a rozdíl oproti okolní teplotě činil i 5 °C, což je na tak krátkou dobu velký rozdíl. Nicméně teplota narostla pouze ve styku se svíčkou a ostatní části kabelových svazků se nezahřívaly. Z toho se dá usuzovat, že kabelové svazky jsou v pořádku.

Po vhodné době, alespoň po několika desítkách minut, se pokračovalo v měření.

Při kontrole vyšroubovaných žhavicích svíček bylo vidět v jakých místech byla největší teplota a jak byla teplota rozložena na žhavicí svíčce (Obrázky 4.3 a 4.4). Teploty svíček byly všechny nad 400 °C, konkrétně první válec 418 °C, druhý 460 °C, třetí 436 °C a čtvrtý 447 °C. Bohužel teploty nedovršily hodnoty, která je udaná v metodice (800–1350 °C), jelikož byly žhaveny kratší dobu, a to pouze tři vteřiny, jelikož byla obava z poškození svíček. Přesto byly svíčky naprosto v pořádku z hlediska rozdílů teplot mezi sebou. Umístění hlavních ohnisek všech svíček bylo přesně na koncích žhavicích svíček neboli na konci topné šroubovice v žhaveném pouzdře.

Alternativní možností kontroly kabelů žhavicích svíček je osciloskop nebo ampérmetr, kdy měříme proud protékající přes vodiče, kontrola samotné žhavicí svíčky se nejčastěji dělá měřením odporu žhavicí svíčky. Kontrola odporu žhavicí svíčky je daleko efektivnější a rychlejší než kontrola termokamerou, tudíž by nemělo význam využívat termokameru na kontrolu této komponenty. Kontrola kabelů kamerou je ale bezpečnější než kontrola ampérmetrem, jelikož není nutné manipulovat s kabely při měření a nemůže dojít ke zranění. Navíc při kontrole termokamerou je možné zjistit přesné místo na kabelovém svazku, ve kterém dochází k velkému zahřátí kabelu, tudíž i k velkému úbytku proudu.

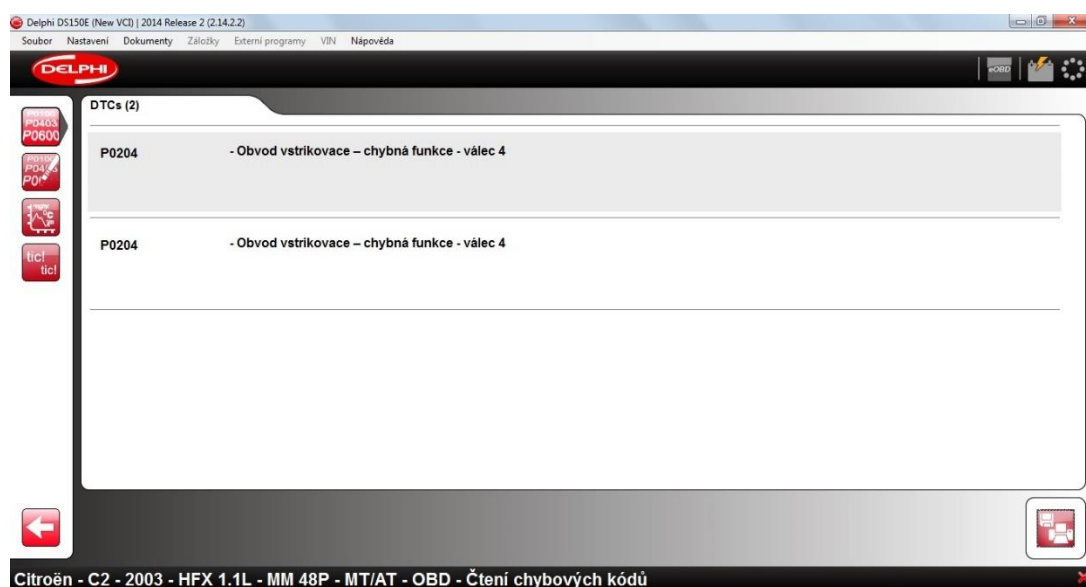
5.2 Kontrola vstřikování

Při prvním měření výfukového potrubí, kdy byl odpojený vstřikovač prvního válce, bylo vidět, jak bylo výfukové potrubí u prvního válce chladné, u ostatních tří válců se potrubí zahřívalo (Obrázek 4.5). Nejvyšší teplota potrubí byla chvíli po nastartování naměřena v potrubí třetího válce a dosahovala 53 °C, v potrubí druhého a čtvr-

tého válce byly teploty podobné. V potrubí prvního válce byla teplota pouze 8 °C, což se skoro nelišilo od teploty prostředí. Celé měření probíhalo při okolní teplotě 5 °C. Nasimulovaná vada byla velice dobře znatelná ihned po nastartování motoru.

Na druhém termogramu (Obrázek 4.6) byl již vstřikovač prvního válce připojený, a tudíž se do všech spalovacích prostorů vstříkovalo palivo a výfukové potrubí se zahřívalo u všech válců. Nejvyšší teplota byla v tomto měření 120 °C, jelikož toto měření probíhalo ihned po prvním a potrubí nestihlo vychladnout. Z tohoto důvodu je i umístění nejvyšší teploty ve stejném místě, ale teplota výfukového potrubí prvního válce byla již 80 °C, což ukazuje, že je vstřikování ve válci funkční a v pořádku.

Bohužel když se odpojil vstřikovač a nastartovalo vozidlo, tak se do řídicí jednotky načetla vada a musela se vymazat pomocí automobilové diagnostiky Delphi.



Obrázek 5.1: Závady v řídicí jednotce po odpojení konektoru vstřikovače.

Kontrola vstřikování na výfukovém potrubí se ukázala jako efektivní ke zjištění vady na jednom z válců, a tudíž bych pro tuto činnost termokameru doporučil.

5.3 Kontrola dvouzónové klimatizace

Po ohřátí motoru vozu byla spuštěna klimatizace, bylo nastaveno foukání jen přes čelní výdechy topení a větrák topení byl nastaven naplno. Teplota u řidiče byla nastavena na nejnižší možnou teplotu, což je 16,5 °C, a u spolujezdce naopak na maximální možnou, tedy 28 °C.

Měření ukázalo, že rozdíly teplot jsou znatelné, konkrétně se v průměru teploty výdechů u řidiče pohybovaly okolo 9 °C a u spolujezdce 20 °C. Důvod, proč výde-

chy nefoukaly vzduch na přesnou nastavenou teplotu, je, že se motor ještě dostatečně nezahřál a okolní teplota byla 2 °C. To ale ke zjištění funkčnosti dvouzónové klimatizace stačí, protože rozdíly mezi stranou řidiče a spolujezdce byly veliké, zároveň žádný z výdechů nefoukal odlišnou teplotu, než měl.

Pro kontrolu dvouzónové klimatizace se využitelnost termokamery prokázala a doporučil bych ji k diagnostice vad tohoto typu. Zároveň by se dala použít ke kontrole funkčnosti například jednoho z výdechů topení.

5.4 Kontrola podvozku

Při kontrole podvozku se nevyskytla žádná závada kromě většího tepelného rozdílu na pneumatikách. Byla kontrolována veškerá ložiska a všechny komponenty na podvozku, ale viditelná vada nebo nesrovnalost se ukázala pouze na pneumatikách. Měření probíhalo při okolní teplotě 8 °C.

Opotřebením bylo nadměrné u obou pneumatik přední nápravy na vnitřních stranách běhounu. Zvýšené teploty se ukázaly také pouze u předních pneumatik. Pneumatika na straně řidiče měla vnitřní stranu běhounu zahřátou na teplotu 27 °C a vnější stranu pouze na 15,4 °C. Pneumatika na straně spolujezdce měla podobné teploty, a to na vnitřní straně 26,8 °C a na vnější 14,9 °C.

Nemusí se jednat vyloženě o chybu, nicméně bych doporučil, aby byla zkontrolována geometrie náprav, popřípadě seřizeny nedostatky, protože tato může poukazovat na nesprávně opotřebenou pneumatiku.

Na podvozku bohužel nebyla nalezena žádná nesrovnalost, nicméně si myslím, že kontrola rotačních součástí by byla termokamerou rychlejší a doba diagnostiky by se velice snížila. Ukázala se také jako dobrý prostředek ke kontrole pneumatik, tedy i geometrie náprav.

5.5 Kontrola brzd

Měření kotoučových brzd bylo prováděno dvakrát. Jelikož toto měření probíhalo zároveň s kontrolou podvozku, tak při prvním měření nebyla demontována kola z automobilu, ale pouze se změřily brzdové kotouče s kolem na vozidle. Okolní teplota byla při obou měřeních 8 °C.

Před prvním měřením se z důvodu znatelnějších rozdílů teploty na podvozku ujelo 30 kilometrů. Díky tomu byly hodně ohřáté i brzdy.

Nejvyšší teploty na obou kotoučích byly v místě, kde má kotouč žebrování, díky němuž se chladí. Nejvyšší teplota žebrování na straně řidiče byla 61,5 °C a u spolu-

jezdce 56,5 °C. Rozdíl teplot není nijak velký, a tudíž se dá usuzovat, že opotřebování obou kotoučů je stejně velké.

Na provozní části brzdového kotouče, kde dochází ke styku s brzdovým obložním, je povrch tak hladký, že funguje jako zrcadlo a odráží teplotu kola, které bylo nasazeno na vozidle při prvním měření. Proto byly měřeny teploty na žebrování, kde k ničemu takovému dojít nemohlo.

Při druhém měření byly splněny všechny podmínky jako při prvním měření a demontovala se i kola. Byly kontrolovány i brzdové třmeny. Brzdový třmen na straně řidiče měl nejvyšší teplotu 24,8 °C a na straně spolujezdce 25,5 °C.

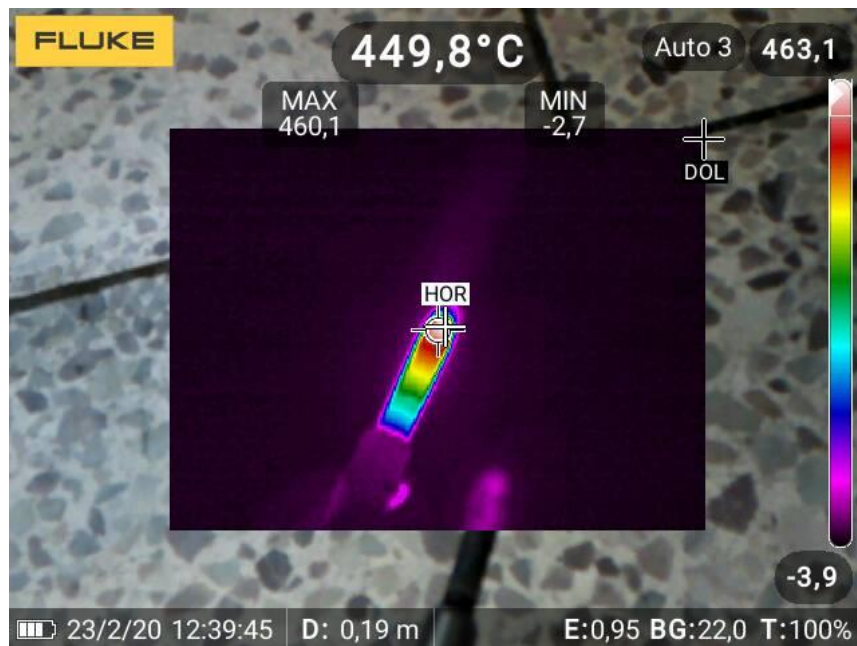
Měření proběhlo na obou kotoučích přední nápravy a nebyl znatelný rozdíl teplot mezi kotouči ani mezi brzdovými třmeny. Na žádné brzdě nebyla nalezena závada.

Termokamera se neukázala jako dobrý prostředek pro kontrolu brzd a není důvod pořizovat si ji za tímto účelem.

5.6 Chyby při měření termokameru

Při měření byla kamera Fluke Ti200 vyzkoušena v několika odlišných případech a jsem schopen ji zhodnotit.

Při měření jsem si na této kameře všiml několika nedostatků. V první řadě po každé, když byl ručně zaostřen objekt, aby byl na termokameře ostrý a šlo lépe zkoumat teplotní rozdíly, byl termogram posunut oproti celému snímku (viz Obrázek 5.2).



Obrázek 5.2: Termogram žhavící svíčky 2.

Na obrázku je zřetelně vidět posunutí termogramu oproti reálné fotografii. V praxi může takováto věc způsobit velký problém, pokud se nebude s touto chybou počítat předem. Mně samotnému tento nedostatek způsobil několik problémů při měření a často mi prodloužil dobu měření nebo alespoň přípravu.

Druhý problém, který se několikrát stal při měření, byl, že po spuštění termokamery se nenačetla SD karta. Nepomohlo ani, když byla karta vyndána a opět vrácena zpět do termokamery. Pomohlo, když byla termokamera vypnuta a opět zapnuta. I přesto bylo potřeba takový úkon provést několikrát. Toto vypínání a zapínání termokamery může trvat několik minut a nemusí to jen protáhnout čas měření, ale často se stalo, že se muselo celé měření opakovat. Byla vyzkoušena i jiná SD karta, s tou se to dělo také, takže závada byla v termokameře. Největší problém této chyby je, že nenačtení SD karty se zjistí, až po vyfocení snímku a následném pokusu o uložení, tudíž ztratíte tuto fotografii, protože musíte termokameru restartovat.

Závěr

Cílem práce bylo zjistit, zda je termokamera využitelná při diagnostikování automobilů. Toho bylo dosaženo tím, že se stanovilo pět měření, díky kterým se došlo k závěru, že termokamera má uplatnění u měření žhavicích svíček, dvouzónové klimatizace, podvozku a kontroly vstřikování sledováním výfukového potrubí. Celkově se ve čtyřech z pěti měření termokamera osvědčila jako efektivní prostředek pro diagnostiku daných komponent. Zároveň se termokamera ukázala jako daleko bezpečnější alternativa diagnostikování než konvenční metody, jelikož se kontroluje z bezpečné vzdálenosti od vozidla. Termokamerou je možné kontrolovat rotační součásti při provozu a bez potřeby styku se součásti. Při měření bylo zjištěno, že s ní lze velmi dobře kontrolovat nadměrné zahřívání částí kabelových svazků, a zabránit tak budoucí závadě.

Pominu-li dvě nejzávažnější chyby, které se vyskytly při měření, musím říct, že termokamera je velice dobrý pomocník při hledání závad na automobilu a doporučil bych ji do servisů.

Jediný důvod, který odrazuje od koupi je bohužel cena. Cena tohoto modelu činí 176 tisíc korun, a to je jeden z nejslabších modelů. Právě cena je důvod, proč termokameru nemá každý servis. Tolik peněz za jeden diagnostický přístroj autoservisy nezaplatí, protože se jim to nevyplatí, jelikož lze v mnoha případech nahradit termokameru jinými a často rychlejšími diagnostickými metodami.

Seznam použité literatury

Fluke Corporation a The Snell Group (2009), *Introduction to Thermography Principles*, American Technical Publishers, ISBN 978-0-8269-1535-1.

Wikipedia (2022). *Sálání*. [online] [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/S%C3%A1l%C3%A1n%C3%AD>

Sládek, P. (2017). *Záření černého tělesa*. [online] Informační systém Masarykovy univerzity. [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1441/jaro2017/FY2RC_TF1/um/zarenicernehotelesa_1.pdf

Termokamera.cz, (2022). *Princip a funkce*. [online] [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/>

Nožička, J. (2008). *Základy termomechaniky*. Vydání druhé. České vysoké učení technické v Praze, Praha. ISBN 978-80-01-04022-5.

Blažek, J. (1993). *Úvod do termodynamiky a statické fyziky*. Vydání první. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice. ISBN 80-7040-099-4

Halliday, D. et al. (1997). *Fyzika. Část 2, Mechanika-Termodynamika*. VUTIUM. Brno. ISBN 80-214-1868-0.

Ripka, P. et al. (2005). *Senzory a převodníky*. ČVUT, Praha. ISBN 80-01-03123-3

Mechlová, E. a Košťál, K. (1999). *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz*. 1. vyd. Praha. Prometheus. ISBN 80-7196-151-5.

Modest, M. (2013). *Radiative heat transfer*. 3. vydání. Elsevier, Oxford. ISBN 978-0-12-386944-9.

Obdržálek, J. (2015). *Úvod do termodynamiky, molekulové a statické fyziky*. MATFYZPRESS, Praha. ISBN 978-80-7378-287-0.

Štrba, A. (1979). *Všeobecná fyzika 3 - Optika*. 1. vydání. Alfa, Bratislava.

Malý, P. (2008). *Optika*. 1. vydání. Univerzita Karlova, Praha. ISBN 978-80-246-1342-0.

Sova, J. a Kovář, J. (2014). *Termokamery a pyrometry*. Automa.cz [online]. [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/52891.pdf

Saleh, B. a Teich, M. (1995). *Základy fotoniky 3*. 1. vydání. MATFYZPRESS, Praha. ISBN 80-85863-05-7.

Pavelek, M. et al. (2007). *Vizualizační a optické měřicí metody*. [online] Fakulta strojního inženýrství [cit. 2022-03-30]. Dostupné z:

<https://eu.fme.vutbr.cz/file/vomm/>

Fluke (2013). *Ti200, Ti300, Ti400 Thermal Imagers: Uživatelská příručka*. Česko.

AUTOkataloge.cz, (2011). *Peugeot 206*. [online] [cit. 2022-02-03]. Dostupné z:

<http://auto.kataloge.cz/peugeot-206.php>

AUTOkataloge.cz, (2011). *Citroën C2*. [online] [cit. 2022-02-03]. Dostupné z:

<http://auto.kataloge.cz/citroen-c2.php>

Auto-data.net, (2022). *2005 BMW 3 Series Sedan (E90) 320d (163 Hp)* [online] [cit. 2022-02-03]. Dostupné z: <https://www.auto-data.net/en/bmw-3-series-sedan-e90-320d-163hp-9928>

MaK, (2017). *NGK Info – Díl 1: Princip fungování naftového motoru, funkce žhavicí svíčky*. [online] [cit. 2022-02-03]. Dostupné z:

<https://motofocus.cz/vyrobci/32563.ngk-info-dil-1-princip-fungovani-naftoveho-motoru-funkce-zhavici-svicky>

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1.1: Planckův vyzařovací zákon. (Pavelek, M. et al., 2007) | 10 |
| Obrázek 1.2: Stefanův – Boltzmannův zákon vycházející z Planckova zákona. (Pavelek, M. et al., 2007) | 12 |
| Obrázek 1.3: Wienův posunovací zákon vycházející z Planckova zákona. (Pavelek, M. et al., 2007) | 13 |
| Obrázek 2.1: Mikrobolometrické pole. (Termokamera.cz, 2022) | 17 |
| Obrázek 2.2: Vliv útlumu jednotlivých složek vzduchu. (Termokamera.cz, 2022) .. | 19 |
| Obrázek 3.1: Termokamera Fluke Ti200 1–1. Slot pro paměťovou kartu micro SD 2. Připojení HDMI 3. Konektor pro USB kabel 4. Připojení pro přenosné paměťové zařízení USB 5. Zdířka pro napájecí adaptér nebo nabíječku 6. Kryt konektoru 7. Lithium-iontová baterie s inteligentním řízením 8. Síťový zdroj napájení s univerzálními adaptéry 9. Nabíjecí základna s pozicemi pro dvě baterie (Fluke, 2013) | 23 |
| Obrázek 3.2: Termokamera Fluke Ti200 2–1. Svítidla/baterka LED, 2. Kryt výsuvné objektivu, 3. Objektiv optické kamery, 4. Laserové ukazovátko/ dálkoměr, 5. Objektiv termokamery, 6. Sekundární spoušť, 7. Primární spoušť (Fluke, 2013)..... | 24 |
| Obrázek 3.3: Termokamera Fluke Ti200 3–1. Mikrofon, 2. Reprodukční LCD dotyková obrazovka (displej) 4. Ovládací panel, 5. Řemínek na ruku, 6. Ruční ostření (Fluke, 2013) | 24 |
| Obrázek 3.4: Funkce obraz v obraze s částečnou průhledností. | 25 |
| Obrázek 3.5: Peugeot 206. | 26 |
| Obrázek 3.6: Citroën C2. | 27 |
| Obrázek 3.7: BMW E90..... | 28 |
| Obrázek 3.8: Zapojení napájecího kabelu na žhavicí svíčky. 1. zapojený kabel na žhavicí svíčku maticí, 2. napájecí kabel, 3. odpojený spoj | 29 |
| Obrázek 3.9: Žhavicí svíčka u vozu Peugeot 206. | 30 |
| Obrázek 3.10: Motorový prostor připravený na měření. 1. Výfukové potrubí prvního válce, 2. Kabeláž vstříků, 3. Již sundaný krycí plech výfukového potrubí..... | 31 |
| Obrázek 3.11: Ovládání topení u vozu BMW E90. | 33 |
| Obrázek 4.1: Ohřátí kontaktu a kabelu žhavicích svíček po několika sekundách. | 35 |
| Obrázek 4.2: Detailnější pohled na kontakt napájení žhavicí svíčky. | 36 |
| Obrázek 4.3: Termogram žhavicí svíčky 1. | 37 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 4.4: Termogram žhavicí svíčky 2. | 38 |
| Obrázek 4.5: Termogram výfukového potrubí, kdy je u prvního válce odpojený vstříkovač. | 39 |
| Obrázek 4.6: Termogram výfukového potrubí, kdy jsou všechny vstříkovače připojené a funkční. | 40 |
| Obrázek 4.7: Termogram výdechů topení uprostřed vozidla. | 41 |
| Obrázek 4.8: Termogram výdechů topení u spolujezdce. | 42 |
| Obrázek 4.9: Termogram výdechu topení u řidiče. | 42 |
| Obrázek 4.10: Termogram opotřebení pneumatiky přední nápravy na straně řidiče. | 43 |
| Obrázek 4.11: Termogram opotřebení pneumatik přední nápravy na straně spolujezdce. | 44 |
| Obrázek 4.12: Brzdový kotouč přední nápravy na straně řidiče 1. | 45 |
| Obrázek 4.13: Brzdový kotouč přední nápravy na straně řidiče 2. | 46 |
| Obrázek 4.14: Termogram brzdového kotouče s demontovaným kolem na straně řidiče. | 46 |
| Obrázek 4.15: Termogram brzdového kotouče i s brzdovým třmenem na straně řidiče. | 47 |
| Obrázek 5.1: Závady v řídicí jednotce po odpojení konektoru vstříkovače. | 49 |
| Obrázek 5.2: Termogram žhavicí svíčky 2. | 52 |

Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 2.1: Rozdíl mezi tepelným a fotonovým detektorem. (Termokamera.cz, 2022) | 17 |
| Tabulka 2.2: Skupiny certifikace. (Fluke Corporation a The Snell Group, 2009)..... | 21 |
| Tabulka 4.1: Nejdůležitější teploty na obrázku 4.1..... | 35 |
| Tabulka 4.2: Nejdůležitější teploty na obrázku 4.2..... | 36 |
| Tabulka 4.3: Teploty žhavicí svíčky na obrázku 4.3. | 37 |
| Tabulka 4.4: Teploty žhavicí svíčky na obrázku 4.4. | 38 |
| Tabulka 4.5: Porovnání nejvyšších teplot žhavicích svíček..... | 38 |
| Tabulka 4.6: Teploty výfukového potrubí při odpojeném vstřikovači. | 39 |
| Tabulka 4.7: Teploty výfukového potrubí s připojeným vstřikovačem. | 40 |
| Tabulka 4.8: Teploty výdechů topení uprostřed vozidla..... | 41 |
| Tabulka 4.9: Teploty výdechů na straně řidiče. | 42 |
| Tabulka 4.10: Teplota pneumatiky na straně řidiče. | 43 |
| Tabulka 4.11: Teplota pneumatiky na straně spolujezdce. | 44 |
| Tabulka 4.12: Důležité teploty kotoučových brzd přední nápravy. | 47 |
