



Bakalářská práce

Měření teplot ložiska v náboji zadního kola osobního automobilu

Studijní program:

B0715A270008 Strojírenství

Autor práce:

Martin Tejkal

Vedoucí práce:

Ing. Martin Mazač, Ph.D.

Katedra částí a mechanismů strojů

Liberec 2024



Zadání bakalářské práce

Měření teplot ložiska v náboji zadního kola osobního automobilu

Jméno a příjmení:

Martin Tejkal

Osobní číslo:

S19000132

Studijní program:

B0715A270008 Strojírenství

Zadávající katedra:

Katedra částí a mechanismů strojů

Akademický rok:

2022/2023

Zásady pro vypracování:

Navrhněte zařízení pro měření teplot ložiska v náboji zadního kola automobilu. Popište možnosti měření, zvolte optimální místo měření, navrhněte přípravek či konstrukční úpravy pro realizaci měření. Zhodnoťte změnu pevnosti (tuhosti) po úpravách náboje kola pro měření. Sestavte metodiku měření. Proveďte základní měření a vyhodnoťte výsledky. Z výsledků měření vyvodte závěry a sestavte doporučení uplatnitelná při dalším vývoji.

Rozsah grafických prací: přílohy dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: max. 50 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: čeština

Seznam odborné literatury:

- [1] HAASZ, Vladimír a Miloš SEDLÁČEK. *Elektrická měření: přístroje a metody*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN isbn80-01-02731-7.
- [2] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. Praha: BEN – technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin. ISBN isbn80-7300-145-4.
- [3] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky pro školu a praxi*. Praha: Scientia, 2004. ISBN 80-7183-312-6.
- [4] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů 1: stručný přehled*. Vyd. 5., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-183-2.
- [5] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů 2: stručný přehled*. Vyd. 5., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-184-9.

Vedoucí práce: Ing. Martin Mazač, Ph.D.
Katedra částí a mechanismů strojů

Datum zadání práce: 1. prosince 2022
Předpokládaný termín odevzdání: 31. května 2024

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Michal Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. prosince 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Měření teplot ložiska v náboji zadního kola osobního automobilu

Abstrakt

Tato práce se zabývá měřením provozních teplot ložiska zadních kol osobního automobilu. Obsahuje rozbor možností měření teplot včetně druhů snímačů. Pro měření byla zvolena nejvhodnější metoda a snímač. Dále je zde popsána konstrukce přípravku pro uchycení snímačů a jeho montáž do náboje kola. Samostatná část práce je věnována výrobě, sestavení a montáži tohoto přípravku. Souhrnně popsán je také průběh provedených měření pro ověření funkčnosti navrženého systému, z poznatků byla vytvořena metodika a doporučení pro další měření. Naměřené hodnoty teplot jsou zpracovány do grafů a v závěru zhodnoceny spolu s dalšími doporučeními.

Klíčová slova

měření teploty, teplota, ložisko, osobní automobil, náboj

Automobile Rear Wheel Bearing Temperature Measurement

Abstract

This thesis deals with the temperature measurement of a passenger car rear wheel bearing. It contains an analysis of temperature measurement options, including types of sensors. The most suitable method for the measurement was chosen and the most suitable sensor was selected. The sensors holding device design and its assembly into the wheel hub is described. The manufacturing and assembly of the measurement device is described. The performed measurements for the designed system functionality verification is also described in summary. The methodology and recommendations for further measurements were created from the findings. The measured temperature values were processed into graphs and evaluated. The final recommendations at the end are added.

Keywords

temperature, measurement, rear wheel bearing, passenger car

Poděkování

Za odborné vedení a trpělivost při konzultacích děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Mazačovi, Ph.D. Poděkování patří také Ing. Martinu Procházkovi z firmy Škoda Auto a.s. za významnou odbornou pomoc a konzultaci ohledně technického řešení měření. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za podporu během celého studia.

Obsah

1. Úvod.....	6
2. Teoretická část.....	7
2.1. Uložení zadního kola automobilu	7
2.2. Vývin tepla a změna teploty.....	8
2.3. Principy snímačů pro měření teplot	9
2.3.1 Odporová teplotní čidla	9
2.3.2. Termoelektrické senzory (termočlánky)	10
2.3.3. Polovodičová teplotní čidla s PN přechodem	12
2.3.4. Infračervené (IR) měření teploty (termokamery).....	12
3. Metodika měření a technické řešení sestavy	14
3.1. Okolní podmínky měření	14
3.2. Metoda měření dle Škoda Auto a.s.	16
3.3. Stanovení metody měření a umístění senzorů.....	16
3.4. Měřicí sestava.....	16
3.4.1. Měřicí podložka.....	17
3.4.2. Montážní díly sestavy.....	20
3.5. Příprava termoelektrických senzorů k měření.....	20
3.5.1. Montáž senzorů do měřicí podložky	21
3.6. Montáž měřicí sestavy.....	22
4. Měření	24
4.1. Provozní podmínky automobilu	25
4.2. Ověření funkčnosti měřicí sestavy	26
4.3. Polygon Úhelnice	29
4.4. Průběh měření.....	29
5. Vyhodnocení měření	30
6. Závěr.....	32
Použitá literatura	35
Přílohy	36

Seznam zkratek

K	jednotka teploty	Kelvin
Ω	jednotka elektrického odporu	Ohm
$^{\circ}\text{C}$	jednotka teploty	Stupeň Celsia
μm	jednotka délky - mikrometr	Metr
Al	materiál - Hliník	-
Cr	materiál – Chrom	-
Cu	materiál – Měď	-
Mg	materiál – Hořčík	-
Mo	materiál – Molybden	-
Ni	materiál – Nikl	-
Pt	materiál – Platina	-
Re	materiál – Rhenium	-
Rh	materiál – Rhodium	-
Si	materiál – Křemík	-
W	materiál – Wolfram	-
ČHMU	Český hydrometeorologický ústav	-
HV	tvrdost materiálu dle Vickerse	-
PLA	materiál – Přírodní plast pro 3D tisk	-
PETG	materiál - Polyethylenglykol	-

1. Úvod

Tato bakalářská práce se zaměřuje na měření teploty zadního ložiska osobního automobilu. Společnost Škoda Auto a. s. nabídla toto téma jako součást svého student programu, díky kterému jsem měl možnost závěrečnou práci ve spolupráci s firmou zpracovat.

V teoretické části se věnuji základní konstrukci zadní nápravy automobilu, poté popíši základní přenos energií v ložisku při pohybu. Následně se budu zabývat jednotlivým snímačům teploty pro měření, kdy největší pozornost věnuji termoelektrickému senzoru.

V praktické části se věnuji návrhu a vývoji měřicí podložky a ostatních montážních dílů sestavy. Pozornost byla věnována zejména vývoji přípravku pro měření teploty ložiska během reálného provozu. Následující kapitoly jsou věnovány návrhu součástí, které byly nezbytné pro montáž sestavy ložiska s měřícím přípravkem a vedením kabelového svazku snímačů teploty.

Důvodem k realizaci měření bylo přesnější určení provozních podmínek - teploty ložiska. Vzhledem k aplikaci jiného maziva při výrobě, bylo třeba ověřit správnost volby - provozní teploty. Toto mazivo označila laboratoř Volkswagen jako nevhodné pro použití při záporných teplotách, s odůvodněním, že hrozí znehodnocení maziva, což by vedlo ke snížené životnosti ložiska.

Technický vývoj Škoda Auto a.s. chtěl tuto premisu ověřit v praxi, neboť externí dodavatel ložisek kol dodal výsledky zkoušek, které se lišily od závěrů (tribologické) laboratoře Volkswagen. Vzhledem k tomu, že v reálném provozu nelze zcela přesně opakovat zkoušky se stejnými počátečními podmínkami, tak často dochází k realizaci testů v laboratoři, kde ale zkušební podmínky nemusí zcela odpovídat reálným podmínkám provozu.

Z toho důvodu bylo třeba vyvinout zařízení, které umožní spolehlivě stanovovat teplotní křivky přímo za provozu a při různých počátečních podmínkách, například při arktických, nebo tropických teplotách. Dále bylo třeba stanovit dobu, za jakou se ložisko ohřeje a ujetou vzdálenost, kterou bylo třeba urazit k ustálení teploty, kterou jsme následně prohlásili za teplotu provozní.

2. Teoretická část

V této kapitole je vysvětleno základní konstrukční uspořádání zadní nápravy vybraného automobilu, dále konstrukce ložiska a celé sestavy náboje zadního kola. Jsou zde také uvedeny základní informace týkající se přeměn energií v ložisku. Část kapitoly je věnována problematice teplotních senzorů. Popsány jsou vybrané způsoby měření teplot. Termoelektrické senzory a princip jejich funkce jsou zpracovány podrobněji.

2.1. Uložení zadního kola automobilu

Pro účel měření bylo zvoleno vozidlo ze segmentu B, což je nejčastěji hatchback, případně i sedan. Pro představu toto označení odpovídá vozidlům jako je např. Škoda Fabia, Ford Fiesta nebo Peugeot 208. Tato vozidla se vyznačují pohotovostní hmotností okolo 1300 kg. V koncernu Volkswagen se na těchto vozidlech používá nejčastěji ložisko označené jako „ložisko 2. generace“. Toto ložisko je dvouřadé, kuličkové s kosoúhlým stykem. Tento typ ložiska je zde použit z důvodu radiálně axiálního působení zatížení během provozu a snadného montážního postupu.

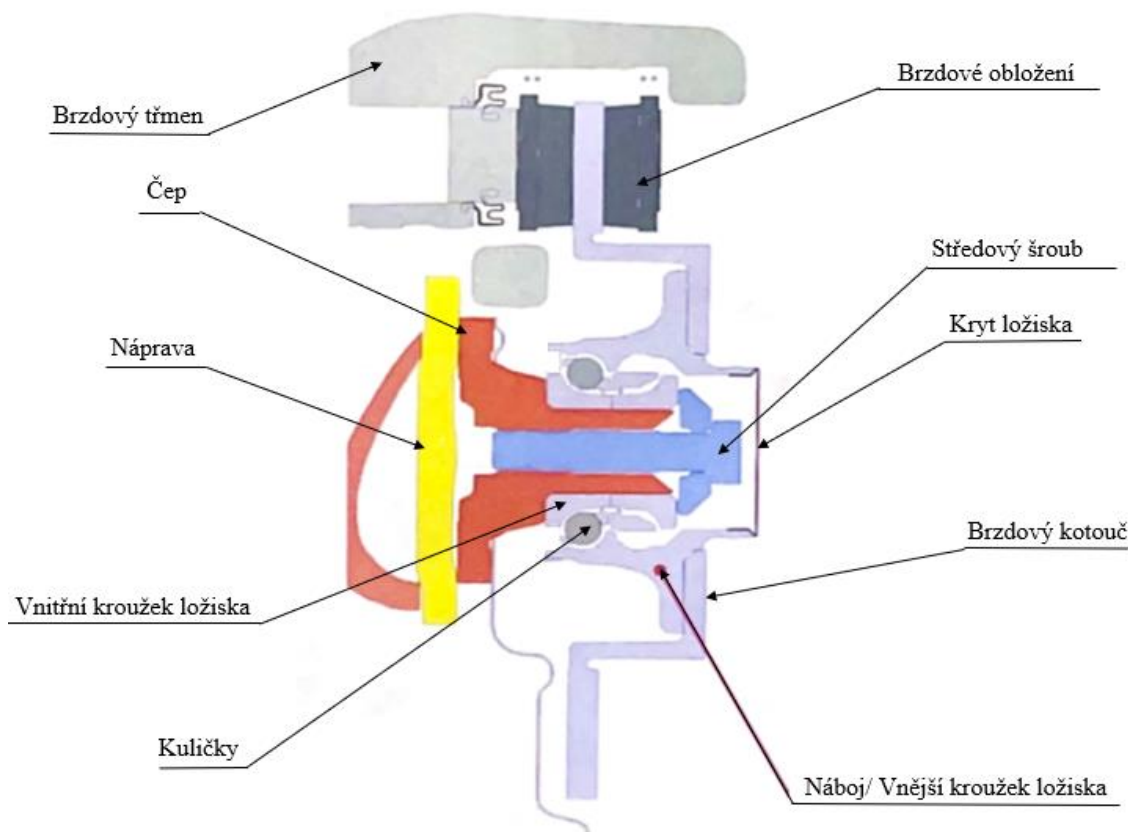
Zadní náprava je u zvoleného vozidla kliková, sprážená, s podélnými rameny spojenými torzní příčkou. Tato náprava je typická u tohoto segmentu vozů pro zavěšení zadních kol. U takto řešené nápravy je každé kolo zavěšeno zvlášť na rameni. Tyto ramena jsou spojena profilem, obvykle ve tvaru U, který zde plní funkci příčného stabilizátoru [1].

Na ramenech je čtyřmi šrouby upevněn vodorovný čep, na kterém je následně nasunuté ložisko. Náprava může být osazena kotoučovou nebo bubnovou brzdou.

Při konfiguraci s kotoučovou brzdou je brzdový třmen připevněn přímo k přírubě podélného ramene nápravy. Na náboj, který je „vnějším kroužkem ložiska“, je nasazen brzdový kotouč, který je připevněn pojistným šroubem se záпустnou hlavou.

V případě použití bubnové brzdy je brzdový štít připevněn k rameni nápravy společně s čepem. Pro uchycení štítu jsou využity šrouby spojující čep a rameno nápravy.

Celá sestava náboje je stažena středovým šroubem, utaženým dle montážního návodu. Kolo automobilu je nasazeno přímo na středící osazení náboje a dosedací plochu kotouče (případně brzdového bubnu), následně uchyceno kolovými šrouby. Nutno podotknout, že nezáleží na zvolené variantě zvoleného brzdového systému, v obou případech jsou náboj, čep a středový šroub s podložkou stejné, viz Obr. 1.



Obr. 1 Řez zadním nábojem automobilu

2.2. Vývin tepla a změna teploty

Podstatou funkce valivého ložiska je změna kluzného tření na valivé, které způsobuje podstatně nižší mechanický odpor.

Předpokládáme, že při rotačním pohybu ložiska náboje se přeměňuje část mechanické energie na jiné druhy energií, ze kterých pak většina přechází na teplo (teplo se vyvíjí v důsledku disipačních dějů v ložisku). Největší disipaci energie zaznamenáváme v důsledku smykového tření a valení mezi jednotlivými prvky ložiska (kuličky-vnější/vnitřní kroužek, kuličky-klec). Tato disipovaná energie se mění na teplo, důsledkem vývinu tepla je změna teploty, kterou jsme schopni měřit. Při pohybu automobilu dochází k odvalování a tření částí ložiska, jeho zatížení se mění v závislosti na směru jízdy, například když automobil projíždí zatáčkou (při tomto pohybu dochází k výraznějšímu zatížení v axiálním směru a současnému přitěžování či odlehčování), předpokládáme tedy, že se teplota při těchto manévrech zvyšuje více, než když automobil jede pouze rovně.

Ložisko se ale také může ohřívat vlivem funkce brzd, které často dosahují několika set stupňů, zejména při prudkém brždění plně zatíženého vozidla.

Disipovanou energii (především teplo) je nutné odvádět, avšak v přiměřené míře, neboť v přiměřeném množství přispívá k udržení vhodné provozní teploty ložiska (vymezení výrobních vůlí, vlastnosti maziva).

K odvodu tepla dochází zejména na povrchu náboje nucenou konvekcí- proudícím vzduchem. Podrobněji se tomuto tématu se věnuje [4].

2.3. Principy snímačů pro měření teplot

Teplota je jednou ze základních fyzikálních veličin (jednotka SI: [K]) a je velmi důležitá pro technickou praxi. Zkoumání tepelných jevů má nejen teoretický, ale i praktický význam.

Teplota (a následně zvyšující se teplota), které je vyvíjeno při valení ložiska, ovlivňuje životnost, valivý odpor, vibrace a další.

K měření teploty slouží metody založené na základních fyzikálních principech. Následující kapitola obsahuje krátký souhrn informací o běžně využívaných základních metodách pro měření teplot, z nichž vybereme tu nejvhodnější pro naši aplikaci.

Měření teplot může probíhat více metodami (způsoby). Na výběr máme z několika druhů teploměrů. Jeden ze základních způsobů měření teploty založený na změně hodnot elektrických veličin je například odporový teploměr, který má téměř lineární odporovou charakteristiku (závislost změny odporu na teplotě), což je výhodné pro rychlé a snadné určení teploty. Další často využívaný teploměr je termoelektrický senzor, kde máme k dispozici převodní tabulku napětí, díky čemuž také poměrně snadno získáme výslednou teplotu.

Další možností je měření bezkontaktní, vzhledem ke složitější zástavbě, je pro náš případ měření tento způsob nevhodný. Další způsob měření je například pomocí termistorů, princip měření bude uveden v kapitole 2.3.3. [2].

Tab. 1 Shrnutí měřicích metod

Dotykové metody	Bezdotykové metody
Odporová kovová čidla	Termokamery
Polovodičové s p-n přechodem	Laserové
Termoelektrické	Bezdotykový bodový teploměr

2.3.1 Odporová teplotní čidla

Odporové kovové senzory fungují na principu změny elektrického odporu v závislosti na teplotě. Při zvyšování teploty dochází k většímu kmitání atomů v krystalové mřížce, což způsobuje zvýšení odporu pro průchod elektronů, z čehož plyne zvýšení odporu. Elektrický odpor je v závislosti na teplotě nelineární. Materiál odporových teploměrů je různý, nejčastěji se vyrábějí platinové, niklové a měděné.

Platinová teplotní čidla jsou nejpoužívanější, a to z důvodu, že platina je velice chemicky netečná, má časovou stálost a vysokou teplotu tání (1768,3 [°C]). Pro měření je použita čistota až 99,99 %. Standardní hodnota odporu snímače při 0 [°C] je 100 [Ω], ale obvykle se využívají teploměry s odporem od 50 [Ω] do 2000 [Ω]. Teplotní rozsah jejich použití je dle normy 200 [°C] až 850 [°C].

Niklová teplotní čidla mohou velice rychle reagovat na změnu teploty (nízká tepelná konstanta) mají větší citlivost a výhodou mohou být také malé rozměry. Avšak v porovnání s platinovými senzory mají mnohem více nelineární odporovou charakteristiku, tento fakt klade vyšší nároky na vyhodnocovací techniku. Hodnoty základního odporu niklových snímačů jsou podobné jako u platinových, přičemž hodnota odporu se pohybuje od 200 [Ω] do 2000 [Ω]. Tento typ senzoru lze použít při teplotách od -60 [°C] do 250 [°C].

Měděná teplotní čidla se dnes již příliš nepoužívají. Je to dáno tím, že měď snadno oxiduje a má malou rezistivitu (měrný elektrický odpor). Obvykle existují ve formě vinutých čidel, obvykle s počátečním odporem 50 [Ω] nebo 100 [Ω] Díky vlastnostem mědi lze například měřit teplotu měděného vinutí elektromotoru.

Výroba těchto čidel (platina, nikl, měď) probíhá buď vrstvením, nebo namotáním drátku do válce. Tento drátek je uložen a zafixován ve válcových keramických kapilárách, nebo je navinut na keramickém tělísku. Výroba vrstvením znamená, že je na nosnou destičku z korundové keramiky nanesená odporová vrstva z platiny nebo niklu. Vrstvené senzory mají ve srovnání s vinutými čidly vyšší odolnost proti otřesu a nižší cenu. [2]

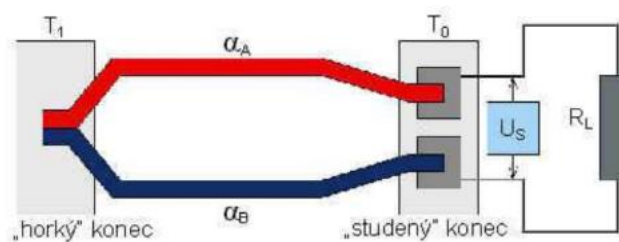
2.3.2. Termoelektrické senzory (termočláanky)

Tento druh snímače pracuje na základě přeměny tepelné energie na elektrickou. Termočlánek je vyroben ze dvou kovů. Jedná se o tzv. Seebeckův jev (termoelektrický jev), který vzniká tím, že se v jednoduchém elektrickém obvodu přesouvají nositelé náboje z teplejší části do studenější. Pokud tento obvod přerušíme, tak začne vznikat na svorkách měřitelné elektrické napětí, viz Obr 2.

Termoelektrický senzor (termočlánek) je vyroben ze dvou odlišných materiálů, které jsou spojeny. Toto spojení je provedeno svařením. Materiály jsou dány normou a značí se jednotlivými písmeny, např. K, J, N, E, R, S.

Rozlišujeme dva základní druhy konstrukčního provedení. Lze použít senzory s volným koncem, nebo osazené krytem (pláštěm) = sonda.

V sondách jsou měřicí spoje s vodiči uloženy uvnitř ochranného pláště (nerezová ocel, sklo, keramika, epoxidová pryskyřice atp.), kdy je zajištěna také odolnost proti vlivům okolního prostředí a ovlivnění dalšími rušivými jevy. [2]



Obr. 2 Schéma zapojení termoelektrického senzoru

Standardizované druhy termoelektrických senzorů a jejich funkční popis:

- Termoelektrické senzor typu K (NiCr-NiAl) – mechanicky a chemicky odolný, vhodný pro oxidační prostředí, je velmi citlivý, v praxi patří k nejvíce používaným, protože má velký rozsah teploty. Pro naše použití je jeden z nejvhodnějších a také je využíván firmou Škoda Auto a.s.
- Termoelektrické senzor typu J (Fe-CuNi) – Tento senzor má velice podobné vlastnosti jako termoelektrický senzor typu K, má o něco vyšší citlivost.
- Termoelektrické senzor typu N (NiCrSi-NiSiMg) – Výhodou tohoto čidla je, že má velmi stabilní charakteristiku a je odolný vůči neutronovému záření, je vhodný především pro jadernou energetiku.
- Termoelektrické senzor typu E (NiCr-CuNi) – Tento typ termoelektrického senzoru je nejcitlivější, má nejvyšší hodnotu termoelektrického koeficientu, vhodný je pro použití ve vakuu a středně oxidační atmosféře.
- Termoelektrické senzor typu R (PtRh13-Pt) – Používá se pro vyšší teploty, tudíž je vhodný pro využití v hutním průmyslu.
- Termoelektrické čidlo typu S (PtRh10-Pt) – Využívají se v zařízeních, kde je potřeba vysoká přesnost při vysokých teplotách, standardně vydrží teploty do 1300 [°C], případně je lze krátkodobě zahřát na teplotu až 1600 [°C]. [3]

Tab. 2 Shrnutí typů termoelektrických senzorů

Označení termočlánku	Složení	Měřicí rozsah [°C]
T	Cu-CuNi	-200 až 350
J	Fe-CuNi	-200 až 750
E	NiCr-CuNi	-100 až 900
K	NiCr-NiAl	-200 až 1200
N	NiCrSi-NiSiMg	-200 až 1200
S	PtRh10-Pt	0 až 1700
R	PtRhe13-Pt	0 až 1600

V praxi se nejčastěji využívají termoelektrické senzory typu K a J, které jsou z obecných kovů a díky tomu nejsou tak drahé. Obvyklá chyba měření termoelektrickými senzory typu K je ± 1 [°C]. Dále se využívají termoelektrické senzory z drahých kovů typu S, které má relativně velký teplotní rozsah a to od -200 [°C] až do 1700 [°C]. Díky použití speciálních materiálů pro termoelektrické senzory lze tento rozsah rozšířit až do cca 2300 [°C]. Pro tento rozsah teplot se používají termočlánky na bázi Wolframu a Rhenia (WRh5-WRh-20, W-WRh26, WRh-Wrh26, WRh3-WRh25). [2]

Při měření je signál (napětí) příliš nízký pro přímé zpracování a je nutné jeho zesílení pomocí zesilovače. Pro měření pomocí termoelektrických senzorů, je vhodné využít komerčně dodávané měřicí techniky.

2.3.3. Polovodičová teplotní čidla s PN přechodem

Polovodičové odporové senzory lze rozdělit do dvou základních kategorií. Jsou to termistory (NTC, PTC) a monokrystalické odporové senzory.

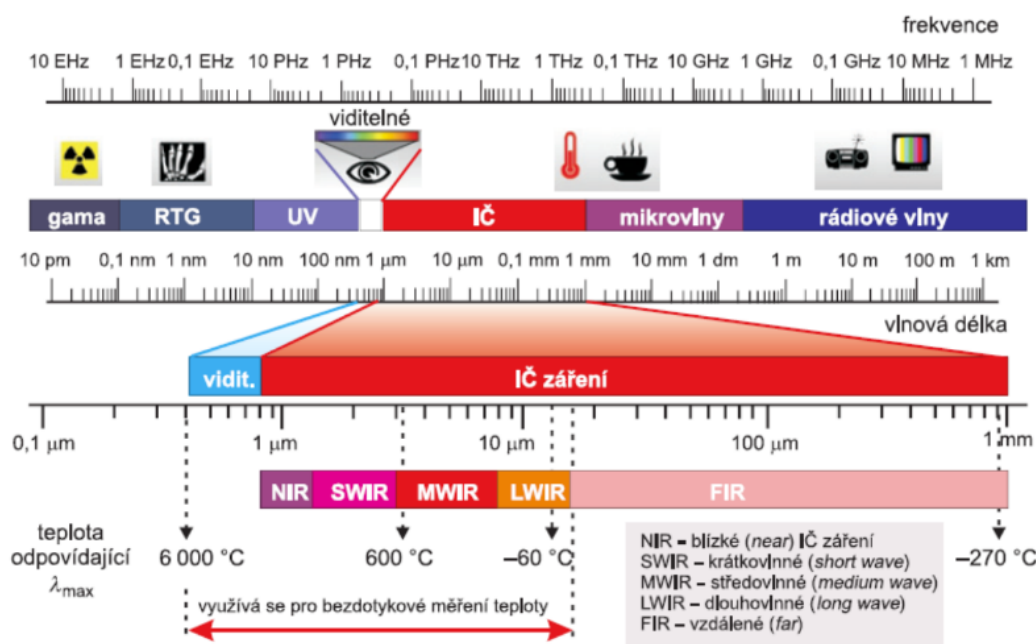
Termistory jsou dále rozděleny na NTC termistory- negistory, kde je záporný součinitel odporu a PTC termistory- pozistory, kde je naopak kladný součinitel odporu. Nevýhodou termistorů je, že mají velmi nelineární odporovou charakteristiku, a tudíž tato vlastnost klade vyšší nároky na vyhodnocovací techniku, která musí být k tomuto měření uzpůsobena.

Monokrystalické odporové senzory jsou podobné termistorům, jsou vyráběny z křemíku, germania a india. Používají se pro měření běžných teplot s menšími nároky na citlivost. S rostoucí teplotou klesá vodivost polovodiče a roste odpor. Jejich odporová charakteristika je více lineární než charakteristika termistorů. [2] Mají dlouhou časovou konstantu, což je pro naši aplikaci nevhodné. Z tohoto důvodu byl tento způsob měření zamítnut.

2.3.4. Infračervené (IR) měření teploty (termokamery)

Bezdotykové měření teploty má oproti kontaktnímu měření mnoho výhod, ale i specifických předpokladů k jeho úspěšné realizaci. Nejspíš největší výhodou je rychlost měření, kdy jsme schopni teplotu zjistit v řádech milisekund, což umožňuje zjistit rychlé změny teploty. Také můžeme měřit teplotu pohybujících se předmětů (nutnost zaručení stálého místa měření), nebo měřit teplotu z bezpečné vzdálenosti, což se využívá zejména při měření vysokonapěťových elektrických zařízení.

Detektory teploty, které se používají pro bezdotykové měření, využívají pro rozpoznání teploty vlnové délky, díky kterým dokáží určit teplotu povrchu součásti. Pro bezkontaktní měření je důležitá část vlnových délek 0,4 – 25 μm . Viditelné světlo pokrývají vlnové délky 0,4-0,78 μm . Dále vlnové délky 0,78-25 μm zahrnují oblast infračerveného spektra. Tuto oblast také nazýváme tepelným zářením a díky těmto vlnovým délkám jsme schopni měřit teplotu až do zhruba 6 000 [°C], viz Obr. 3.



Obr. 3 Rozdělení spektra elektromagnetického záření s vyznačenou oblastí využívané při bezdotykovém měření teploty

Při bezdotykovém měření, přístroje (např. termokamera) neměří přímo teplotu, ale vypočítávají teplotu pomocí rovnice termografie. Tyto přístroje jsou schopny měřit intenzitu tepelného záření. Pro správné stanovení teploty povrchu, je nezbytné správně nastavit hodnoty, které se vyskytují v rovnici termografie, tj. koeficient emisivity, zdánlivá odražená teplota, teplota atmosféry, relativní vlhkost a vzdálenost, mezi měřicím přístrojem a povrchem měřeného objektu.

Při výpočtu se využívá znalost tzv. Černého tělesa, přičemž tento objekt je pouze idealizovaný, protože žádný povrch není schopen 100% záření pohltit. Tento předpoklad vychází z Planckova zákona vyzařování, přičemž tomuto tématu se více věnuje [5].

Tento způsob měření není pro zadaný případ vhodný, neboť při snímání termokamerou, bychom byly schopni zaznamenat pouze teplotu povrchu disku kola a středové krytky ložiska (nelze nahlížet na části ložiska bez optické překážky).

3. Metodika měření a technické řešení sestavy

Tato kapitola pojednává o přípravné fázi celého měření. Nejdříve porovnáme nově zvolenou metodu měření s dosavadní realizovanou metodou. Následně bude stanovena vhodná doba pro provedení měření. Dále se práce zabývá konstrukčním návrhem měřicího zařízení. Závěrečná část kapitoly je věnována montáži měřicí sestavy na automobil.

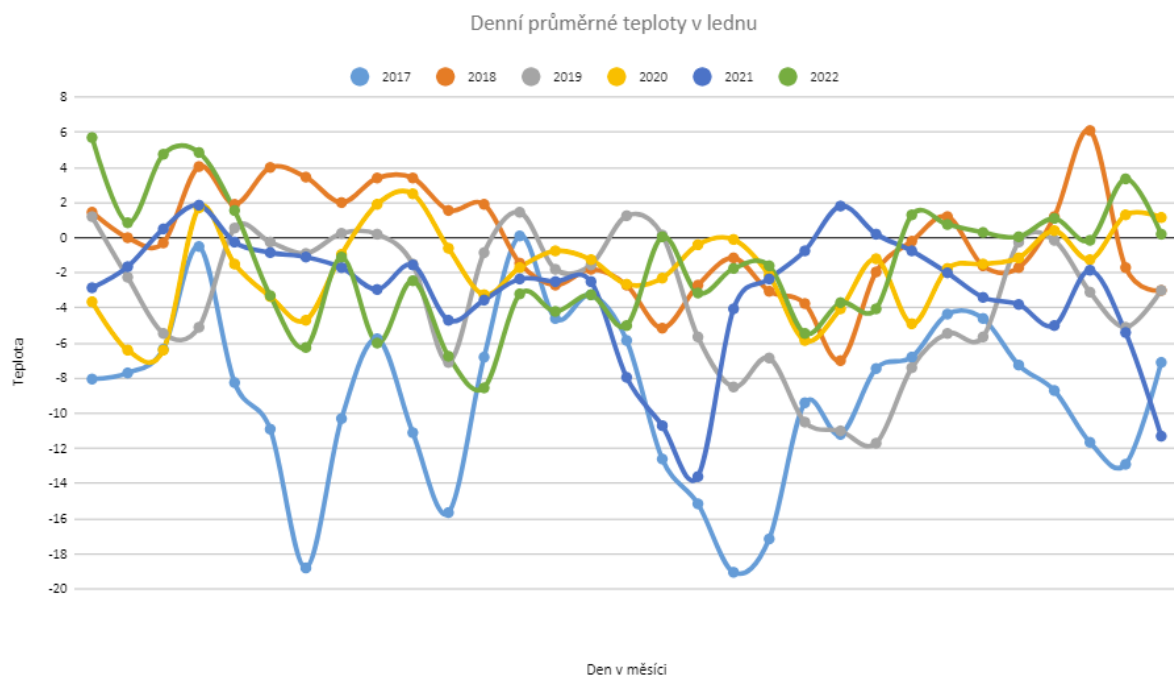
Všechny zmíněné části řešení byly realizovány s ohledem na požadavky ze strany Škoda Auto a.s., přičemž největší důraz byl kladen na bezpečnost.

Základní požadavky Škoda Auto a.s.:

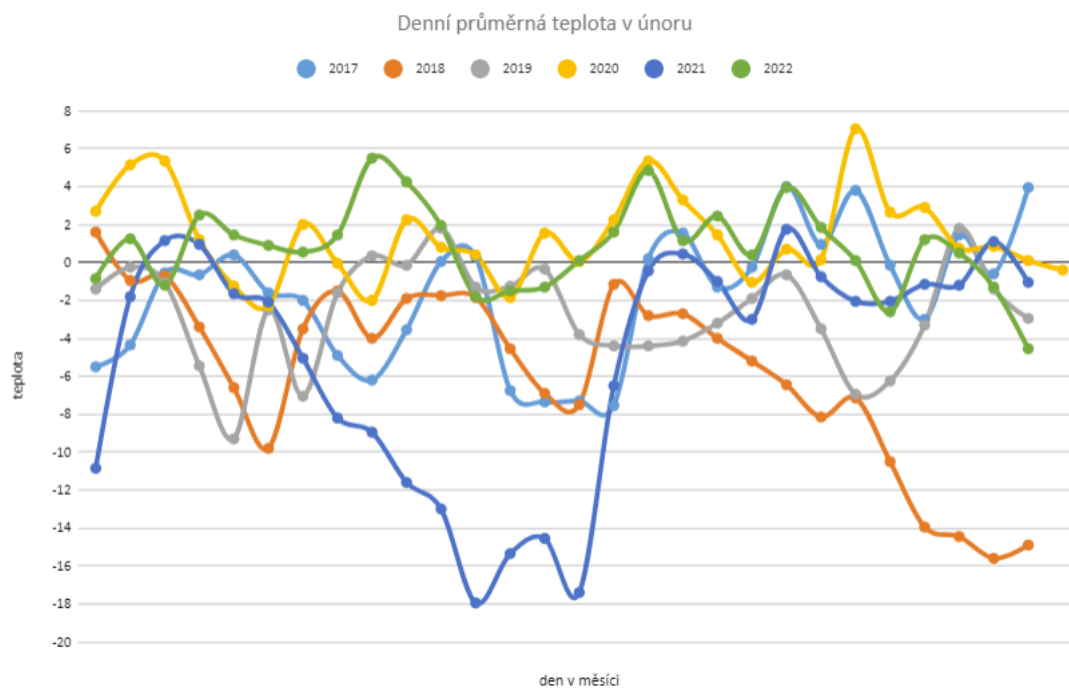
- 1) bezpečnost při měření (při selhání možnost vysunutí náboje kola a následná havárie)
- 2) jednoduchá montáž měřicího zařízení
- 3) využití firemního hardwaru + softwaru
- 4) sériový vůz z produkce společnosti splňující specifikaci pro realizaci měření
- 5) bezpečnostní kritéria testu (uzavřený okruh)
- 6) měřicí zařízení umožňující minimalizaci ekonomických nákladů (opakované užití zařízení/ užití cenově dostupných materiálů a technického vybavení)

3.1. Okolní podmínky měření

Při přípravě zkoušky bylo zohledněno zadání práce a potřeb vývoje společnosti Škoda Auto a.s. realizovat měření v období s nízkými teplotami vzduchu. Pro stanovení vhodného období pro realizaci měření byl kontaktován Český hydrometeorologický ústav, který poskytl statistické údaje o počasí v dané lokalitě (polygon Úhelnice). Na základě těchto informací, které bylo nutné zpracovat a vytvořit z nich přehledy, byla stanovena doba, kdy by bylo vhodné měření provést. Na základě dodaných dat ČHMU, bylo rozhodnuto, že měření proběhne na přelomu leden-únor. V tuto dobu je nejpravděpodobnější, že budou panovat co možná nejnižší teploty. Tento předpoklad se nakonec potvrdil, avšak z důvodu zpoždění výroby a s následným zimním testováním vývojových inženýrů Škoda Auto a.s., jsem rozhodl, že měření proběhne v dubnu. Průměrné teploty jsou vidět na grafech níže (Graf 1 a Graf 2).



Graf 1 Přehled průměrných teplot v lednu



Graf 2 Přehled průměrných teplot v únoru

3.2. Metoda měření dle Škoda Auto a.s.

Měření teplot již probíhala v rámci vývoje společnosti Škoda Auto a.s. Při těchto měřeních byly využity termoelektrické senzory typu K, nalepené na vnější povrch náboje (≈vnější kroužek ložiska). Vodiče byly následně vyvedeny otvorem pro upevňovací šroub bubnu ven z prostoru náboje. K měření bylo využito zařízení, upevněné na střed kola a rotují společně s kolem vozidla- systém telemetrie. Tyto zařízení vysílají signál, který je bezdrátově přenášen do přijímače umístěný ve voze spolu se zařízením pro další zpracování signálu. Pro stanovení teploty ložiska, je třeba naměřenou teplotu přepočítat na skutečnou teplotu povrchu oběžné dráhy ložiska (přestup a prostup tepla).

Velkou nevýhodou tohoto měření je značný vliv přestupu tepla do okolí, vlivem proměnlivého proudění okolního vzduchu se jedná o značně nestacionární děj.

3.3. Stanovení metody měření a umístění senzorů

Pro měření bylo zvolen termoelektrický senzor typu K, s volným koncem. Toto rozhodnutí bylo provedeno z několika důvodů. Snímače mají lineární charakteristiku, jsou vyráběny v požadovaném rozsahu teplot a rozměrů (vhodná velikost). Signál lze zpracovat za pomoci relativně dostupné měřicí techniky. Důvodem je také dostupnost této techniky v rámci společnosti Škoda Auto a.s. a značné zkušenosti techniků s jejím využitím při měření teploty.

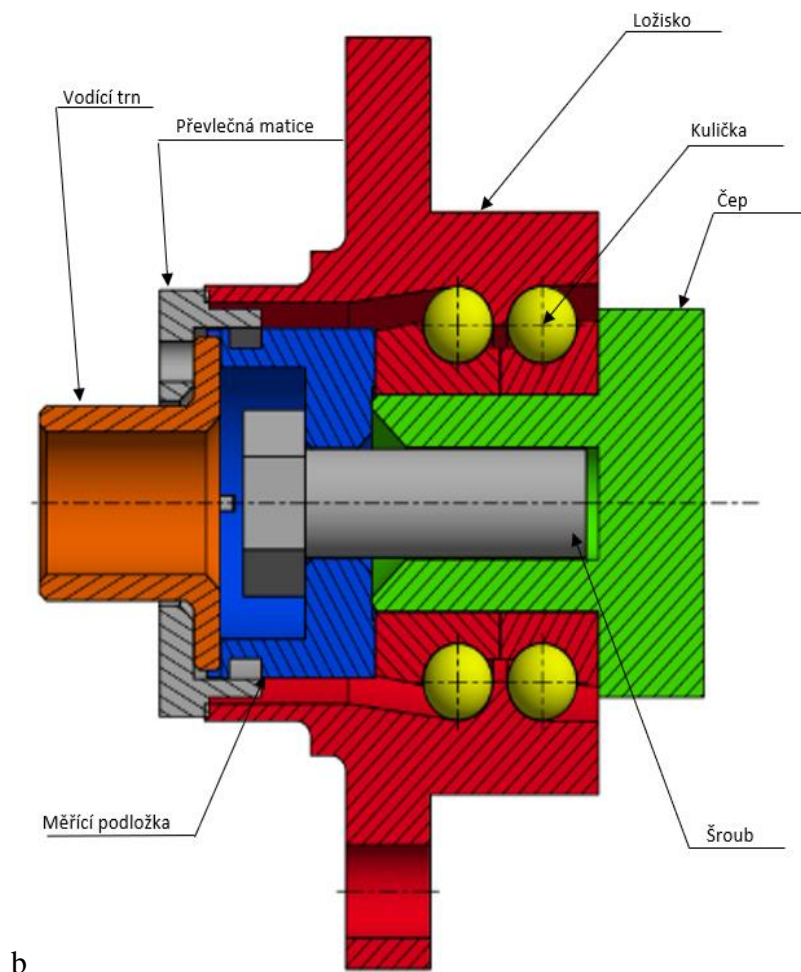
Měřicí technika pro zpracování signálu je produktem společnosti Dewesoft, která je dodavatelem společnosti Škoda Auto a.s.

Jako nejvhodnější místo pro umístění termoelektrického senzoru (místo měření teploty), byla zvolena vnější strana na vnitřním kroužku ložiska. K tomuto místu je snadný přístup při montáži. Vnitřní kroužek se při provozu ložiska neotáčí a toto místo je nejbližší k oběžné dráze, kde dochází k odvalování kuliček ložiska – předpokládané místo největší disipace energie (vývinu tepla).

Z těchto důvodů byla zvolena varianta zkonstruovat novou měřicí podložku, do které budou připevněny měřicí (termoelektrické) senzory. Díky tomuto řešení nedojde k narušení struktury náboje, a také nejsou potřeba žádné zásadní konstrukční úpravy ložiska. Zároveň toto řešení umožní minimalizovat náklady spojené s výrobou (tvarově a objemově nejméně náročná součást), také nákladné investice do speciálního nářadí (zachování stávajícího montážního postupu) nejsou zapotřebí. Nenarušení originálního náboje kola je ale přece jen hlavní předností řešení, nedojde ke změně tuhosti soustavy, a tím i případné ovlivnění výsledků (změnou tření) je nižší. Díky snadné záměně podložek (sériová za měřicí) je zaručena jednoduchá a rychlá montáž.

3.4. Měřicí sestava

Při vývoji nové měřicí sestavy bylo třeba vytvořit CAD model náboje, viz Obr. 4, včetně přesných rozměrů, aby bylo možné zkonstruovat novou měřicí sestavu. Poté zvolit vhodný materiál. K tomu byly využity náhradní díly, které mi byly poskytnuty. Následně, při samotné konstrukci nové podložky, bylo třeba zohlednit faktory, vycházející z originálního řešení soustavy šroub- podložka, přičemž nejdůležitější byla bezpečnost. Další, limitující faktory, byly např. průměr náboje, průměr montážního nářadí, hloubka náboje.



Obr. 4 Řez zadním nábojem s měřicí sestavou

3.4.1. Měřicí podložka

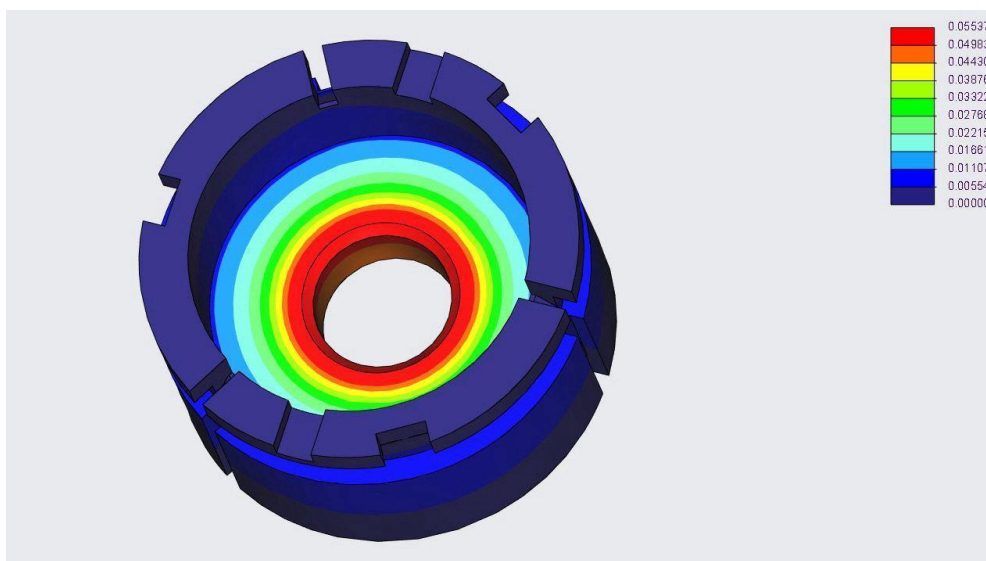
Vnitřní kroužky ložiska nasazené na čepu jsou svírány středovým šroubem se šestihrannou hlavou, pod níž je nasazena zvlášť navržená podložka. Pokud by došlo k poruše šroubu, nebo podložky, vnitřní kroužky ložiska se sesunou z čepu, dojde k oddělení náboje s kolem od nápravy a následné havárii.

Při konstrukci byl kladen důraz na dodržení základních rozměrů původní podložky (tloušťka materiálu na dosedací ploše) z důvodu zachování její tuhosti a pevnosti. Limitujícím rozměrem byl vnitřní průměr náboje, kterému bylo zapotřebí měřicí podložku přizpůsobit.

Důvodem bylo zamezení poškození podložky nebo destrukce měřících senzorů. Následně byl zvolen vnitřní průměr podle rozměru náradí, aby byla možná instalace na automobil (utažení šroubu na předepsaný moment). Vzhledem k velikosti senzorů (vnější průměr izolace vodiče a velikost měřícího “oka”) musela být správně zvolena šířka a hloubka drážek. Pro zvýšení spolehlivosti měřícího zařízení bylo rozhodnuto o paralelní zástavbě tří termoelektrických senzorů, tímto krokem je částečně eliminována možnost úplné nefunkčnosti zařízení vlivem možného poškození senzorů při montáži či během provozu. Při návrhu celé měřicí podložky byl brán zvláštní důraz na bezpečnost a z toho důvodu bylo třeba stanovit

vhodný materiál. K tomuto byly využity výrobní výkresy, kde je uveden materiál C45, viz příloha 1. Měřicí podložka je vyrobena ze stejného materiálu.

Byla provedena kontrola pevnosti a tuhosti měřicí podložky. Níže, na Obr. 5 je zachycena kontrola deformace pomocí (metody) MKP.



Obr. 5 Deformace po utažení měřicí podložky (v [mm])

Pro zástavbovou zkoušku, byla měřicí sestava vytištěna využitím moderní metody 3D tisku. Zde byl použit materiál PLA. Na tomto zkušebním výtisku bylo ověřeno, jaké přesnosti výroby lze dosáhnout touto metodou a dále tento model sloužil k ověření důležitých limitujících rozměrů (vnější a vnitřní průměr, výška), viz Obr. 6. Díky této zástavbové zkoušce byla ověřena Správnost zvolených rozměrů a základní možnost montáže

Následně bylo třeba ověřit montáž celé soustavy i s ostatními pomocnými díly. Provedené kroky jsou popsány v kapitole 3.4.2. Po úspěšné zástavbové zkoušce bylo rozhodnuto o začátku výroby měřicích podložek ze zvolené oceli.



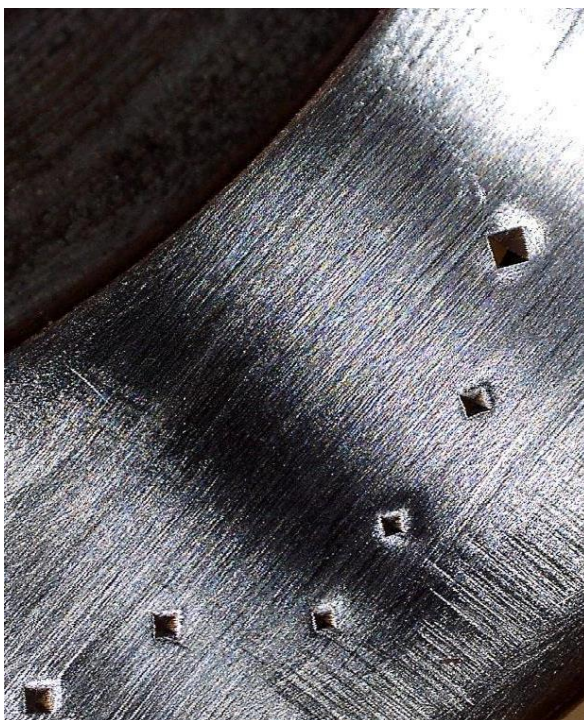
Obr. 6 Zástavbová zkouška (PLA, 3D tisk)

Výroba podložky proběhla v dílnách Škoda Auto a.s., kde došlo k obrobení (soustružení, frézování) polotovarů. Vyrobené ocelové měřicí podložky jsou níže na Obr. 7.



Obr. 7 Měřicí podložka

Během ověřovací montážní zkoušky bylo zjištěno, že při dotažení středového šroubu dle montážního návodu (utahovací moment a otočení o předepsaný úhel) došlo k značnému otlačení povrchu podložky pod hlavou šroubu, z čehož vyplynula nutnost zvýšit její povrchovou tvrdost. Po konzultaci s konstruktéry Škoda Auto a.s. a akademickými pracovníky z KST, bylo rozhodnuto o dodatečném povrchovém kalení podložek na tvrdost 300 HV. Tuto operaci provedla firma Meduna Vakuová kalírna s.r.o. Dosažením této hodnoty tvrdosti povrchu byl splněn požadavek odolnosti proti otlačení. Na Obr. 8 je vidět sérii vpichů provedených kalírnou pro ověření požadované tvrdosti materiálu.



Obr. 8 Kontrolní vpichy pro určení tvrdosti povrchu

3.4.2. Montážní díly sestavy

Další součásti sestavy jsou díly, které byly vytvořeny pomocí metody 3D tisku. Jedná se o díly nazvané převlečná matice a průchodka.

Tyto plastové díly jsou pouze pomocné, a ne příliš mechanicky namáhané, proto lze zmíněnou metodu 3D tisku bez obav využít. Jejich primární funkce byla zabránit pohybu sestavy tak, aby nedošlo k poškození vodičů senzorů. Průchodka je fixována k ocelové měřicí podložce pomocí převlečné matice, souosost průchodky a měřicí podložky je zabezpečena osazením. Pootočení převlečné matice je omezeno drážkou. Pootočení převlečné matice je omezeno drážkou a pevným čepem, maximální pootočení je definováno délkou drážky

Tyto díly byly nejprve vytištěny z materiálu PLA, přičemž tento materiál splňuje mechanické vlastnosti pro zástavbovou zkoušku.

První výtisky a zástavbové zkoušky ukázaly, že vlivem nepřesností technologie 3D tisku dochází ke kolizím součástí a je nezbytné upravit některé rozměry, především průměry. Po těchto úpravách, byla znovu vytištěna celá kontrolní sestava, u níž byly dosaženy požadované funkční vůle mezi jednotlivými díly. Po konečné zástavbové zkoušce jsem následně montážní díly sestavy znovu vytiskl z pevnějšího materiálu PET-G.

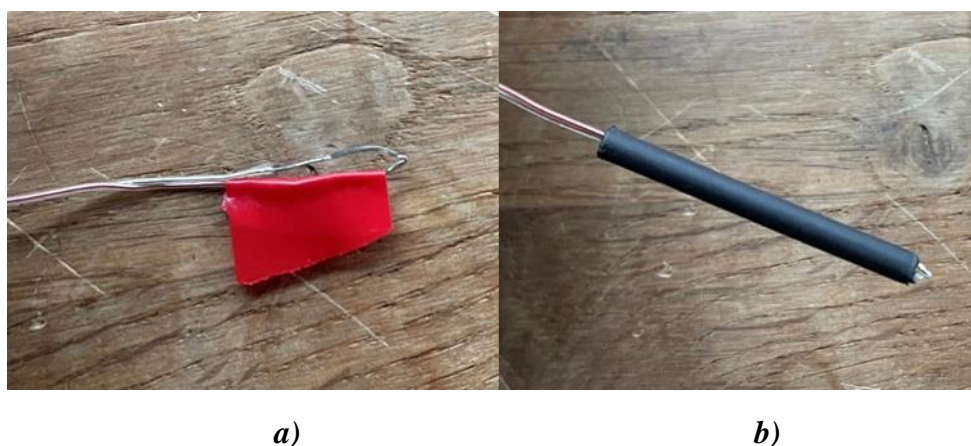
3.5. Příprava termoelektrických senzorů k měření

Níže na Obr. 9 je zachyceno možné provedení zakončení termoelektrických senzorů, dostupných ve Škoda Auto a.s., oba vyobrazené senzory jsou typu K - nekrytý konec a krytý konec (ve formě sondy). Průměr krytého konce byl ale příliš velký a nehodil se k zabudování do měřicí podložky, z tohoto důvodu byl zvolen menší termoelektrický senzor s volným koncem, který jsem následně vhodně upravil pro potřeby měření.



Obr. 9 Zakončení termoelektrických senzorů

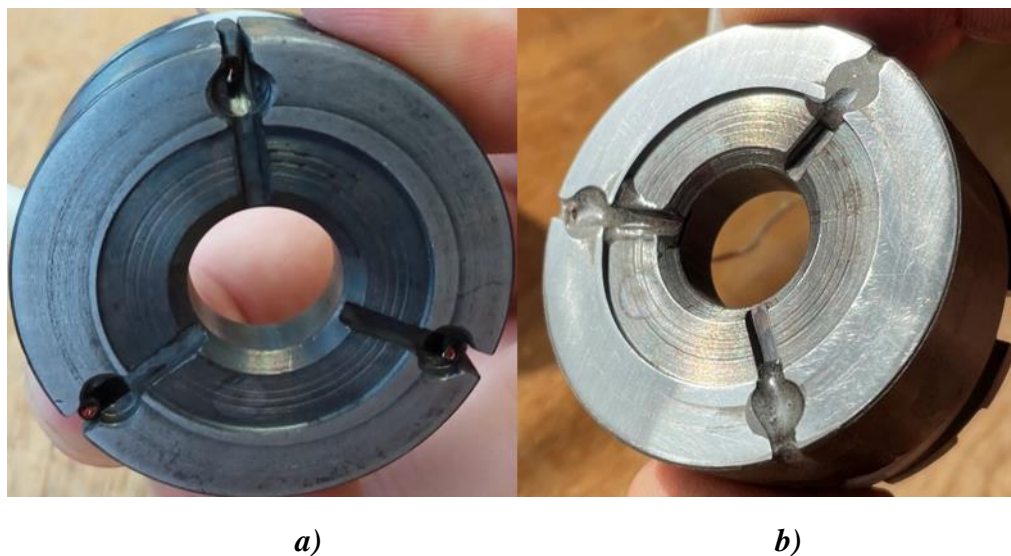
Zakončení těchto termoelektrických senzorů byly bez izolace, tudíž před samotnou montáží bylo vhodné tyto senzory zaizolovat. Předpokladem bylo, že tento krok sníží případný dopad rušivých faktorů, jakými by mohl být například vliv elektrického systému automobilu. Pro izolaci byla využita izolační páska, která byla protažena skrz oko termoelektrického senzoru (viz Obr. 10 a) a následně celý termoelektrický senzor byl zaizolován pomocí tepelně smrštitelné elektroizolační bužírky (dutinka), což zajistilo dokonalé elektrické odizolování (viz Obr. 10 b). Takto upravený termoelektrický senzor, byl připraven pro montáž.



Obr. 10 Postup odizolování termoelektrických senzorů

3.5.1. Montáž senzorů do měřicí podložky

Při přípravě senzorů pro montáž bylo dbáno na to, aby jejich rozměry vyhovovaly připraveným drážkám. Fixace termoelektrických senzorů byla provedena pomocí dvousložkového lepidla na bázi epoxidové pryskyřice. Při montáži bylo třeba dbát zvýšené pozornosti, aby nedošlo k nežádoucímu přesahu snímače nad dosedací rovinu podložky. Při lepení zůstaly zbytky epoxidového lepidla na dosedací ploše. Tyto zbytky bylo třeba po vytvrzení odstranit pomocí brusného papíru. Takto upravené podložky byly připraveny pro montáž. Postup operace lepení senzorů je zachycen na Obr. 11 a,b.



Obr. 11 Instalace a lepení senzorů do podložky

3.6. Montáž měřicí sestavy

Před celou operací montáže, bylo třeba sejmout podložku z originálního šroubu. Vzhledem k tomu, že šroub je vyroben metodou válcování, podložku nelze jednoduše sejmout. Originální podložku bylo třeba rozřezat a její zbytky následně odstranit. Při řezání bylo třeba dbát opatrnosti, aby nedošlo k poškození závitu na šroubu, viz Obr. 12.



Obr. 12 Sejmutí podložky z originálního šroubu

Sestava měřicí podložky byla instalována na automobil podle původního předepsaného montážního postupu (stejný utahovací moment a úhel pootočení). Montáž byla provedena přímo ve Škoda Auto a.s., kde jsem byl při montáži přítomen. Na Obr. 13 a 14 je vidět postup montáže měřicí sestavy.



Obr. 13 Montáž měřicí sestavy



Obr. 14 Montáž měřicí sestavy

Po montáži mechanických částí měřicího přípravku sestavy bylo třeba zapojit vodiče snímačů teploty s měřicí stanicí. Tyto vodiče bylo třeba přivést do kabiny automobilu, kde byla umístěna měřicí technika. K tomu jsem využil 90° PVC koleno pro povrchové elektroinstalace a vyztuženou pryžovou hadici. Vodiče byly vedeny skrz toto vedení, které zajistilo ochranu před mechanickým poškozením (využito jako kabelová chránička). Díky vyztužené hadici byla zajištěna pružnost vedení mezi kolem a karoserií nezbytná pro eliminaci vlivu pohybu zadního

kola automobilu. Hadice byla připevněna lepicí páskou ke karoserii, čímž bylo zajištěno, že soustava byla utěsněna vůči vnějším vlivům (déšť, sníh). Následně došlo k finálnímu tvarování vodičů (přizpůsobení karoserii v oblasti zárubně dveří vozu), posléze zapojení a nastavení měřicí techniky. Měřicí stanice byla umístěna na místě spolujezdce z důvodu zajištění čitelnosti displeje pro řidiče a možnost techniku pohodlně ovládat. Zároveň se tím zvýšila bezpečnost při měření. Zkompletovaná sestava viz Obr. 15. Osazena měřicími podložkami byla obě zadní kola vozu, měření probíhala na obou kolech současně.



Obr. 15 Dokončená montáž včetně kola automobilu

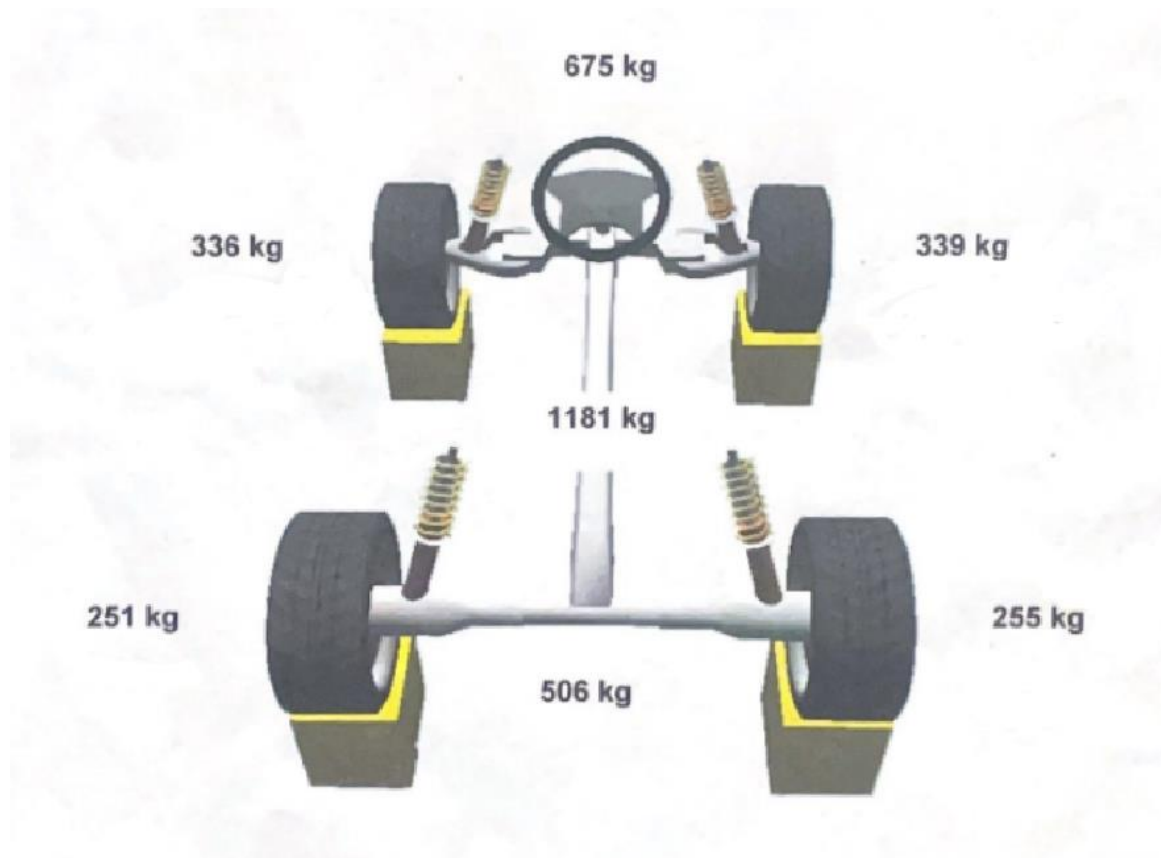
4. Měření

Tato kapitola popisuje průběh a činnosti spojené s měřením teplot sestaveným zařízením. Jsou zde popsány kroky, které proběhly před převozem automobilu na místo měření (Úhelnice). Bylo třeba ověřit funkčnost celé sestavy po montáži. Vzhledem ke klimatickým podmínkám v době měření, bylo třeba zjistit, za jakou dobu a na jaké hodnotě se teplota ložiska automobilu ustálí při ochlazení ledem. Zároveň bylo třeba stanovit, jaká bude provozní konfigurace automobilu – hmotnost (zatížení kol), velikost kol atp. Jsou popsány veškeré kroky měření teploty, byl stanoven specifický cyklus měření (rychlost, otáčení, doba měření).

4.1. Provozní podmínky automobilu

Při stanovení provozních podmínek a specifikace automobilu bylo třeba zohlednit fakt, že je automobil z výroby může být osazen několika různými rozměry pneumatik (a kol) a také se jeho hmotnost liší v závislosti na zvolené výbavě. Pro měření bylo rozhodnuto, že hledáme “nejhorší” (nejpomalejší) scénář ohřívání, tj. nejnižší zatížení (hmotnost) a nejmenší průměr kol. Předpokládali jsme, že při této konfiguraci se ložisko bude ohřívát nejpomaleji. Hmotnost vozu a zatížení jednotlivých kol určili technici Škoda Auto a.s., viz Obr. 16. Automobil byl pro měření osazen koly o rozměru 195/65 R15, což odpovídá běžně montovanému kolu s nejmenším průměrem. Tuto volbu opodstatňuje předpoklad minimalizace ramena (poloměr kola), které spolu s boční silou při projetí zatáčkou zapříčiňují namáhání ložiska “ohybovým momentem”, což by mohlo mít za následek zvýšené tření a tím rychlejší oteplení.

Dále bylo určeno, že při měření je třeba co nejnižší okolní teplota a zároveň co nejnižší teplota ložiska, proto bylo rozhodnuto o chlazení ložiska ledem před každou jízdou.



Obr. 16 Zatížení jednotlivých kol vozu

4.2. Ověření funkčnosti měřicí sestavy

Po montáži bylo třeba ověřit funkčnost celé sestavy a definovat výchozí parametry měření. Ověření funkčnosti zařízení a první měření probíhala v technologickém centru Škoda Auto a.s. a během nich bylo třeba upřesnit tyto body:

- a) Minimální teplota dosažená s ohledem na okolní podmínky
- b) Přibližná doba chladnutí na požadovanou teplotu
- c) Stanovení výchozí teploty pro zaručení opakovatelnosti testu
- d) Stanovení počtu měření

Pro stanovení výše zmíněných bodů byl celý vnitřní prostor levého kola vyplněn ledem a následně bylo celé kolo zaizolováno termoizolační fólií viz Obr. 17 a 18. Na pravém kole nebyly provedeny žádné úpravy a bylo ponecháno jako referenční pro porovnání teplot a pro lepší představu o možnostech ochlazování ložiska ledem.



a)

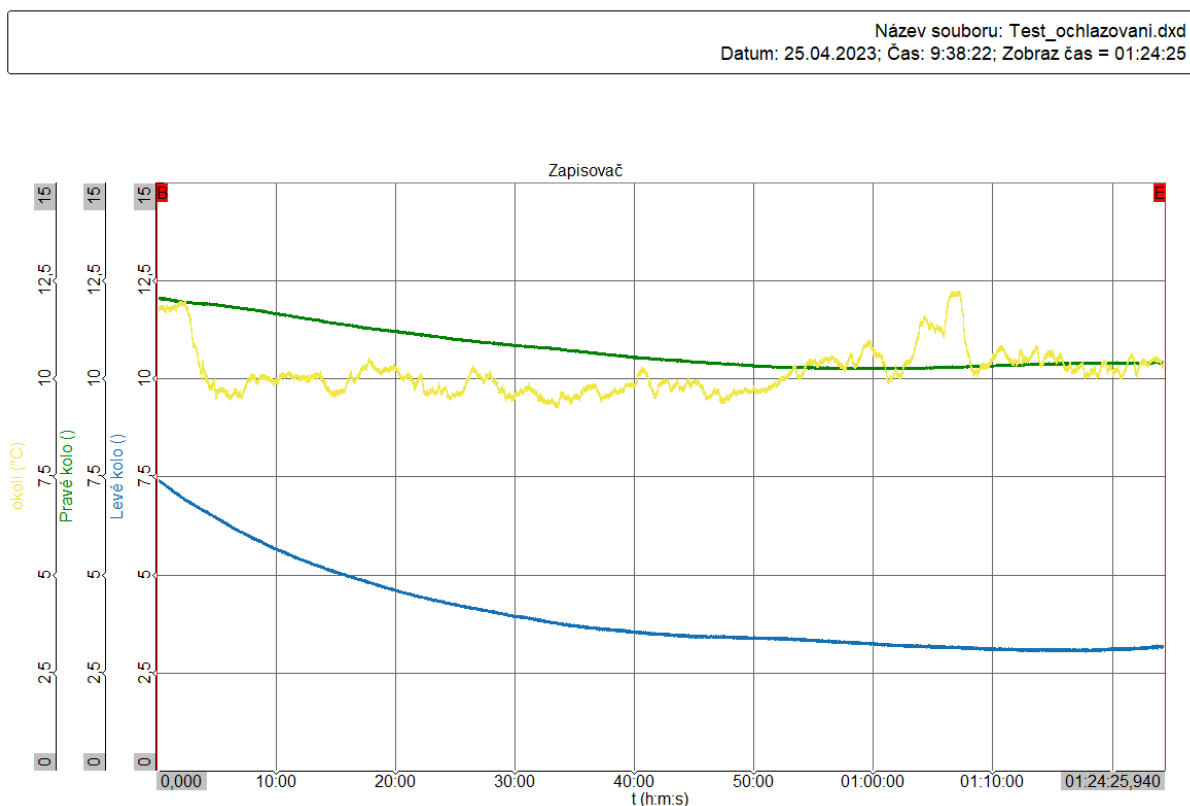
b)

Obr. 17 Naplnění kola ledem



Obr. 18 Zakrytí kola termoizolační fólií (pro účinnější chlazení)

Po přípravné části testu jsem provedl statický test ochlazení viz Graf 3. Díky tomuto testu bylo zjištěno, jak dlouho trvá ochlazení a na jakou teplotu lze ložisko ochladit.



Graf 3 Ochlazování kola automobilu pomocí ledu

Z výsledků statického testu vyplynulo, že během dne lze provést min. 2 ranní měření s ohledem na dobu chladnutí přibližně 2 hodiny. Dalším závěrem je, že s ohledem na okolní podmínky lze ložisko ochladit na přibližnou minimální teplotu 3 °C, čímž bylo zjištěno, že v případě okolní teploty 10 °C může být brána dosažená teplota 3 °C jako počáteční.

Druhou fází zkušebního testu v technologickém centru bylo provedení jízdní zkoušky za účelem ověření funkčnosti celé měřicí soustavy. Zároveň bylo třeba ověřit, zda nedojde k poškození měřících podložek a tím k havárii (bezpečnostní riziko pro řidiče). Vyplynula potřeba zjistit odpovědi na tyto otázky:

- Ověření funkčnosti měřicí soustavy při pohybu vozu
- Přibližná doba jízdy pro dosažení limitní provozní teploty
- Přibližná limitní teplota při jízdě

Jízdní test probíhal na uzavřeném parkovišti technologického centra viz mapa na Obr. 19.

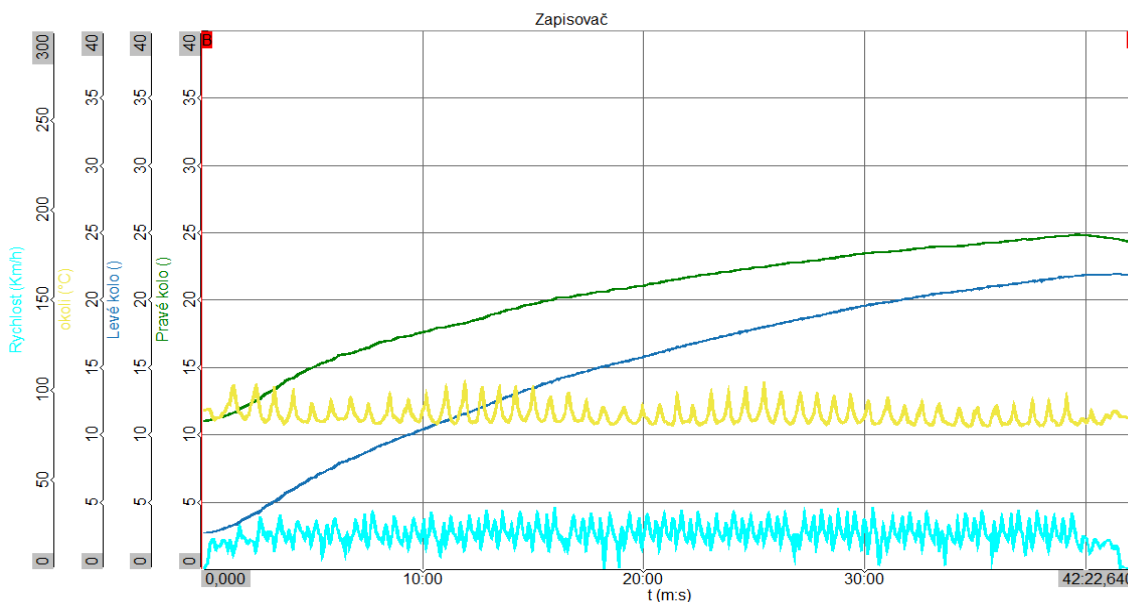


Obr. 19 Schéma jízdní dráhy pro validační měření

Celý test probíhal s vědomím, že během jízdy dochází k brzdným manévřům a častému zatáčení. Tyto manévry mohly významně ovlivňovat rychlost ohřevu ložiska, avšak pro přibližné ověření funkčnosti a kontrolu bezpečnosti tento test plně postačuje.

Z měření vyplynulo, se zohledněním bodu a) až c), že soustava je funkční a bezpečná, viz Graf 4. Při tomto měření bylo zjištěno, že přibližná funkční teplota by za daných podmínek mohla být okolo 20-25 °C a doba jízdy potřebná k jejímu dosažení cca 45 minut.

Název souboru: Prvni_Test.dxd
Datum: 25.04.2023; Čas: 12:26:35; Zobraz čas = 00:42:22



Graf 4 Ověřovací zkouška

Po této ověřovací zkoušce byl automobil, spolu s veškerým zařízením pro měření, převezen na testovací polygon Úhelnice.

4.3. Polygon Úhelnice

Celé další měření proběhlo na testovacím polygonu Úhelnice Škoda Auto a.s. polygon se v dnešní době využívá především k realizaci crash testů automobilů.

V areálu se nachází testovací dráha o délce přibližně 2,8 km. Využita byla pouze část dráhy – cca 2,2 km, na zbytku jsou speciální povrchy pro testy odhlučnění automobilů. Dále je zde tzv. „Velká dynamická plocha“ a „Malá dynamická plocha“, které se nachází vždy na konci testovací dráhy a mají kruhový půdorys. Největší průměr Velké dynamické plochy je přibližně 125 metrů, největší průměr malé dynamické plochy je přibližně 45 m. Tyto plochy byly využívány k otáčení vozidla, přičemž se předpokládalo, že při otáčení bude docházet k největšímu ohřevu ložisek.

4.4. Průběh měření

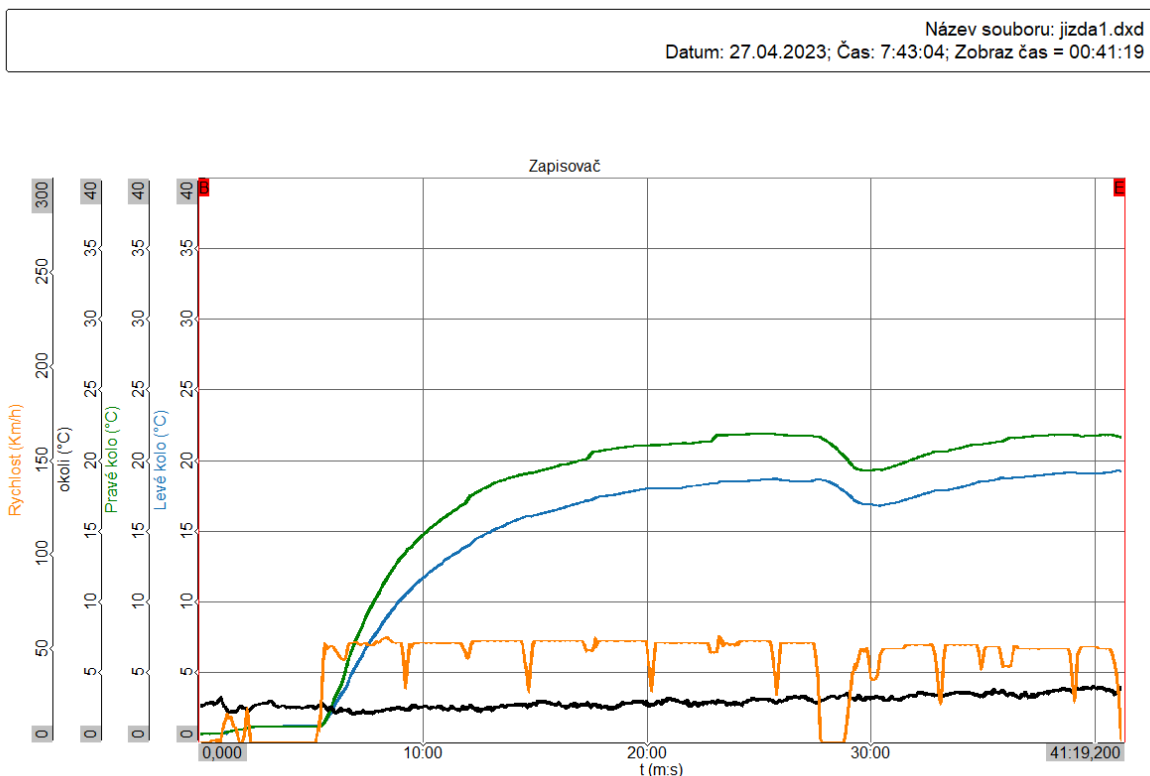
Zkušební vozidlo bylo přistaveno na polygon Úhelnice v úterý 26.4., první měření tedy mohlo proběhnout následující den 27.4. Průběh jednotlivých měření byl vždy stejný. Rychlost při měření byla zvolena 50 km/h, přičemž rychlost při otáčení nebyla striktně stanovena. Kroky provedené při jednotlivých měřeních byly vždy stejné:

1. Zapnutí měřicí techniky a zjištění teploty ložisek
2. Naplnění kol ledem
3. Odstranění termoizolační fólie
4. Přejezd na testovací trať
5. Měření
6. Odstavení automobilu na parkoviště
7. Naplnění kol ledem z důvodu opakování měření
8. Odstranění termoizolační fólie
9. Přejezd na testovací trať
10. Měření
11. Odstavení automobilu na parkoviště

Po skončení měření zůstalo vozidlo vždy na polygonu do dalšího dne. Při měření se ložiska ohřívala na předpokládané teploty, které byly dosaženy při prvním ověřovacím testu, viz kapitola 4.2.. Vzhledem k tomuto faktu byla vždy zvolena délka testu dle uvážení řidiče (ujetá vzdálenost).

5. Vyhodnocení měření

Výsledkem měření je oteplovací křivka. Proběhlo celkem 6 měření, každý den dvě. Jednotlivá měření probíhala řádově několik desítek minut.



Graf 5 Ukázka záznamu měření č.1 - 27.4. Začátek měření 7:43

První měření (měření č.1) bylo započato 27.4. v 7:43 a bylo dosaženo provozní teploty na pravém kole cca 22 °C. Na levém kole teplota byla přibližně 18 °C. Okolní teplota byla přibližně 3 °C. Zhruba ve 26. minutě měření došlo ke střídání řidičů, proto nastal dobře patrný propad teplot. Tyto hodnoty vyplývají ze záznamu měření č.1, viz Graf 5.

Druhé měření (měření č.2) bylo započato 27.4. v 10:11 a bylo dosaženo provozní teploty na pravém kole cca 25 °C. Na levém kole teplota byla přibližně 23 °C. Okolní teplota byla přibližně 9 °C. Tyto hodnoty vyplývají ze záznamu měření č. 2 viz Graf 9.

Třetí měření (měření č.3) bylo započato 28.4. v 7:09 a bylo dosaženo provozní teploty na pravém kole cca 23 °C. Na levém kole teplota byla přibližně 20 °C. Okolní teplota byla přibližně 5,5 °C. Tyto hodnoty vyplývají ze záznamu měření č. 3 viz Graf 10.

Čtvrté měření (měření č.4) bylo započato 28.4. v 9:41 a bylo dosaženo provozní teploty na pravém kole cca 28 °C. Na levém kole teplota byla přibližně 25 °C. Okolní teplota byla přibližně 10 °C. Zde jsou patrné vyšší teploty nábojů kol naměřené ke konci zkoušky. Tato skutečnost je zřejmě způsobena vyšší okolní teplotou. Tyto hodnoty vyplývají ze záznamu měření č. 4 viz Graf 11.

Páté měření (měření č.5) bylo započato 4.5. v 6:43 a bylo dosaženo provozní teploty na pravém kole cca 21 °C. Na levém kole teplota byla přibližně 18 °C. Okolní teplota byla přibližně 4 °C. Tyto hodnoty vyplývají ze záznamu měření č. 5 viz Graf 12.

Šesté měření (měření č.6) bylo započato 4.5. v 8:56 a bylo dosaženo provozní teploty na pravém kole cca 25 °C. Na levém kole teplota byla přibližně 22 °C. Okolní teplota byla přibližně 10,5 °C. Tyto hodnoty vyplývají ze záznamu měření č. 6 viz Graf 13.

Lze předpokládat, že rozdíl teplot mezi pravým a levým ložiskem je zapříčiněn rozdílným zatížením kol při zatáčení (všechna otáčení byla prováděna v jednom směru).

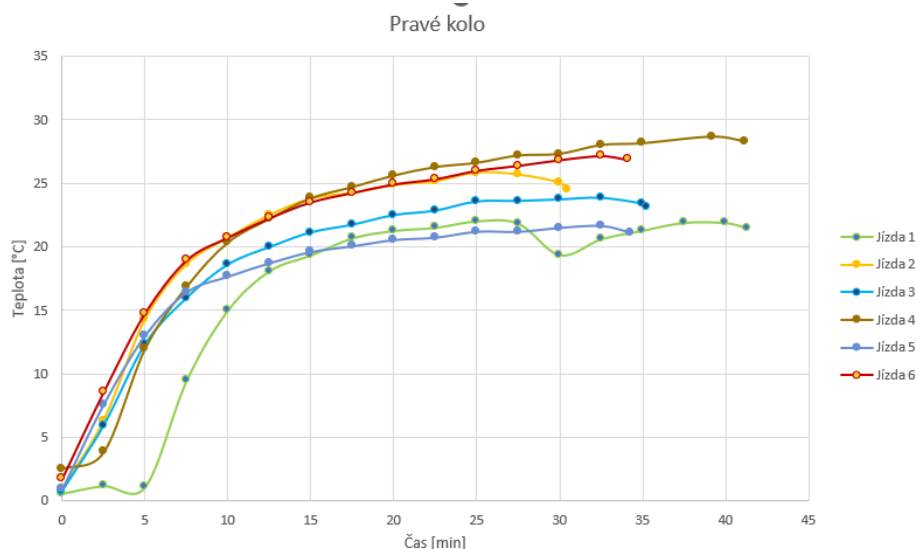
Pro posuzování provozních teplot ložisek byla zvolena určující ujetá vzdálenost přibližně 15 km, což odpovídalo přibližně 25. minutě měření. Teplota se poté již mnoho nezvyšovala a pokud ano, tak především při průjezdu zatáčkami (vyšší zatížení). Největší rozdíl naměřených hodnot ložisek v této oblasti grafů (mezi jednotlivými měřeními byl zřejmě způsoben rozdílnou okolní teplotou).

6. Závěr

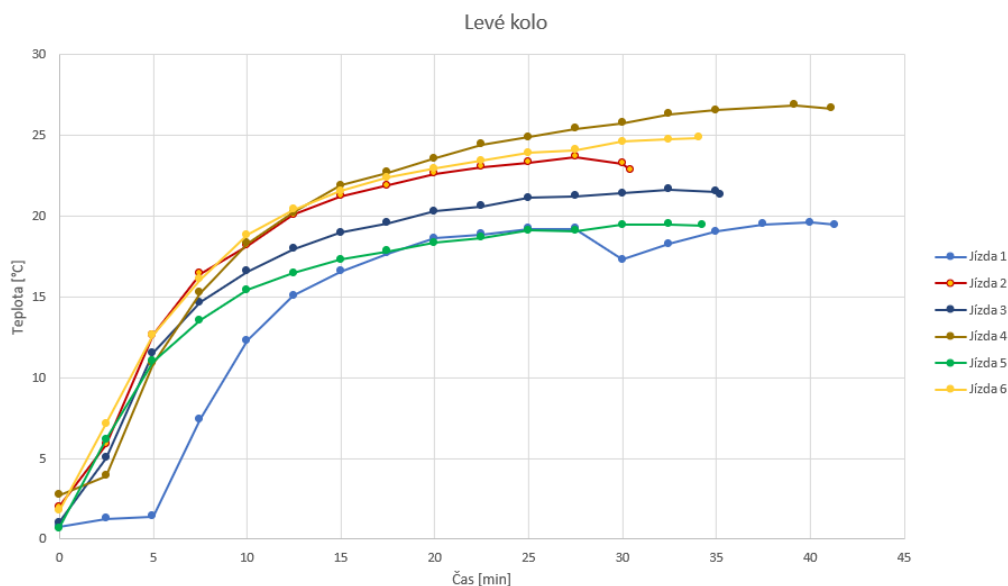
V teoretické části této bakalářské práce byly zmíněny vlivy, které působí na ložisko během pohybu. Tato část dále obsahuje souhrn rozdělení metod pro měření teplot. Největší pozornost je věnována metodám a snímačům pro dotykové měření. Závěrem byla zvolena nejvhodnější metoda využitelná pro měření teplot ložiska zadního kola osobního automobilu. Byla vybrána kontaktní metoda měření pomocí termoelektrických senzorů (typu K).

Konstrukční část práce obsahuje návrh měřicího zařízení. Při návrhu jsem vycházel ze tří koncepčních návrhů, které jsem s ohledem na požadavky zadavatele bakalářské práce Škoda Auto a.s. optimalizoval na konstrukční návrh popsany v kapitole 3.4. Součástí konstrukčního ověření bylo zajištění bezkoliznosti dílu, které bylo provedeno v CAD software PTC Creo. Pomocí CAE výpočetních metod (viz kapitola 3.4.1.) byly ověřeny také mechanické vlastnosti části nově navrženého komponentu. Následně byla celá soustava vytištěna pomocí 3D tisku a byla provedena statická zástavbová zkouška pro ověření smontovatelnosti, bezkoliznosti celé soustavy se zohledněním všech aspektů konstrukčního návrhu (otvory pro kabely termočlánků, smontovatelnost soustavy pomocí standardního dílenského nářadí apod.). Výroba finální ocelové podložky byla zajištěna ve spolupráci se společnostmi Škoda Auto a.s. (zajištění materiálu a výroba) a Meduna vakuová kalírna s.r.o. (tepelné zpracování materiálu).

Před přípravou na měření byla provedena statická zkouška mechanické zatížitelnosti měřicí podložky pod reálným zatížením hmotností vozu. Po úspěšném absolvování této zkoušky byla podložka demontována a následně osazena termočlánky (tři kusy) a kabelovými svazky, které byly vyvedeny vně z náboje kola a trasovány do prostoru kabiny vozu k měřicí stanici. V rámci přípravy vozu byly rovněž zohledněny všechny požadavky na “nejhorší” možný stav pro zahřívání ložiska (více v kapitole 4.1. – např. volba kol, zatížení, rychlost testu, jízdní manévry, výchozí počáteční teplota testu apod.). Před odesláním vozu na zkušební polygon v Úhelnici byla provedena validační dynamická zkouška s výchozí teplotou kola pomocí ledu pro ověření funkčnosti aparatury a stanovení přibližné doby měření, přibližnou teplotu prohrátí ložiska (viz kapitola 4.2.). Výsledkem validační zkoušky bylo, že doba zahřátí ložiska se pohybuje přibližně okolo 25 °C a doba k dosažení provozních podmínek nastane přibližně do 40 minut, čímž se rovněž podařilo stanovit počet měření na polygonu Úhelnice.



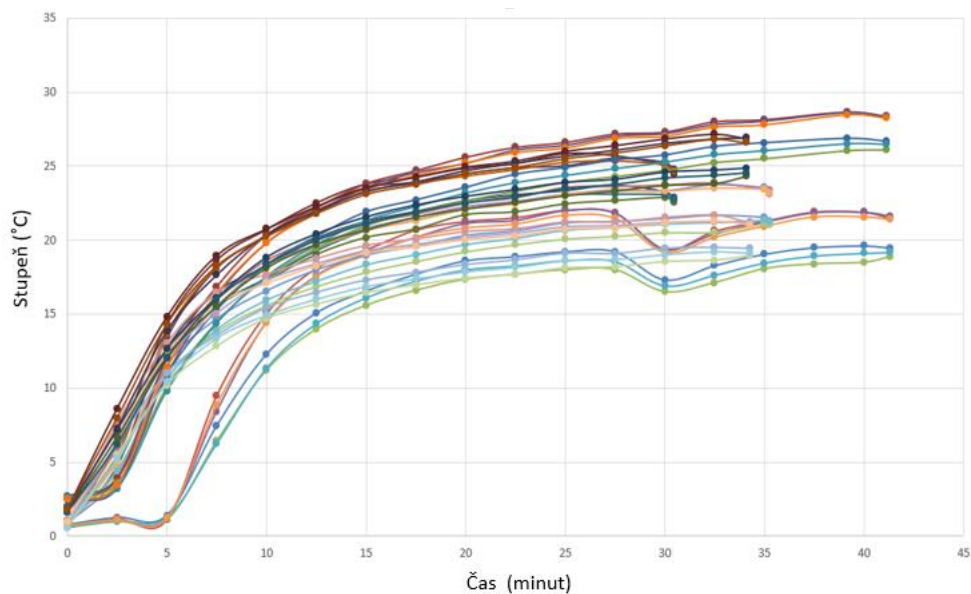
Graf 6 Srovnání teplotního ovlivnění pravého kola



Graf 7 Srovnání teplotního ovlivnění levého kola

Měření na polygonu Úhelnice probíhalo ve dnech 27.4.-4.5. 2023 od 6,00 – 12,00 hod. Během jednoho měření byly provedeny vždy dva měřící testy (více v kapitole 4.2.). Celkově bylo provedeno 6 jízdních měření (3x jízdní testy s okolní teplotou 3 °C a 3x jízdní testy s okolní teplotou 10 °C). Vlivem omezené délky měřící tratě bylo nutné provést dvě otočení na dynamických plochách, které způsobily ovlivnění teplot na pravém kole vozu v důsledku zvýšeného tření od zatížení vozu. Z Grafu 6 je patrné, že toto ovlivnění způsobilo zvýšení teploty více zatíženého kola o přibližně 1,5 °C.

Z Grafu 6 je patrné, že provozní teploty ložiska, s ohledem na okolní podmínky, se pohybují v rozmezí od 19 °C až 25 °C. Lze předpokládat, že při velmi nízkých teplotách bude mít oteplovací křivka obdobný průběh s rozdílnou počáteční teplotou a s rozdílnou dobou dosažení provozních podmínek. Z výsledků je rovněž patrné, že nejintenzivnější ohřev ložiska nastává vždy během prvních 5 minut jízdy. Při běžných provozních podmínkách bude zřejmě tato doba kratší, jelikož je řidič nucen vykonávat různé druhy manévrů -např. brždění, zatáčení, akcelerace apod., které dobu zahřátí zkrátí.



Graf 8 Teplotní křivky pravého a levého kola

V rámci této práce bylo navrženo, vyrobeno a prakticky otestováno zařízení pro měření teplot v náboji zadního kola osobního automobilu, ačkoliv úspěšně proběhla první praktická měření, nelze považovat výzkum za uzavřený a je tedy více než vhodné s měřením pokračovat a podrobněji popsat tepelné děje, ke kterým během provozu dochází, v některých z následujících prací. Pro další vývoj a práce by bylo například vhodné zaměřit se společně s teplotou např. na vibrace, kde by se dalo hledat spojitost. Dá se předpokládat, že při zvyšující se teplotě budou vibrace nižší, protože se mazací tuk ohřeje do provozní teploty. Dále lze doporučit toto měření zopakovat při skutečně arktické teplotě (např. -20°C), a vyhovět tak dalším požadavkům výzkumu Škoda Auto a.s. Jednou z dalších možností je měření v laboratorních podmínkách (zkušební zařízení), kde je možné zajistit lepší opakovatelnost, nebo naopak v reálných podmínkách při běžném provozu vozidla.

Použitá literatura

- [1] SAJDL, Jan. *Autolexicon*. Online. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/klikova-naprava/>. [cit. 2023-10-25].
- [2] HLATKÝ, Josef. *Snímače pro měření teplot*. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009.
- [3] SAFINA, A.S. *Safina, Výrobky, Termočlánky*. Online. Dostupné z: <https://www.safina.cz/vyroby/termoclanky/>. [cit. 2022-11-15]. [3]
- [4] *ASM Handbook: Volume 18: Friction, Lubrication, and Wear Technology*. ASM Handbook. United States of America: ASM International, 1992. ISBN 0-87170-380-7.
- [5] KLYMOSHENKO, Mykyta. *Bezdotykové stanovení emisivity povrchu*. Bakalářská práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 2019.
- [6] MELNIČUK, Petr. *Měření teploty termočlánky*. Bakalářská práce. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2019.
- [7] CHALOUPKA, Roman. *Srovnání senzorů pro měření teplot*. Bakalářská práce. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, 2013.

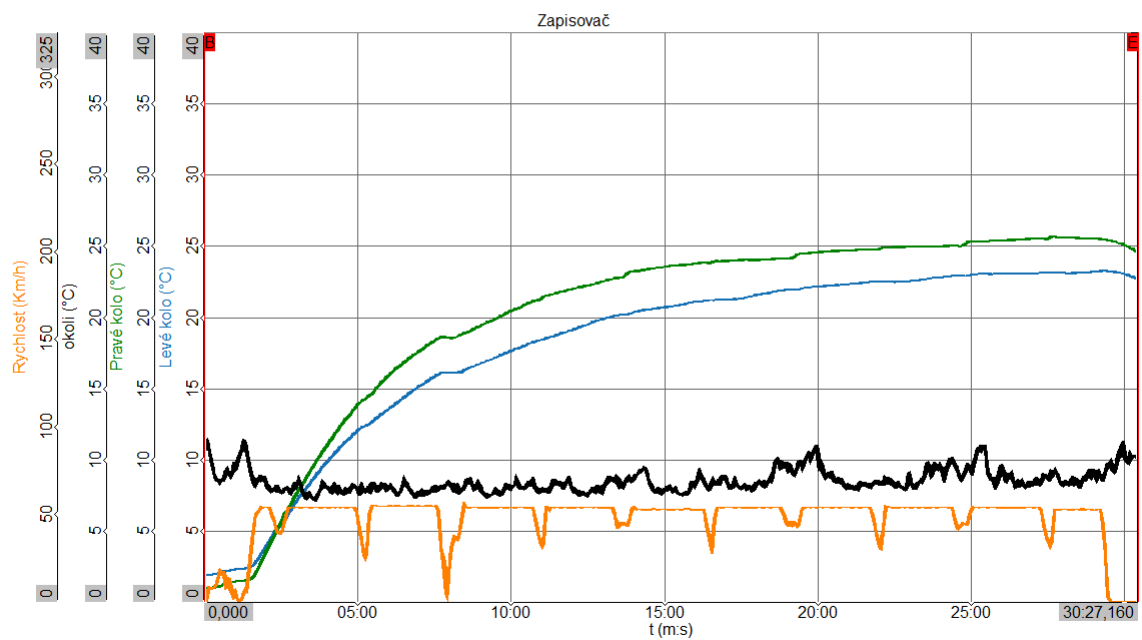
Přílohy

Příloha 1 - materiálový list C45

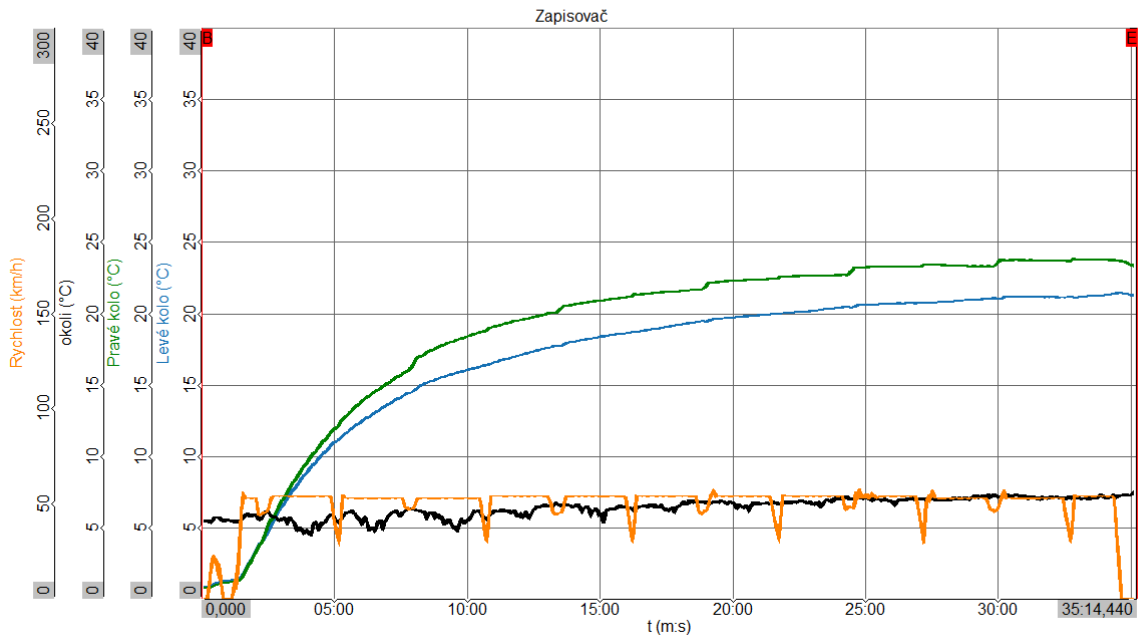
Přehled vlastností oceli C45E (C45 R)										1.1191 (1.1201)										
Druh oceli	Nelegovaná ušlechtlá ocel k zušlechťování																			
TDP	ČSN EN 10083-2: 2007. Tato norma obsahuje též ocel C45, klasifikovanou jako jakostní ocel k zušlechťování. Oceli C45 nelze nahradit ušlechtlé oceli C45E popř. C45R. C45 však lze nahradit ocelmi C45E resp. C45R.																			
Dřívější označení	C45E (C45R) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; Ck 45 (Cm 45) podle DIN 17200; 12 060 podle ČSN.																			
Použití	Často používaná nelegovaná ocel pro výrobu méně namáhaných strojních dílů ve stavu zušlechťeném nebo normalizačně žíhaném. Optimálních mechanických hodnot včetně houževnatosti se dosahuje v zakaleném a následně popuštěném stavu. U tvarově složitějších dílů se pro zamezení vzniku trhlin dává přednost kalení do oleje. Ocel je vhodná i k povrchovému kalení plamenem nebo indukci.																			
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C	Si max.	Mn	P max.	S max. ¹⁾	Cr max.	Mo max.	Ni max.	Cr+Mo+Ni											
	0,42-0,50	0,40	0,50-0,80	0,030	0,035	0,40	0,10	0,40	max. 0,63											
Složení hmotového výrobku ²⁾	0,40-0,52	0,43	0,46-0,84	0,035	0,040	0,45	0,13	0,45												
Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. ³⁾	Průměr mm	R _e min. MPa		R _m MPa		A min. %		Z min. %		KV min. J										
	d ≤ 16	490		700-850		14		35		-										
	16 < d ≤ 40	430		650-800		16		40		25										
	40 < d ≤ 100	370		630-780		17		45		25										
Mechanické vlastnosti ve stavu normalizačně žíhaném ³⁾	d ≤ 16	340		min. 620		14		-		-										
	16 < d ≤ 100	305		580		16		-		-										
	100 < d ≤ 250	275		560		16		-		-										
Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :	Žpracováno na stříhatelnost (+S)					Žíháno na měkko (+A)					Povrchově kaleno (tvrdost povrchu)									
	HB max. 255					HB max. 207					HRC min. 55									
Prokalitelnost ⁴⁾	Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušební tělesa v mm																			
	Tvrdost v HRC																			
	+H	Mez	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	15	20	25	30		
	max	62	61	61	60	57	51	44	37	34	33	32	31	30	-	-	-			
	min	55	51	37	30	28	27	26	25	24	23	22	21	20	-	-	-			
<p>Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 10 mm)</p>										<p>Křivky prokalitelnosti</p>										
Technologické vlastnosti																				
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1150 až 850 °C																			
Teplné zpracování	Normalizační žíhání °C	Žíhání na měkko °C	Isotermické žíhání °C	Teplota Kalení °C	Kalici prostředí	Teplota popouštění °C	Zkouška kalení čela °C													
	840 až 880	650 až 700	800 až 950 660 -1 hod.	820 až 860	voda nebo olej	550 až 660	850 ± 5													
	Uvedené podmínky jsou doporučené s výjimkou zkoušky kalení čela (zkouška prokalitelnosti.) Teplota kalení při spodní hranici se doporučuje pro kalení do vody a při horní hranici při kalení do oleje. Jako kalici prostředí lze použít i syntetické kapaliny-emulze.																			
Obrobitelnost	Obrobitelnost tliskovým obráběním může být ve stavu po válcování ztlížena vlivem zvýšené pevnosti. Pro obrábění je výhodnější stav žíhaný na měkko. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel C45R se zvýšeným obsahem S.																			
Stříhatelnost	Přichází v úvahu např. při dělení tyčí na vsázkové délky pro zápusťkové kování. Ocel C45 je stříhatelná za studena i ve stavu po válcování u průměru nad 80 mm.																			
<p>¹⁾ obsah síry u oceli C45R je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.</p> <p>²⁾ u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.</p> <p>³⁾ uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťení popř. normalizačním žíhání) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žíhaném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.</p> <p>R_e –mez kluzu, R_m – pevnost v tahu, A – tažnost (počáteční délka L₀ = 5,65√S₀), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO S V-vrubem (průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).</p> <p>⁴⁾ pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.</p>																				

Příloha 2 – grafy měření

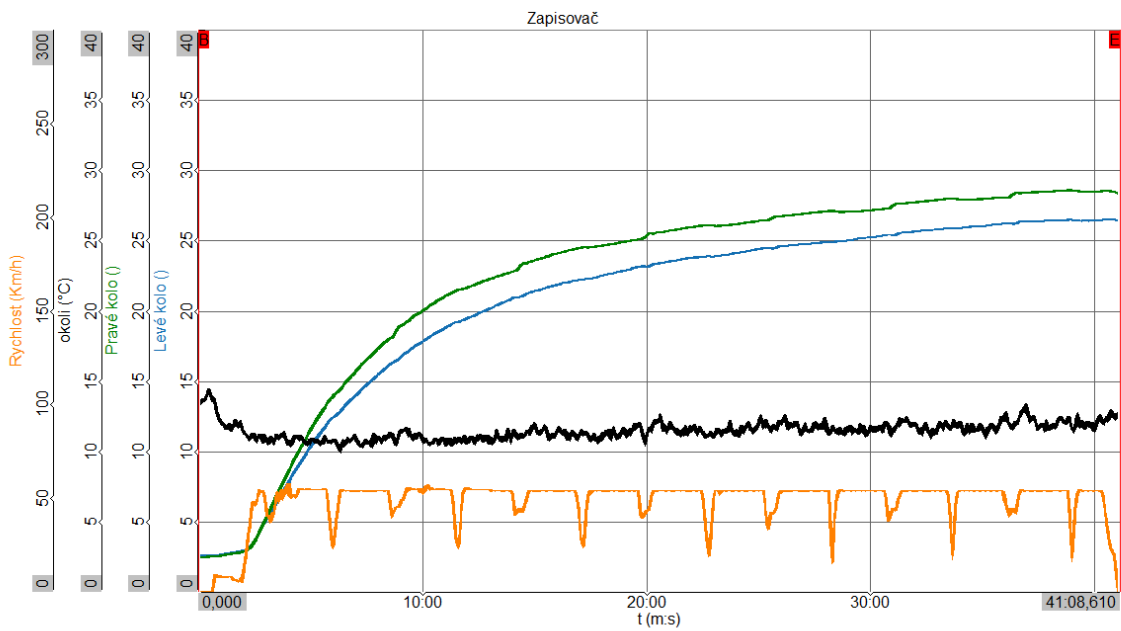
Název souboru: jizda2.dxd
Datum: 27.04.2023; Čas: 10:11:23; Zobraz čas = 00:30:27



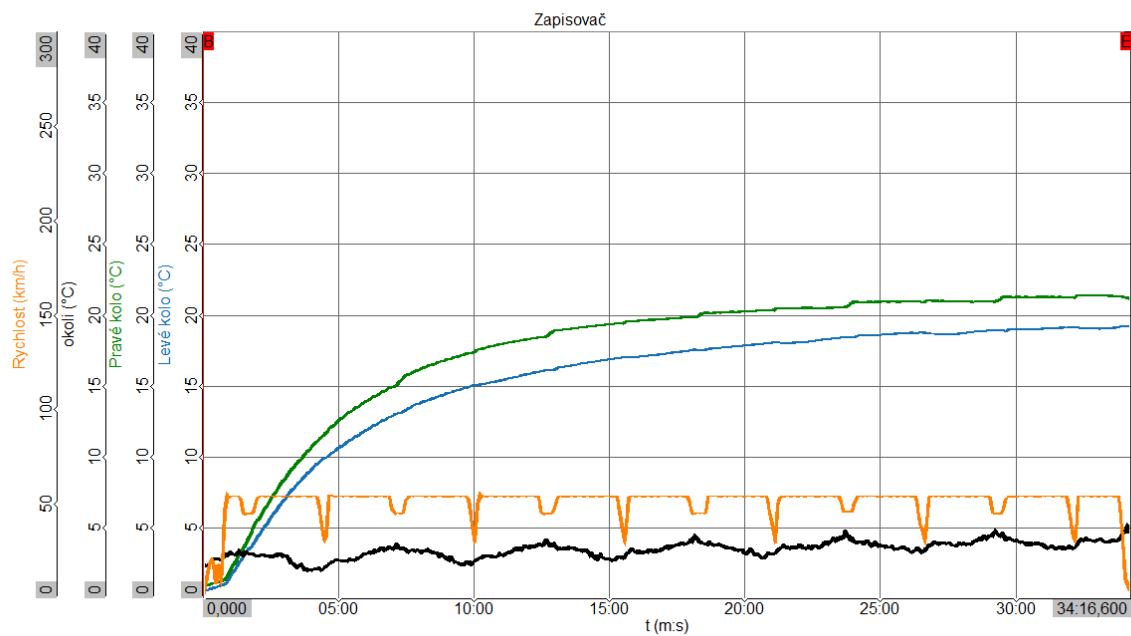
Graf 9 Měření 27.4. Začátek měření 10:11



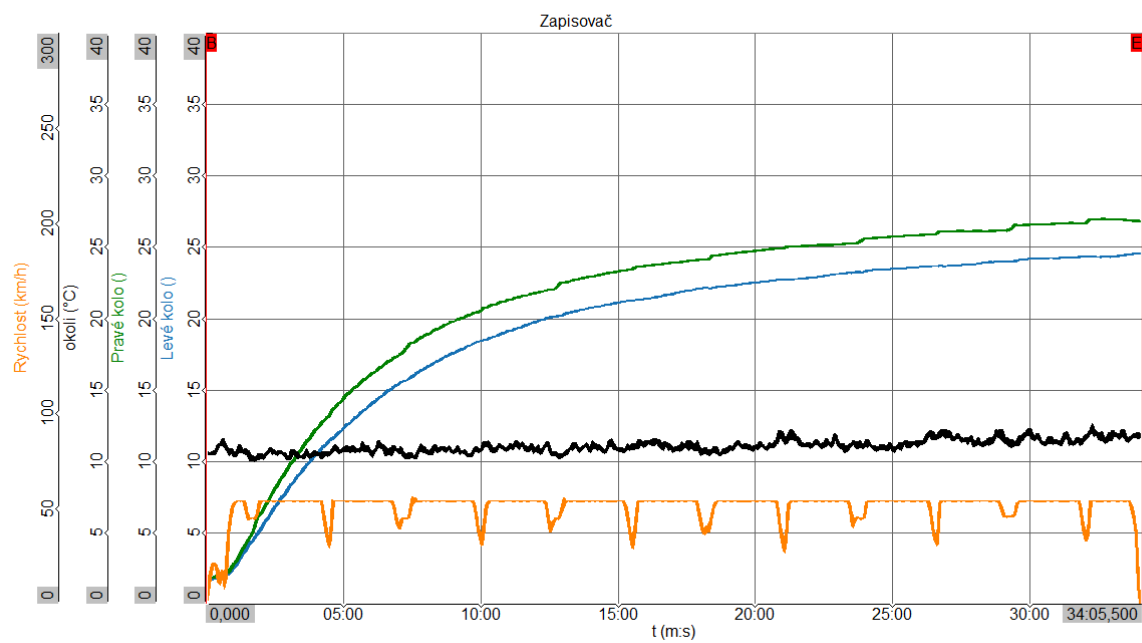
Graf 10 Měření 28.4. Začátek měření 7:09



Graf 11 Měření 28.4. Začátek měření 9:41



Graf 12 Měření 4.5. Začátek měření 6:43



Graf 13 Měření 4.5. Začátek měření 8:56