

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANIKAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MĚŘENÍ TEPLOTY PNEUMATIK ZA JÍZDY VOZIDLA S VYUŽITÍM INFRAČERVENÝCH PYROMETRŮ OS100

TYRE TEMPERATURE MEASUREMENT ON MOVING VEHICLE WITH USE OF INFRAFED PYROMETER OS100

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
BC. DAVID MORÁVEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
ING. ONDŘEJ BLAŤÁK

BRNO 2007

Abstrakt

Bc. David Morávek
Měření teploty pneumatik za jízdy vozidla s využitím infračervených pyrometrů OS100
DP, UADI, 2008, str. 70, obr. 41

V diplomové práci je zpracována problematika snímání teplot a tlaku pneumatiky automobilu za jízdy. Je sestaven vhodný měřící řetězec. Navrženy a vyrobeny funkční držáky snímačů pro tento druh měření. Jsou zde popsány provedené jízdní zkoušky. Dospěli jsme k závěru, že teplota pneumatik při jízdě je závislá na podélném, nebo příčném zrychlení vozu a zatížení.

Klíčová slova: bezdotykový snímač teploty, kalibrace, termometrie, pyrometr, tlak, jízdní manévr

Abstract

Bc. David Morávek
Tyre temperature measurement on moving vehicle with of infrared pyrometer OS100
MT, IAE, 2008, page 70, picture 41

Problemacy of recording the temperature and tyre pressure on driven car is processed in this diploma work. Suitable measuring chain was set up. Censor holders for this type of measurement were designed and produced. Driving exams and tests are depicted in this work, too. We came to the conclusion that tyre temperature depends on lengthways and transverse acceleration of the car and also on it's load.

Key words: contact less temperature sensor, calibration, thermometry, pyrometer, pressure, driving manoeuvre

Bibliografická citace:

MORÁVEK, D.
Měření teploty pneumatik za jízdy vozidla s využitím infračervených pyrometrů OS100.
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 70 s.
Vedoucí diplomové práce Ing. Ondřej Blaťák.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana Ing. Ondřeje Blaťáka a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 21. května 2008 Bc. David Morávek

Poděkování

Za účinnou podporu, cenné připomínky a rady při zpracování diplomové práce vedoucímu diplomové práce panu Ing. Ondřeji Blaťákovi.
Panu Ing. Davidu Svídovi za obětavou pomoc při tvorbě programu v LabView.
Hlavně bych chtěl poděkovat své rodině za trpělivost a podporu při studiu.

Obsah

OBSAH 8

1. ÚVOD 10

1.1 SOUČASNÝ STAV 11

2. TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRO MĚŘENÍ 11

2.1 PNEUMATIKY 11
2.1.1 Opotřebení pneumatiky 11
2.1.2 Běhoun pneumatiky 12
2.1.3 Huštění pneumatik 13
2.2 MOŽNOSTI SNÍMÁNÍ TEPLOTY POVRCHU PNEUMATIK 16
2.2.1 Odpichový teploměr 16
2.2.2 Hřeben 16
2.2.3 Infračervený pyrometr 16
2.2.4 Termokamera 16
2.3 BEZ KONTAKTNÍ METODY MĚŘENÍ TEPLOTY A TEPLOTNÍCH POLÍ 16
2.4 PYROMETRY 17
2.4.1 Radiační pyrometry 17
2.4.2 Úhrnné pyrometry 17
2.4.3 Pásmové pyrometry 18
2.4.4 Tvar a konstrukce infračervených teploměrů 18
2.5 STAVOVÁ ROVNICE 19
2.6 SYSTÉM KONTROLY TLAKU V PNEUMATIKÁCH 19
2.6.1 Senzory 20
2.6.2 Přijímač 21
2.6.3 Technické údaje 22
2.7 MĚŘENÍ TLAKU A TEPLOTY V KOLE 22
2.7.1 Technické údaje Senzor TX 22
2.7.2 Technické údaje přijímač RX 22

3. POPIS SNÍMAČE, MĚŘÍCÍHO ŘETĚZCE A MĚŘÍCÍCH METOD 24

3.1 MĚŘÍCÍ ŘETĚZEC 24
3.1.1 Snímač teploty 25
3.1.2 M-Box 28
3.1.3 MicroSAT R20 29
3.1.4 Sběrná krabice 31
3.1.5 Měřící karta 31
3.1.6 Rozvaděč napájení 33
3.2 ODPICHOVÝ TEPLOMĚR 34
3.3 TLAKOMĚR 34
3.4 TEPLOMĚR 35
3.5 HŘEBEN 35

4. NÁVRH MĚŘENÍ 36

4.1 KRUHOVÝ TEST (JÍZDA V KRUHU) 37
4.2 BRZDNÝ MANÉVR (DECELERACE) 39

5. PROGRAM PRO ZPRACOVÁNÍ DAT 40

5.1 ČELNÍ PANEL ... 40
5.2 BLOKOVÝ DIAGRAM ... 41
6. KONSTRUKČNÍ NÁVRH DRŽÁKŮ SNÍMAČŮ ... 43
6.1 POŽADAVKY NA ŘEŠENÍ DRŽÁKŮ SNÍMAČŮ ... 43
6.2 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO ŘEŠENÍ ... 43
6.3 ZPŮSOB UCHYCENÍ UNIVERZÁLNÍCH DRŽÁKŮ K VOZIDLU ... 44
6.3.1 Verze pro Škodu Octavii RS ... 44
6.3.2 Verze pro formuli Ford ... 47
7. MĚŘENÍ ... 49
7.1 KALIBRACE SNÍMAČŮ ... 49
7.2 VYHODNOCENÍ JÍZDNÍCH ZKOUŠEK ... 51
7.3 VYHODNOCENÍ BRZDNÉHO MANÉVRU ... 51
7.4 VYHODNOCENÍ KRUHOVÉHO TESTU (JÍZDA V KRUHU) ... 60
8. ZÁVĚR ... 67
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ ... 68
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ ... 69
SEZNAM PŘÍLOH ... 70

1. Úvod

Pneumatika je velmi důležitá součást automobilu, neboť se jedná o pružící, vodící a nosný prvek mezi vozidlem a vozovkou. Přenáší hnací a brzdící momenty a boční síly z vozidla na vozovku a reakce opačným směrem. Je tedy zřejmé, že pneumatiky budou mít podstatný vliv na jízdní vlastnosti vozidel.

Jedna z nejdůležitějších vlastností pneumatiky je „adheze“, česky přilnavost. Díky této vlastnosti je možný přenos obvodových a bočních vodících sil mezi pneumatikou a vozovkou, a tím je umožněno řízení vozidla. Na adhezi má vliv mnoho okolností. Patří mezi ně především povrch vozovky, rychlost vozidla a hloubka dezénu pneumatiky. Dalším důležitým faktorem ovlivňujícím přilnavost je její teplota a tlak vzduchu uvnitř pneumatiky. Tlak vzduchu v pneumatice ovlivňuje zásadním způsobem vlastnosti automobilu jako je prodloužení brzdné dráhy, zkrácení životnosti pneumatik, zvýšení spotřeby paliva i celkové jízdní vlastnosti vozidla.

Právě tento fakt nás přivedl na myšlenku, zmapovat a zvládnout problematiku měření teploty pneumatiky a tlaku vzduchu uvnitř pneumatiky za jízdy. A to je hlavní cíl této diplomové práce. Proniknutí do problematiky nám otevře zajímavé možnosti uplatnění nabytých poznatků v praxi.

Jak již bylo výše zmíněno lze touto metodou zjišťovat závislost adheze pneumatiky na její teplotě a tlaku. Toto bude mít smysl při navrhování nových pneumatik, zvláště pro sportovní či závodní vozidla, kde je vhodné kvůli přenosu velkých sil a momentů využívat pneumatiku při teplotách a tlaku, kdy je největší adheze pneumatiky s vozovkou. Tato práce může být využita při navrhování a konstrukci pneumatik, kde je třeba skloubit dobrou adhezi s co možná největší životností. Vysoká teplota má na životnost pneumatik nepříznivý vliv, klesá při ní silová vazba mezi jednotlivými částmi běhounu a snadněji dochází k abrazi (oděru běhounu) a následně ke snížení její životnosti. Taktéž má na životnost pneumatiky výrazný vliv tlak vzduchu uvnitř pneumatiky.

Další možnost využití znalostí o rozložení teploty na povrchu pneumatiky během jízdy je v diagnostice. Pomocí této metody je možné odhalit nesprávné nastavení geometrie obou náprav dříve, než dojde k nežádoucímu opotřebení pneumatiky. Zkrácení životnosti pneumatik, nebo zvýšení spotřeby automobilu jsou jistě další zajímavá hlediska k zamyšlení.

1.1 Současný stav

První krok v této problematice udělal Ing. Jaroslav Roleček, který se ve své diplomové práci věnoval samotnému zvládnutí techniky snímání teploty pneumatiky jedoucího vozidla. Vytvořil úvodní studii, ve které jsou zahrnuta teoretická východiska nutná pro měření. Teoretická část byla pojata velmi podrobně a rozsáhle. Popsány byly základní druhy měření teploty, to jsou kontaktní metody měření teploty a teplotních polí a bezkontaktní metody měření teploty a teplotních polí. V bezkontaktních metodách byly popsány druhy pyrometrů a termokamery pro snímání teplotních polí. Pro měření byl vybrán malý infračervený pásmový pyrometr určený pro průmyslové využití. Dále byla rozebrána problematika pásmových pyrometrů a stanovení emisivity. Následuje podrobná část o infračervené termometrii.

Na tuto práci navázal Ing. Jaroslav Ehl, který ve své diplomové práci věnoval detailnějšímu zapojení snímačů v měřícím řetězci a zpracování jízdních zkoušek. Zpracoval postup měření pro specifikované jízdní zkoušky (kruhový test, akcelerace, decelerace atd.). Pro tyto účely navrhnul uspořádání snímačů na vozidle a za tímto účelem vyrobil nové držáky pro snímače teploty.

V další části prácí byl popsán měřící řetězec. Program pro zpracování dat byl vytvořen v prostředí LabView. Před prvními testy na vozidle byla ověřena linearita výstupního napětí ze snímače a vliv nastavené emisivity na měření. Poté už bylo provedeno měření dvou jízdních zkoušek v terénu. Brzdný manévr a kruhový test, při kterých se podařilo potvrdit předpoklady měření. Bylo dospěno k závěru, že teplota pneumatik při jízdě je závislá především na zatížení a podélném nebo příčném zrychlení vozu.
Provést analýzu naměřených teplot s ohledem na tlak vzduchu v pneumatice a s ohledem na další veličiny jízdní dynamiky vozidla.

2. Teoretická východiska pro měření

2.1 Pneumatiky

Informace čerpány z literatury [3].

2.1.1 Opotřebení pneumatiky

Opotřebení neboli životnost závisí na vlastní pneumatice na provozních podmínkách. K nim náleží rychlost jízdy, teplota, kvalita povrchu vozovky a síly působící ve stopě pneumatiky. Opotřebení vzrůstá progresivně jak s rostoucí rychlostí tak i stoupající teplotou. Při zatáčení vzrůstá opotřebení vnějších kol dokonce se 4. mocninou rychlosti (boční síla ~ v^2, navíc dynamické přetížení vnější dosedací plochy ráfku na vnějším kole). Podobný vliv má prudká akcelerace a prudké brzdění.

Na rychlé opotřebování pneumatik má vliv nesprávný tlak vzduchu. Při nízkém tlaku vzduchu vzniká intenzivní opotřebení krajních pásů běhounu; při velkém tlaku dojde k intenzivnímu opotřebení ve střední části běhounu.

Životností myslíme nejčastěji kilometrový proběh, který pneumatika za daných podmínek absolvuje do stavu opotřebení sezonových drážek na zákonem stanovenou hloubku. Podle

ČSN 631001 (Názvosloví pneumatik část 4 – Zkoušení) je životnost pneumatik definována jako ujetá dráha pneumatiky v daných podmínkách provozu do poruchy pláště, která nedovolí jeho další užívání. Do životnosti pneumatiky se počítá i protektorování.

Z praktického hlediska se životnost pneumatiky stanovuje jako dráha ujetá v kilometrech od zahájení provozu, tedy montáže nové pneumatiky na vozidlo, až do:
- opotřebení hloubky drážky až na zákonem povolenou hodnotu,
- poruchy pneumatiky, která vede k jejímu vyřazení z provozu,
- do ztráty funkčních vlastností, které jsou závislé na hloubce sezonové drážky.

První a druhý případ jsou myslím vcelku jasné, avšak třetí případ, který zdánlivě souvisí s prvním si zaslouží bližší vysvětlení. Pneumatiky dnes více než v minulosti ovlivňují více než 50% jízdních vlastností podvozku automobilu, proto je nutno jim věnovat náležitou péči. Během provozu, tedy při snižování hloubky drážky, dochází k těmto změnám vlastností pneumatiky:
- snižují se adhezní vlastnosti pneumatiky,
- dochází k aquaplaningu při nižších rychlostech,
- mění se boční tuhost pneumatiky, což ovlivňuje řiditelnost vozidla atd.

Obecně lze říci, že s ojížděním pneumatiky se zhoršují jízdní vlastnosti vozidla, které jsou závislé na hloubce dezénové drážky. Tento problém měli na mysli legislativní orgány některých států a zvýšily minimální dovolenou hloubku dezénu pneumatik z obecně platné hodnoty 1,0 milimetru na 1,6 milimetru, nebo až na 2,0 milimetru předepsaných v Itálii. Je nutné si uvědomit, že zejména za deště a popřípadě při jízdě po zaplavené vozovce, která má vyjeté podélné koleje, je pneumatika na automobilu rozhodující z hlediska bezpečné jízdy – rozbor některých havárií, hlavně málo zkušených řidičů, nás stále přesvědčuje o neznalostech, za něž tito lidé platí svými životy a ohrožují životy jiných. Ale nejhorší je to, že na úmyslné „šetření“ jedněch doplácejí vysokou cenou i lidé nevinní – třeba právě ti účastníci silničního provozu, kteří jezdí na bezpečných pneumatikách.

Životnost pneumatiky, tak jak byla vymezena výše, je závislá na řadě faktorů, které můžeme rozlišit na definovatelné, u nichž jsme schopni předvídat, jak budou ovlivňovat intenzitu opotřebení pneumatiky, a na faktory nedefinovatelné, náhodné, jejichž působení na intenzitu opotřebení nemůžeme přesně předpovídat. Tyto nedefinovatelné faktory závisejí především na konkrétní intenzitě provozu, na povrchu konkrétní vozovky a stylu jízdy řidiče, na počasí i na některých náhodných chemických vlivech. Alespoň základní aspekty a jejich působení na intenzitu opotřebení se pokusím v dalším textu popsat, především v pohledu na pneumatiky pro osobní automobily.

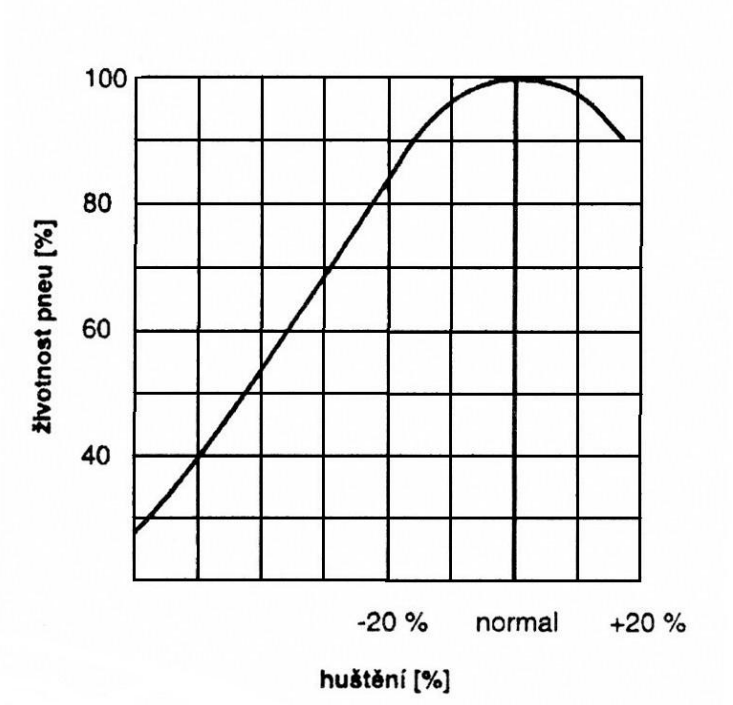
2.1.2 Běhoun pneumatiky

Běhoun je jednou z nejdůležitějších částí pláště, protože je vystaven velkému zatížení a při odvalování pneumatiky po vozovce dochází k jeho otěru. Pryžová směs použitá na běhoun pláště musí mít vysokou strukturní pevnost, aby v provozu nedocházelo k vnějšímu poškození (vytrhávání figur dezénu). Kromě toho musí vykazovat velkou otěruvzdornost (životnost) a přitom všem musí mít dostatečnou pružnost (elasticitu) a nízké, tzv. hysterezí ztráty (ztráty vznikající přeměnou mechanické energie při deformaci pryže za jízdy na teplo), aby nedocházelo k přehřívání běhounu. Navíc běhounová směs musí být vytvořena tak aby zajišťovala potřebnou adhezi a kohezi k suché i mokré vozovce. V současné době se klade

hlavně u osobních pláštů velký důraz na nízký valivý odpor, přičemž musí být zachována potřebná adheze a koheze k různým povrchům vozovek. Všechny tyto požadavky jsou navzájem rozporné. Na základě poznatků je pokles valivého odporu o 10% kompenzován zhoršením adheze na mokrém povrchu vozovky o přibližně 7 až 15%, v závislosti na rychlosti. Vývoj běhounové směsi je složitá záležitost a požadovaných vlastností se dnes dosahuje použitím speciálních kaučuků a plniv pro běhounové směsi, současně s různými změnami technologie míchání směsi.

2.1.3 Huštění pneumatik

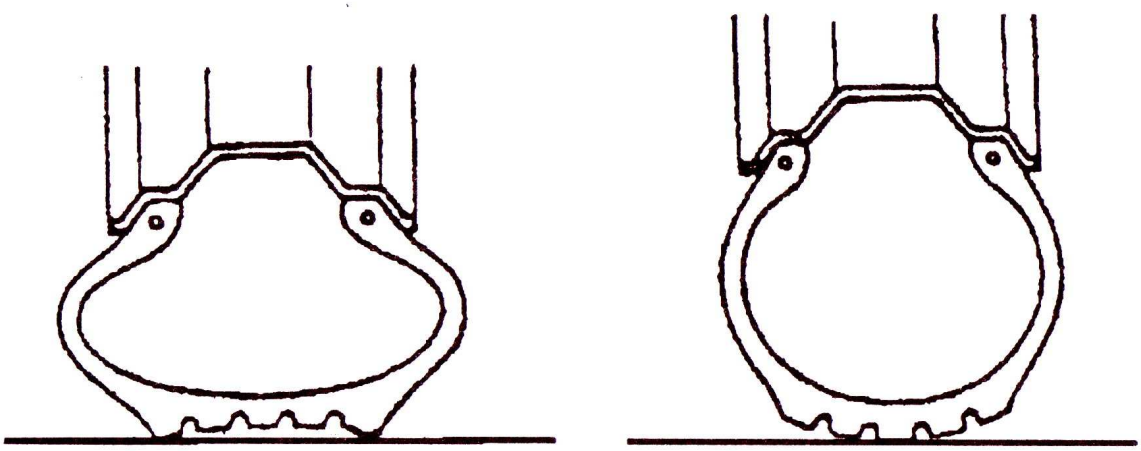
Huštění pneumatik a dodržování správného tlaku v provozu je jedním z nedůležitějších faktorů ovlivňujících životnost pneumatik spolu se stylem jízdy. Vysoké životnosti pneumatik může být dosaženo pouze v případě, že jejich nahuštění je optimální. Při zvýšeném tlaku v pneumatice se běžná pneumatika vyduje a dochází k nadměrnému ojíždění pouze střední části plochy běhounu. Tento případ bývá méně častý, zatímco podíl podhuštěných pneumatik dosahuje až 50%. Při nižším huštění dochází k dosednutí pneumatiky v okrajových částech běžné plochy běhounu a ty se opotřebovávají více než ve střední střední část běžné plochy. V místě nadměrného opotřebení roste měrný tlak ve styku s vozovkou a to může mít za následek, že na okrajích běhounového pásu vznikne separace a takový plášt je nadále nepoužitelný. Závislost životnosti pneumatik na míře nahuštění je patrná na obr. 2.1.



obr. 2.1 Vliv huštění na životnost pneumatiky [3]

Při neprávně nahuštěných pneumatikách dochází k deformaci a ztrátě stopy pneumatiky. Na obr.2.2 je znázorněna deformace podhuštěné a přehuštěné pneumatiky. Přehuštěná pneumatika má vypouklý dezén, dochází ke zakulacení pneumatiky v místě styku s vozovkou, je výrazně omezena její styková plocha na malou část v jejím středu. Pneumatika se při jízdě jeví jakoby tvrdší, avšak následkem je snížení jízdního komfortu a zhoršení jízdních vlastností vozidla. Nedokáže přenést boční zatížení dochází ke ztrátě adheze. U podhuštěné pneumatiky naopak dochází k propadu dezénu dovnitř pneumatiky, pneumatika se

stýká s vozovkou pouze po krajích, tím je také značně omezena styková plocha pneumatiky a ta nemůže dostatečně plnit své vlastnosti. Také nedokáže přenést boční zatížení, dochází ke ztrátě adheze v extrémních případech může dojít až k jejímu vyzutí z disku. Podhuštění má za následek zvětšení jízdního odporu vlivem valení, zhoršením dynamických vlastností vozidla, zvýšení spotřeby a v neposlední řadě zvýšené namáhání pneumatiky a jejího opotřebení.

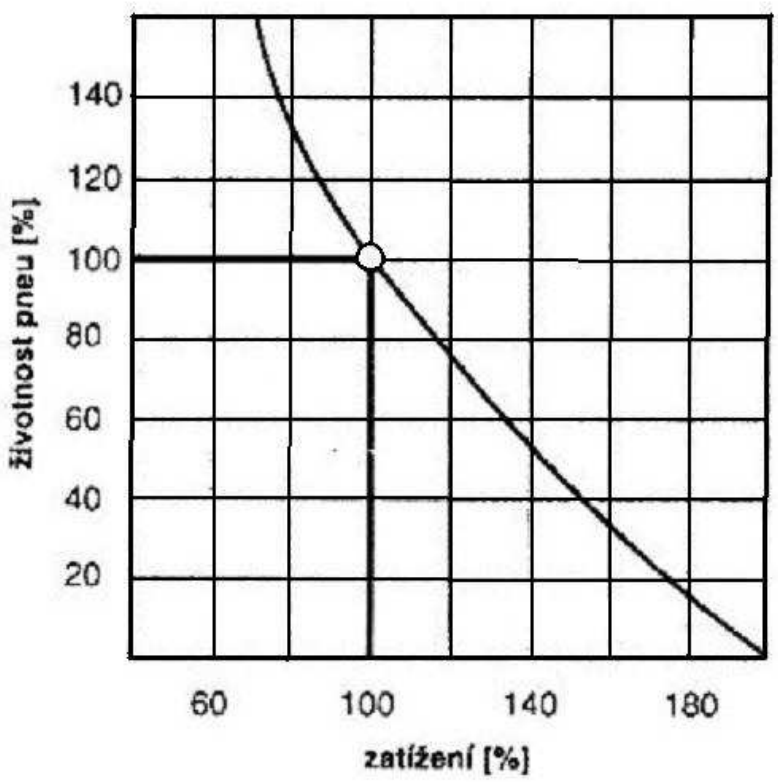


obr. 2.2 schématické znázornění podhuštěné a přehuštěné pneumatiky [3]

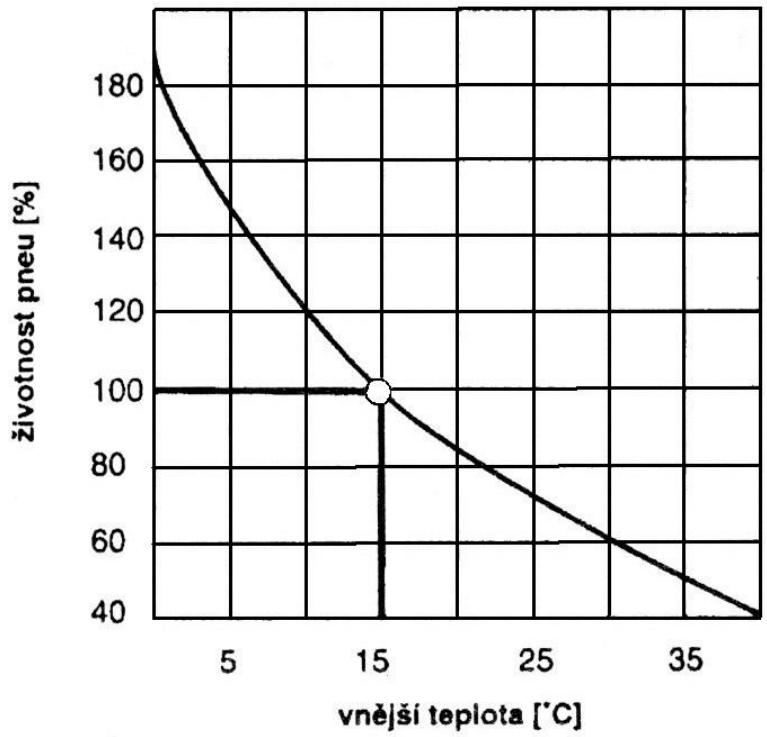
Podle průzkumů, které byli v minulosti prováděny, jsou podhuštěné pneumatiky jednou z nejčastějších provozních závad. Zde je nutné rovněž dodat, že podhuštěné pneumatiky mají silně změněné funkční vlastnosti, což mívá za následek zhoršení bezpečnosti silničního provozu, zejména zhoršenou ovladatelnost vozidla při průjezdu vyjetými podélnými kolejemi od kamionů. Proto je třeba huštění pneumatik vozidla věnovat v provozu náležitou pozornost. S huštěním pneumatik souvisí i přesnost manometru, kterým se tlak v pneumatice kontroluje. Je třeba také dbát na to, aby pneumatiky byly kontrolována ve studeném stavu. Je-li kontrola provedena po jízdě, kdy jsou pneumatiky teplé, vykazují po vychladnutí mírné podhuštění, které zbytečně snižuje jejich životnost a zvyšuje spotřebu provozu automobilu. Tím se zhoršují jeho ekonomické i ekologické aspekty provozu automobilu.

S rostoucím zatížením pneumatiky dochází k její větší deformaci a tedy i k většímu ohřátí právě díky hysterezi, což má za následek zvětšený oděr běhounu. Životnost pneumatiky v závislosti na zatížení vozidla je znázorněna na obr. 2.3. Efekt zvětšení zatížení u pneumatiky můžeme vyjádřit rovněž snížením jejího nahuštění. Oba tyto případy působí stejně, tzn. Že při zvýšeném zatížení dojde ke zvětšení deformace profilu pneumatiky stejně jako při sníženém huštění.

Teplota má vliv na životnost pneumatik nepříznivý vliv. S rostoucí teplotou klesá silová vazba mezi jednotlivými částmi běhounu a snadněji dochází k abrazi (tedy ke zvýšení intenzity oděru běhounu) a následně ke snížení životnosti. S rostoucí teplotou snáze vznikají trhliny v běžné ploše, zejména na drsném povrchu vozovky, jakých je u nás většina. Závislost životnosti pneumatik na vnější teplotě je znázorněna na obr. 2.4 ,kde je patrné, že s rostoucí teplotou, tedy zejména v letních měsících, životnost pneumatik podstatně klesá.



obr. 2.3 Vliv zatížení na životnost pneumatik [3]



obr. 2.4 Vliv vnější teploty na životnost pneumatik [3]

2.2 Možnosti snímání teploty povrchu pneumatik

2.2.1 Odpichový teploměr

Používá se pro přesné změření teploty uvnitř běhounu pneumatiky. Měří ale pouze jeden bod pneumatiky, nemáme šanci se dozvědět nic o rozložení teplot v jiné části běhounu. Hlavní nevýhoda spočívá v nemožnosti získat jakékoli údaje z jedoucího vozidla. Po zastavení pneumatiky chladnou a než se oběhnou a změří všechna 4 kola kolem vozidla uplyne poměrně dlouhá doba. Ta se ještě násobí chceme-li měřit více bodů napříč přes plášť. Vznikají nepřesnosti v měření. Této nevýhodě se dá předejít použitím více odpichových teploměrů na jednou a k tomu je zapotřebí více lidí. Tím se ale ztrácí hlavní výhoda odpichového teploměru a tím je jeho cena.

2.2.2 Hřeben

Jde o spojení více odpichových teploměrů v jedné linii za sebou do jednoho celku. Musí splňovat požadavek rychlé manipulace, kompaktních rozměrů, tuhé konstrukce a nízké ceny. Podle nároků na určení detailnosti teplotního pole se volí osazení 3÷5 břity do jednoho hřebenu v potřebné rozteči. Tím se nám dostane informací o rozložení teplotního pole napříč přes běhoun pneumatiky. Hlavní nevýhoda spočívá opět v nemožnosti získat jakékoli údaje z jedoucího vozidla. Po zastavení už sice jen musíme obejít a změřit 4 kola kolem vozidla, ale i tak uplyne poměrně dlouhá doba než se dostaneme k poslednímu kolu. Vznikají nepřesnosti v měření. Této nevýhodě se dá předejít použitím více hřebenů na jednou.

2.2.3 Infračervený pyrometr

Rychlá a poměrně levná metoda měření teploty pneumatik. Tato metoda se bez problémů používá i za jízdy vozidla. Nutná výroba a instalace držáků a dalších nezbytných zařízení (podrobně popsáno v kapitole 3). Nevýhodou je správné nastavení emisivity pro získání přesných výsledků.

2.2.4 Termokamera

Nejdražší z uvedených možností. Rychlá a obsáhlé získání údajů i z větší vzdálenosti (3÷5m). Odpadá obíhání vozidla a dotyk s pneumatikou. Podrobné dvourozměrné zobrazení teplotního pole. Dobře nastavitelná emisivita, i mírně ojetá pneumatika se chová jako matné černé těleso. Lze použít i pro měření za jízdy vozidla, ale vysoká cena a velké riziko poškození tuto možnost v podstatě vylučují.

2.3 Bez kontaktní metody měření teploty a teplotních polí

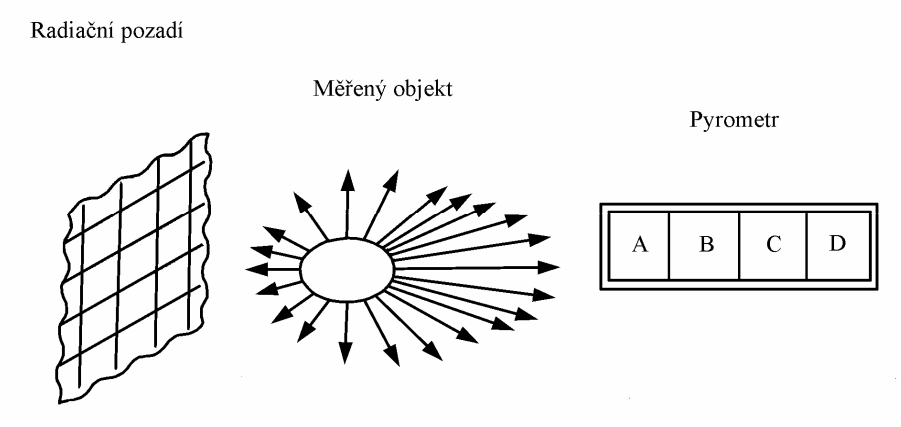
Je založeno na detekci a vyhodnocování té části elektromagnetického záření, která je vyvolána teplotou objektu. Jde o infračervené záření, jehož oblast vlnových délek leží asi od 0,8 µm do 1 mm. Při bezkontaktním snímání teplot buď vyhodnocujeme výši teploty v jediném místě (pyrometry), nebo snímáme teplotní pole.

2.4 Pyrometry

Informace čerpány z literatury [8], [9].

2.4.1 Radiační pyrometry

Radiační pyrometry úhrnně vychází ze Stefan - Boltzmanova zákona, podle nějž zářivá energie, která se vymění při měření mezi měřenou plochou tělesa a ploškou čidla pyrometru je úměrná rozdílu 4. mocnin jejich teplot. Blokově je měření radiačním pyrometrem znázorněno na obr. 2.5.



Obr. 2.5 Schéma měření radiačním pyrometrem [8].
A - optická soustava,
B - transformace zářivé energie na elektrický signál,
C - zpracování signálu,
D - výsledky měření teploty.

Problematika správného určení teploty tělesa bezkontaktním způsobem je poměrně složitá. Hlavní potíž je, zhruba řečeno, v tom, že měřený objekt nemívá vlastnosti tzv. absolutně černého tělesa, takže údaj teploty na pyrometru by byl nižší, než odpovídá teplotě skutečné. Korekci proto vnášíme do měření tím, že na pyrometru nastavujeme poměrnou emisi objektu - tzv. emisivitu ϵ, kterou lze pro daný materiál a charakter povrchu najít ve speciálních tabulkách.
Protože však velikost ϵ je záležitost složitější (vliv barvy, tvaru, teploty, vlnové délky apod.), u přesnějších měření se neobejdeme bez cejchování jinou metodou.
Optickou částí pyrometru je konkávní zrcadlo, soustřeďující záření na snímač, nebo objektiv. Kvůli propustnosti infračerveného záření v dostatečně širokém spektru je materiál objektivu často jiný, než sklo (např. fluorid lithný apod.). Transformaci zářivé energie na elektrický signál provádí snímač.

2.4.2 Úhrnné pyrometry

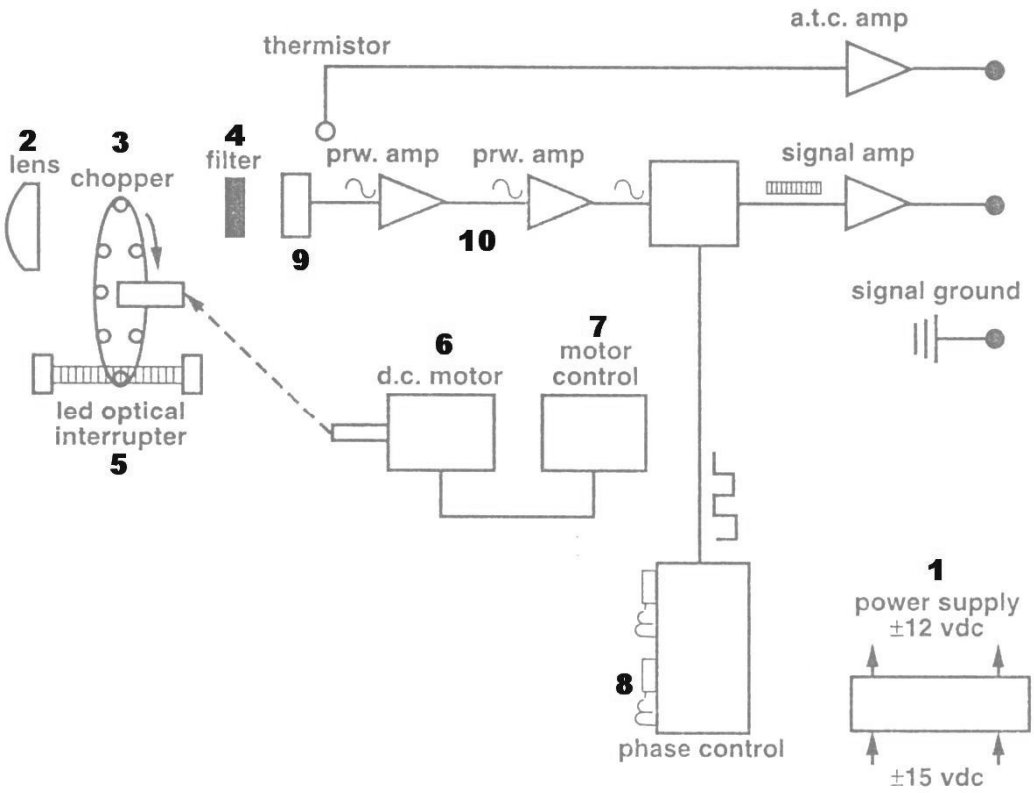
Úhrnné pyrometry užívají tepelných snímačů. Tepelné záření je zde optickou soustavou koncentrováno na snímač (termočlánek, termistor apod.), jehož teplota v důsledku toho roste. Na základě následných změn elektrických parametrů snímače hodnotíme výši teploty. Vyhodnocení je zde neselektivní, přibližně z celého vlnového rozsahu záření. Časová konstanta měření je poměrně značná.

2.4.3 Pásmové pyrometry

Pásmové pyrometry pracují s tzv. kvantovými snímači, které jsou založeny na fotoelektrickém jevu. Absorpce kvanta záření, přivedeného optikou na čidlo, vede u snímače ke zvýšení elektrické vodivosti (fotoodpory PbS) nebo ke vzniku hradlového napětí (hradlové selenové fotočlánky). Tepelné záření se hodnotí selektivně, tzn. jen v pásmu vymezeném především spektrální citlivostí čidla.
Uvedené parametry jsou poněkud citlivější, pracují na rozdílu teplot diagnostikovaného objektu a okolí již od 12° C, časová konstanta je proti předchozím podstatně kratší (asi 0,5 s).

2.4.4 Tvar a konstrukce infračervených teploměrů

Moderní infračervený snímač teploty je v podstatě založen na podobném principu. Je však složitějším, což umožňuje měřit více aplikací. Hlavní rozdíly jsou v použití nových detektorů, mající větší výkon, ale hlavně mají lineární výstup a ten je možno získat jak v jednotkách napětí, tak proudu. Největší zlepšení spočívá v aplikaci selektivního filtru na měřený signál. V počátcích se měřilo velké pásmo IR energie, v dnešní době lze odebírat signál o vlnovém spektru 1 mikron. Tato skutečnost nám umožňuje mnohem přesnější měření a vyloučení nežádoucích jevů: je možno měřit přes sklo, je eliminován vliv prachu, plamenů, kouře, nebo vlhkost. Byly vyvinuty krátkovlnné filtry, umožňující měřit relativně přesně extrémně vysoké teploty. Dnešní snímače umožňují lepší zpracování signálu z detektoru. Za pomocí operačních zesilovačů je výstup linearizován. Signál je silnější a přesnější. Jednodušší je také nastavování emisivity na snímači. Pro mnoho materiálů je emisivita již přesně určena. Tyto hodnoty udávají výrobci snímačů ve svých katalozích. Snímač je zobrazen na obrázku 2.6.



Obr. 2.6 Moderní koncepce IR termometru [6]

1) Napájení
2) Systém čoček
3) Přerušovač
4) Filtr, umožňující selektivní filtrování
5) Vedení optického přerušovače
6) Stejnosměrný motor, nastavující čas odezvy
7) Řízení motoru
8) Fázové řízení
9) Pozadí, na které dopadá energie
10) Operační zesilovače pro úpravu signálu“

2.5 Stavová rovnice

čerpáno z literatury [9].

Plyn který je v rovnovážném stavu, lze charakterizovat stavovými veličinami: termodynamickou teplotou T, tlakem p, objemem V a počtem molekul N (popřípadě hmotností plynu m nebo jeho látkovým množstvím n).
Rovnice, která vyjadřuje vztah mezi těmito veličinami, se nazývá stavová rovnice. Existuje několik navzájem závislých tvarů této rovnice. Pro námi uvažovanou soustavu (soustava pneumatiky s diskem plněná vzduchem) lze použít nejlépe tyto tvary.

$$\frac{p \cdot V}{T} = konst. \text{ (m = konst.) (2.1)}$$

$$p \cdot V = \frac{m}{M_m} R_m \cdot T \quad (2.2)$$

Pro skutečné (reálné) plyny platí stavová rovnice plynu dostatečně přesně jen při relativně nízkém tlaku a vyšší teplotě, např. pro dusík při teplotě 273 K a tlaku od 0,1 MPa do 10 MPa. Dusík je v atmosféře obsažen 78%, některé pneuservisy dokonce doporučují plnit kola čistým dusíkem. Důkaz platnosti stavové rovnice v kole vozidla. Při vysokých tlacích nízkých teplotách je hodnota součinu p·V odlišná od hodnoty výrazu $\frac{m}{M_m} R_m \cdot T$. V těchto případech se musí počítat s vlastním objemem molekul, které tvoří plyn a se vzájemnými přitažlivými silami mezi nimi. Pro plyn o látkovém množství 1mol platí van der Waalsova rovnice.

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2} \right) \cdot \left(V_m - b \right) = R_m \cdot T \quad (2.3)$$

V_m … molární objem
a,b … charakteristické konstanty pro jednotlivé plyny

2.6 Systém kontroly tlaku v pneumatikách

Informace čerpány z literatury [11].

Komerční systém kontroly tlaku v pneumatikách (Tire Pressure Monitoring System - TPMS) je určen pro osobní automobily a lehké dodávkové vozy. Systém průběžně kontroluje tlak v

pneumatikách a jejich teplotu. V případě vzniku nebezpečné situace varuje řidiče. Sledování tlaku je funkční i během parkování vozu.
Systém sestává z přijímače, umístěného v kabině vozu a z příslušného počtu senzorů, umístěných v jednotlivých kolech. Senzory jsou vybaveny vysílačem napájeným z baterie. Přijímač shromažďuje informace o teplotě a tlaku ve všech kolech, provádí jejich okamžité hodnocení a případně varuje řidiče.

2.6.1 Senzory

Senzor váží 26 gramů a je umístěn uvnitř pneumatiky. Je napájen z lithiové baterie s životností 10 let. Senzor periodicky měří tlak, teplotu a stav baterie. Tyto údaje vysílá na kmitočtu 433,92 MHz do kabiny vozu.
Měření se provádí každé 3 vteřiny. Vysílání probíhá kvůli úspoře baterie každých 30 vteřin - pokud je vše v pořádku. Vznikne-li nebezpečná situace, je vysíláno každé 3 vteřiny. Senzor je aktivní i během parkování vozu, čímž se vylučuje možnost rozjezdu s „prázdnou“ pneumatikou. Senzory se dodávají ve dvou provedeních s odlišnou montáží. Senzor TS1 je připevněn k ráfku kovovým páskem se sponou obr. 2.7. Senzor TS2 je přišroubován k ráfku pomocí speciálního kovového ventilku obr. 2.8.



Obr 2.7 montáž senzoru TS1 [11]



Obr 2.8 montáž senzoru TS2 [11]

2.6.2 Přijímač

Přijímač (obr. 2.9) je vybaven vnitřní anténou, nepotřebuje tedy anténní přívody od jednotlivých kol. Je vybaven barevným prosvětleným LCD displejem. Umisťuje se na přístrojovou desku, nebo na střední panel, v zorném poli řidiče. Přijímač je aktivní i při parkování vozu (odběr do 3mA). Po zapnutí zapalování je pak řidič okamžitě upozorněn na případný problém s pneumatikami. Přístroj rozlišuje dvě úrovně hlášení problému-varování a poplach. Varování nastane v případě, kdy tlak v některém kole se odchýlí o více než 25% od požadované hodnoty (dle NHTSA rule No.2000-8572), nebo teplota kola překročí 70 °C. Poplach nastane v případě, kdy tlak v některém kole poklesne více než 40% pod požadovanou hodnotu, nebo teplota kola překročí 80 °C. Systém varuje i při náhlém poklesu tlaku, který může být vyvolán defektem. Řidič je tak schopen reagovat dříve, než dojde ke vzniku nebezpečné situace, vyvolané únikem vzduchu z pneumatiky.



Obr 2.9 displej přijímače [11]

Kromě varovných funkcí plní přijímač také základní informační funkce o tlaku v pneumatikách. Umožňuje zobrazit změřený tlak a teplotu v každém kole. Pro výpočet odchylky od požadovaného tlaku procesor přijímače nejprve provede přepočet změřeného tlaku na standardní teplotu 18 °C. Pak vypočte odchylku od požadovaného tlaku. Tuto odchylku je možno také zobrazit na displeji pro každé kolo. Požadovaný tlak pro jednotlivé nápravy se zapíše dle skutečného tlaku při aktivaci po montáži systému, nebo jej lze zadat pomocí tlačítek. Použité jednotky pro zobrazení lze volit evropské-kontinentální (BAR, °C), nebo anglosaské (PSI, °F). Díky vysoké četnosti měření a vysílání informací o tlaku je systém možno použít také jako tlakoměr při dohušťování pneumatik. Tvrdí výrobce avšak bylo zjištěno, že snímač v kole sice neustále kontroluje tlak a teplotu v každém kole, ale vysílá vždy pouze změnu hodnoty tlaku nebo teploty. Z důvodu malé vzorkovací frekvence zobrazovaných hodnot je toto řešení pro naše účely nevyhovující.

2.6.3 Technické údaje

Napájecí přijímače:	9 až 15 V=
Odběr proudu:	22 mA (při zapnutém zapalování), max. 50 mA při varování, max. 3 mA (při vypnutém zapalování)
Napájení senzoru:	3 V baterie, nedobíjecí, nevýměnná
Životnost baterie senzoru:	10 let (za normálních provozních podmínek)
Provozní teplota:	-40 až +125°C (senzor) -40 až +80°C (p řijímač)
Provozní tlak senzoru:	0 až 530 kPa
Hmotnost senzoru:	26 g
Vysílací frekvence:	433,92 MHz

2.7 Měření tlaku a teploty v kole

Příklad profesionálního měření teploty a tlaku kola jsem našel u firmy McLaren elektronic systems. Systém se sestává ze snímače tlaku s vysílačem se připevněném k disku kola, vysílač posílá data přes RF spojení ke kompaktnímu rozhlasovému přijímači na autě. Ke zvýšení vzorkovací frekvence dochází automaticky když se objeví změna tlaku. Systém se samočinně vypne pod prahovým tlakem, aby uchoval životnost baterií. Rozhlasový přijímač posílá data do automobilového managementu přes CAN. Je zde možnost připojení digitální, nebo analogové měřící karty. Informace čerpány z literatury [12].

2.7.1 Technické údaje Senzor TX

Napájecí napětí	2,5÷3,6V (integrovaná lithium-thionylchlorid baterie) životnost 5x106 přenosů bez nabíjení baterie (při teplotě 25°C)
tlak - rozsah	4,4÷30psi (0,3÷2,068Bar)
tlak – přesnost	±0.15psi (±10mBar)
teplotní senzor	KTY13-5
váha snímače	18g (kompletní snímač s krytem 42g)

přenosová rychlost je řízena rychlostmi změnami tlaku a struktury k tomu, aby se uchovala životnost baterií
odolný vůči standardní Motorsport kapaliny

provozní teplota	+10 +135°C
kmitání	50÷2500Hz, 40g 8hrs v jedné ose

2.7.2 Technické údaje přijímač RX

napájecí napětí	8÷16Vdc
napájecí proud	90mA (při 12V)
datové sběrnice	CAN 2.0B aktivní, 1Mbps
doporučená	CAN karta vektor CANcardXL
kapacita paměti	240 senzorů

Kmitání náhodné spektrum pro 2 hodiny v 1 ose
Každý senzor má vlastní zašifrovaný přenosový kanál. Přijímač má pro každý senzor 16 přenosových vstupů pro teplotu a tlakové kalibrační body.
FM modulace (FSK) zakódovaných vstupních kanálů
jmenovitá frekvence 433,920MHz

přenosový dosah 15m

Digitální měřící karta CAN RX

hliníková skřín s povrchovou úpravou
celková hmotnost 119g (95g bez antény)
konektor AS2-10-35PN
kanály

Pin 1	Supply
Pin 2	Ground
Pin 3	CAN +
Pin 4	CAN -
Pin 5	N/C

Analogová měřící karta RX

hliníková skřín s povrchovou úpravou
celková hmotnost 139g (115g bez antény)
konektor ASL0-06-05-PN-HE
kanály

Pin 1	Supply
Pin 2	Analogue 3
Pin 3	N/C
Pin 4	CAN +
Pin 5	CAN -
Pin 6	N/C
Pin 7	Analogue 2
Pin 8	Analogue Ground
Pin 9	Analogue 1
Pin 10	Ground
Pin 11	Analogue 4
Pin 12	N/C
Pin 13	N/C

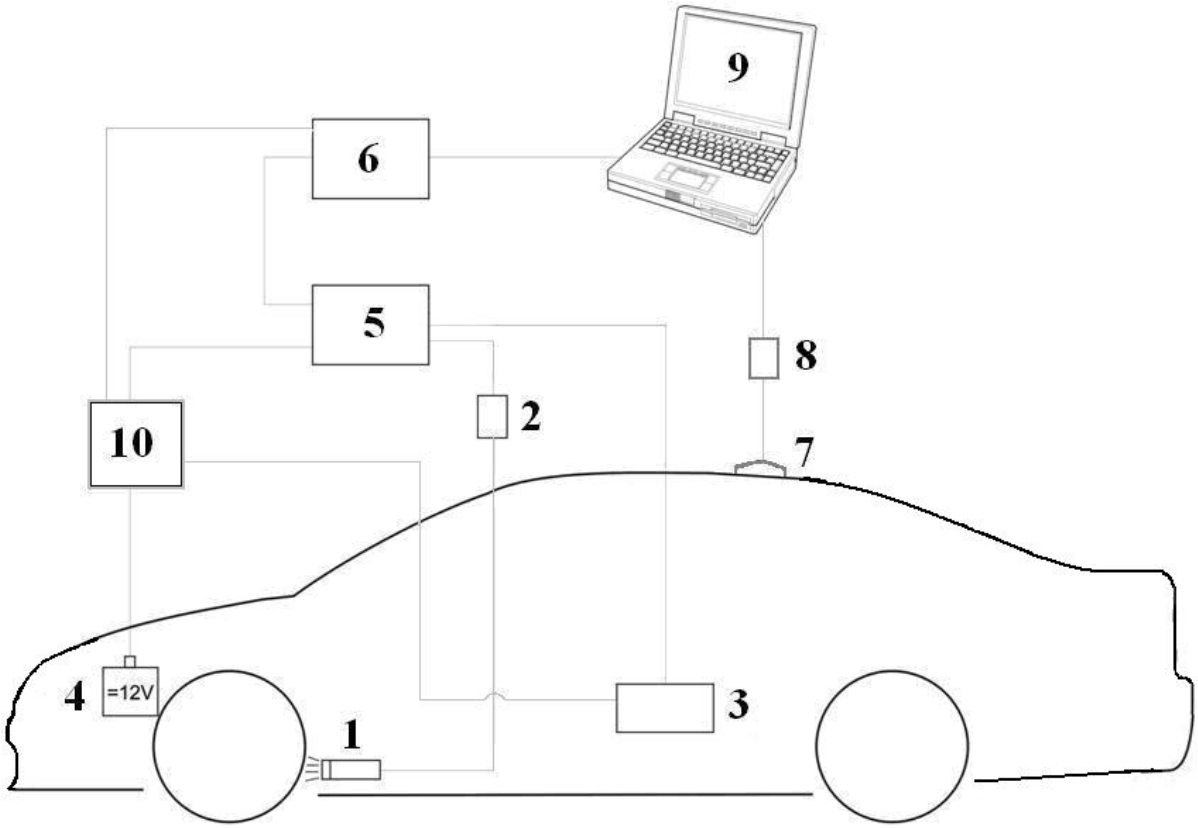


Obr.2.10 vyobrazení snímače s vysílačem a přijímače McLaren [12]

3. Popis snímače, měřícího řetězce a měřících metod

3.1 Měřící řetězec

Měřící řetězec začíná u snímaných veličin, kterými jsou teplota pneumatiky, zrychlení v ose kolmé k ose vozidla, rychlost a polohu vozidla. Měření těchto veličin je prováděno jednotlivými snímači. Teplota pneumatik je snímána pásmovými pyrometry, zrychlení je měřeno M-Boxem, rychlost a polohu vozidla získáme ze signálu GPS. Elektrické signály ze snímačů jsou přivedeny do sběrné krabice, která je připojena k napájení 12 V DC. Dále jsou elektrické signály vedeny do měřící karty, která je zpracuje na digitální signály. Ty jsou přivedeny přes USB port do přenosného počítače, v němž dochází k vykreslování a ukládání dat (*viz obr. 3.1*).



Obr. 3.1 Schéma měřícího řetězce

1) hlava snímače teploty
2) snímač teploty (hlavní panel)
3) M-Box
4) Akumulátor (zdroj stejnosměrného napětí)
5) sběrná krabice
6) měřící karta
7) anténa GPS
8) datalogger GPS
9) přenosný počítač
10) rozvaděč napájení

3.1.1 Snímač teploty

čerpáno z literatury [6].

Měření teplot pneumatiky bude realizováno bezdotykovým snímačem OS 100 od firmy Omega (*viz obr. 3.2*). Jde o malý infračervený pásmový pyrometr, který je konstruován pro použití v průmyslu. Literatura [6].

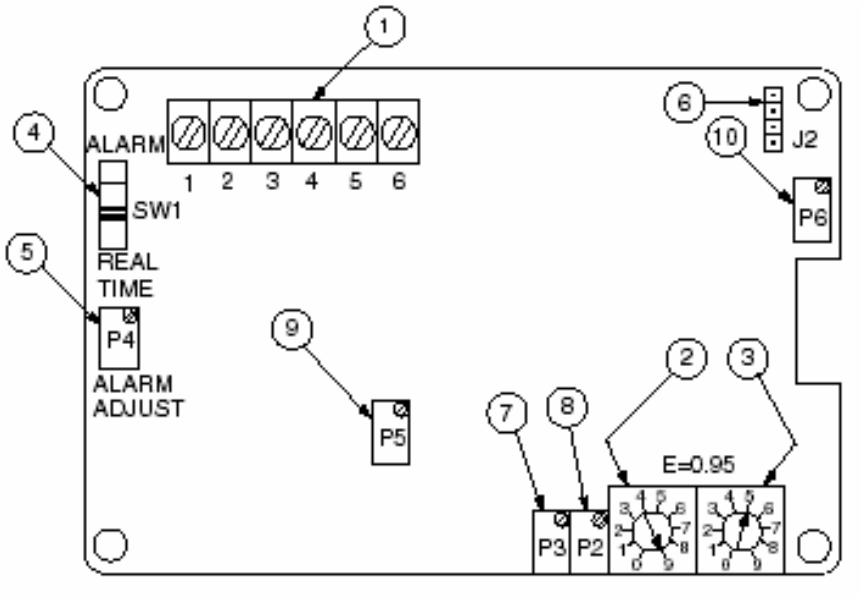


Obr. 3.2 Snímač Omega OS 100 [6]

Snímač se skládá ze dvou částí, z hlavy a hlavní části snímače. Hlava pyrometru je instalována v těle ze slitiny hliníku. Je válcová o rozměrech: průměr 25 mm a délka 63,5 mm. Malé rozměry hlavy snímače jej předurčují k měření teplot v prostorově omezených a těžce přístupných místech.

Druhý díl snímače tvoří hlavní část, která je vložena do obalu z tlakově lité slitiny hliníku. Hlavní panel je propojen s hlavou snímače pomocí stíněného kabelu o délce 1,82 metru. Tento kabel je standardně dodávám výrobcem, ale lze jeho délku prodloužit až na 15,2 metrů. Poté je nutné změnit nastavení vstupního nulovacího potenciometru P3. Na obr. 3.3 je vnitřní část snímače, kde se provádí nastavení parametrů a připojení snímače.

Rozsah snímaných teplot pyrometru je –18 až 538°C (0-1000°F) a poskytuje lineární analogový výstup, který je podle zapojení 4 – 20mA nebo 0 – 5 V DC. Emisivitu lze nastavit pomocí potenciometrů č.2 a č.3 (*viz obr. 3.3*). Pro každý materiál na němž je měřena teplota je hodnota emisivity jiná. Výrobce ve svém manuálu udává nejpoužívanější hodnoty emisivit. V tab. 3.1 jsou uvedeny hodnoty doporučené výrobcem pro pryž, které budeme potřebovat pro naše měření.



Obr. 3.3 Hlavní část snímače [6]

1) svorkovnice pro připojení napájení a výstupů
2) potenciometr pro nastavení emisivity v desetinách
3) potenciometr pro nastavení emisivity v setinách
4) přepínač mezi skutečným časem (normální operace) a signalizací nastavené hodnoty
5) nastavení signalizace nastavené hodnoty, P4
6) propojení s hlavou čidla
7) vynulování vstupu, P3
8) nastavení měřícího rozsahu na vstupu, P2
9) vynulování výstupu, P5
10) nastavení měřícího rozsahu na výstupu, P6

Tab. 3.1 Hodnoty emisivit dané výrobcem [6]

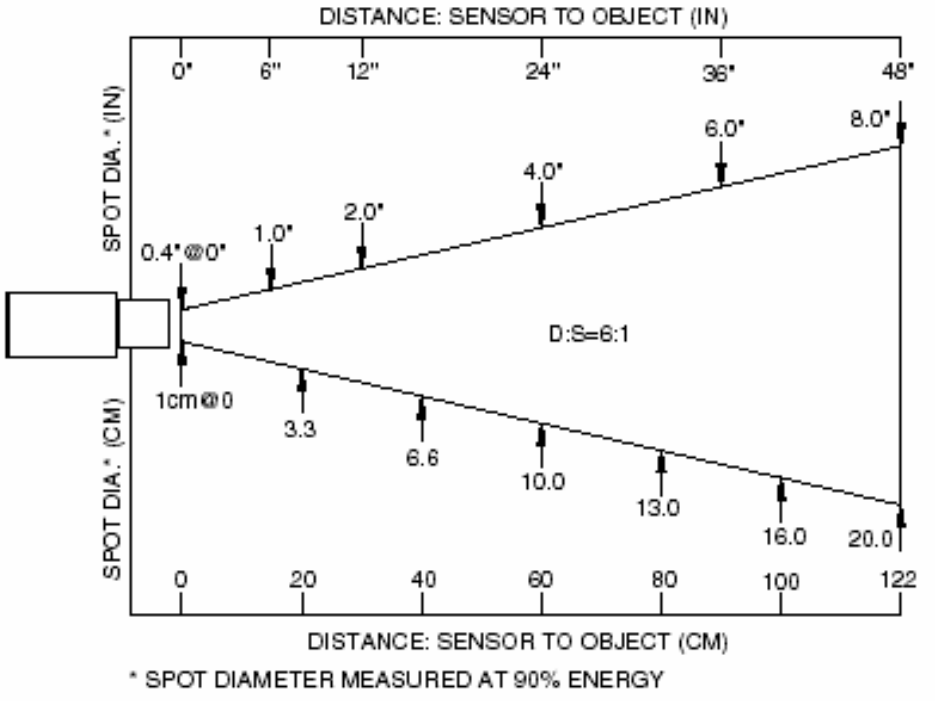
Materiál	Teplota °C	Emisivita
Pryž		
Tvrdá	23	0,94
Měkká, šedá	24	0,86

Hlava snímače nesnímá teplotu v jednom místě, ale vyzařuje kužel infračerveného záření. Aby snímač pracoval správně, musí kužel celou plochou dopadat na měřené těleso. Výrobce doporučuje, aby snímaný objekt raději přesahoval kužel o 50 % pro zajištění přesného snímání teploty (*viz obr. 3.4*).

Teplota prostředí v němž může snímač normálně pracovat je od 0 do 70 °C. Před začátkem měření je nutno dodržet zahřívací čas 3 minuty. Dále se nesmí teplota kolem hlavy snímače měnit skokově, neboť lze navodit snímači tzv. tepelný otřes a pak nějaký čas trvá, než se senzor opět přizpůsobí okolí a to například při skoku z 25 na 50 °C trvá až 30 minut. Snímač je citlivý na znečistěné pracovní prostředí kouřem, prachem a většími částicemi. Znečistění optické čočky může způsobit velkou chybu při měření teploty. V tabulce 3.2 jsou shrnuty technické specifikace snímače.

Tab. 3.2 Přehled technických specifikací snímače [6]

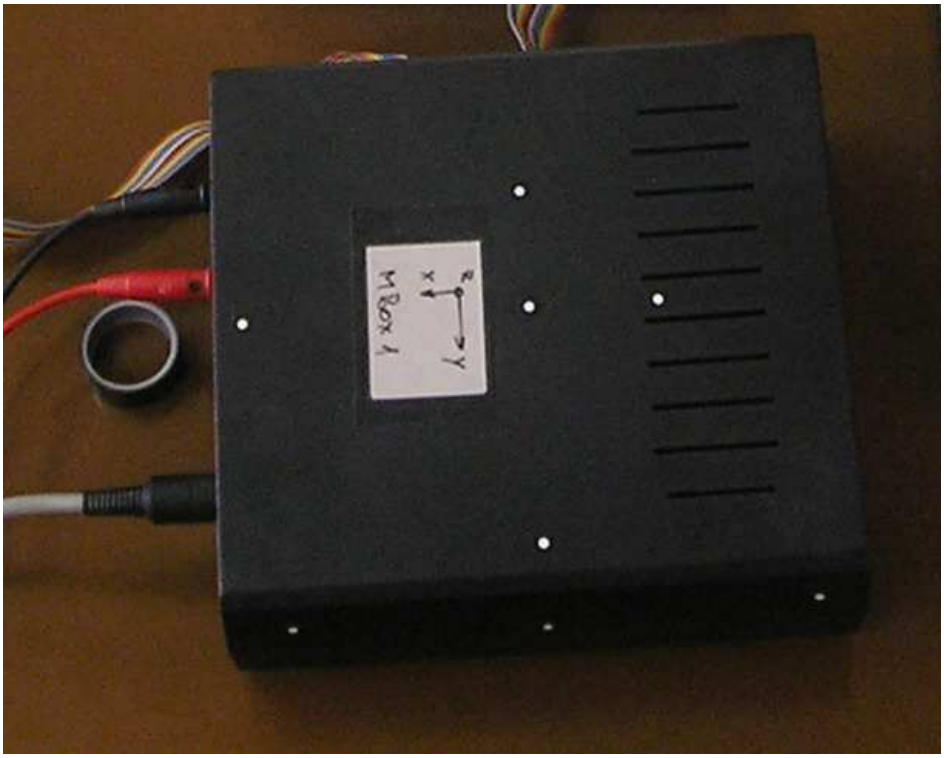
Teplotní rozsah	-18 až 538 °C (0 – 1000 °F)
Přesnost (při 22 °C a emisivitě 0,95 a vyšší)	± 2 %
Optické pole vidění	6:1 (vzdálenost / rozměr cíle)
Opakovatelnost	± 1 %
Šířka spektra	8 – 14 μm
Čas odezvy	150 msec.
Rozsah emisivit	0,1 – 0,99
Pracovní teplota: hlavní část snímače hlava snímače	0 – 50 °C 0 – 70 °C
Teplotní otřes	čas ustálení 30 min. při skokové změně tepoty o 25°C
Zahřívací čas	3 min.
Napájení	12 – 24 V DC, 100 mA
Analogové výstupy: MV-F MV-C K MA V1	1 mV / °F 1 mV / °C K typ TC 4 – 20 mA 0 – 5 V DC
Zatížení výstupu (0 – 5 V DC)	1 kΩ
Materiál hlavní části snímače	tlakově litý hliník
Materiál hlavy snímače	hliník
Rozměry: hlava snímače hlavní část snímače	∅ 25,4 x 63,5 mm 65,5 x 30,5 x 115,3 mm
Váha	272 g



Obr. 3.4 Zobrazení zorného pole hlavy snímače [6]

3.1.2 M-Box

M-Box je název pro zařízení snímající zrychlení a úhlovou rychlost (viz obr. 3.5). Box obsahuje elektronické snímače zrychlení a úhlové rychlosti. Od každého snímače jsou použity tři a jsou uspořádány v prostoru do třech vzájemně kolmých os. Snímače zrychlení jsou použity od firmy Analog Devices a jejich typové označení je ADXL 105. Měřící rozsah mají ± 5 g. Jsou zapojeny s filtrem a výkonovým zesilovačem. Snímače úhlové rychlosti jsou vyrobeny firmou Murata s označením gyrostar ENF – 05D – 52. Jejich měřící rozsah je ±80°/s. Gyrostar je v zapojení s výkonovým zesilovačem. Výstupní signály z M-Boxu jsou tedy normalizovány a zesíleny na rozsah ± 10 V s ofsetem nastaveným na nulu. M-Box byl sestrojen na ústavu konstruování.
Při měření je M-Box připevněn ve vozidle za předními sedadly na středovém tunelu. Umístění je blízké těžišti vozu. Po připevnění na místo byl ustaven do vodorovné polohy libelou.



Obr. 3.5 M-Box

Tab. 3.3 Přehled technických parametrů M-Boxu [5]

Napájení	12 V
Výstupní signál	± 10 V
Snímač zrychlení	
výrobce	Analog Devices
typ	ADXL 105
rozsah	± 5 g
Snímače úhlové rychlosti	
výrobce	Murata
typ	gyrostar ENF – 05D – 52
rozsah	± 80°/s

3.1.3 MicroSAT R20

Informace čerpány z literatury [10].

MicroSAT R20. Jde o výkonný vozidlový monitorovací systém založený na GPS přijímači (obr. 3.7) a anténě (obr. 3.6), využívá signálů vysílaných satelity z oběžné dráhy a na zpřesnění doplerův efekt na měření přesné rychlosti a pozice.Anténa je přichycena ke střeše magnetem a je spojena s interface box, který je připojen k notebooku. Signál GPS bude použit k určení dráhy a rychlosti vozidla. Dále je zamýšleno jeho využití při zaznamenávání přesného času na jedno kolo a záznam jednotlivých kol u kruhového testu. Použijeme ho i na kontrolu příčného a podélného zrychlení vozu získaného z M-Boxu. Po zapnutí automaticky zaznamenává data. Má přednastavené akcelerační a brzdné testy. Které se umí automaticky spouštět a zaznamenávat. Ve spojení se softwerovou částí v notebooku tyto data vyhodnotí a zobrazí.

Technická data:

Rychlost	0 ÷1 854 km/h
Přesnost měření rychlosti	0,1 km/h v celém rozsahu
Přesnost měřené vzdálenosti	0,5%
Přesnost udávané pozice	1m CEP (circural error probability)
Vzorkovací frekvence	20 Hz
Pracovní teplota	-10 ÷ 60°C
Provozní doba	2 hodiny
Doba nabíjení	2 hodiny
Napájecí zdroj	12÷20 V DC
Příkon nabíjení	6 W
Příkon běhu a nabíjení	8 W
Příkon běhu	8 W
Doba uchování dat	7 hodin



Obr. 3.6 anténa GPS



Obr. 3.7 datalogger GPS [10].



Obr. 3.8 Sběrná krabice

3.1.4 Sběrná krabice

Sběrná krabice je část měřícího řetězce, ke kterému jsou připojena veškerá použitá čidla a snímače. Jsou to snímače teploty, výšky, correvitů, M-Box. Do krabice je také připojeno stejnosměrné napájení a referenční stejnosměrné napětí 12 Voltů a 5 Voltů, které je přivedeno z napájecí krabice. Všechny vstupní signály ze snímačů jsou nezměněny přivedeny na výstupní konektor. Z něho jsou dále vedeny do měřící karty, kde jsou převedeny na digitální signál.
Sběrná krabice je do měřícího řetězce zařazena z důvodu usnadnění a zjednodušení jeho zapojování. Hlavně tím bude omezen počet zapojování vodičů do svorkovnice měřící karty, kde by snadno mohlo dojít k chybnému zapojení. Tím by následně mohlo dojít ke znehodnocení měřeného signálu, nebo až ke zničení měřící karty. Rozmístění jednotlivých konektorů na krabici vidíme na obr. 3.8.

3.1.5 Měřící karta

Použitá měřící karta (viz obr. 3.9) je zakoupena od firmy National Instruments. Její typové označení je NI DAQPad – 6015. Spojení s počítačem a přenos dat je zprostředkován pomocí USB portu. Karta obsahuje zabudovanou šroubovou svorkovnici (*viz tab. 3.4*) pro snadné připojení snímačů z nichž je přiveden analogový signál. V našem případě není signál od snímačů přiveden přímo na kartu , ale přes sběrnou krabici. Na svorkovnici je možné připojit 16 analogových vstupů se vzorkovací rychlostí 200 kS/s a 8 digitálních. Převodem analogového signálu na digitální dochází ke ztrátě, proto má karta také 2 analogové výstupy, pro přesný výstupní signál. Software doporučený výrobcem pro zaznamenávání a vykreslování snímaných dat je LabView. Podrobný popis LabView a v něm vytvořené aplikace je v kapitole 5.



Obr. 3.9 Měřící karta

Tab. 3.4 Zapojení svorkovnice [5]

AI 0	1	17	AI 4
AI 8	2	18	AI 12
AI GND	3	19	AI GND
AI 1	4	20	AI 5
AI 9	5	21	AI 13
AI GND	6	22	AI GND
AI 2	7	23	AI 6
AI 10	8	24	AI 14
AI GND	9	25	AI GND
AI 3	10	26	AI 7
AI 11	11	27	AI 15
AI GND	12	28	AI GND
AI SENCE	13	29	AI GND
AI GND	14	30	AI GND
AO 0	15	31	AO 1
AO GND	16	32	AO GND

AI – analog input (analogový vstup)
AO – analog output (analogový výstup)
GND – ground (zem)
SENCE – zem snímačů

Karta má šestnáct vstupních kanálů označených AI 0 – AI 15. Na svorkách AI 0-5 je připojen M-Box, AI 6-9 jsou snímače teploty. Z důvodu správné funkce karty je analogová zem AI GND spojena se zemi snímačů AI SENCE.
V tabulce 3.5 jsou shrnuty základní technické specifikace měřící karty. Podrobnější informace o kartě najdeme v manuálu.

Tab. 3.5 Přehled technických specifikací měřící karty [5]

Komunikační port	USB 2.0
Analogové vstupy	16(samostatně zakončených)/8(rozdělených)
Vstupní rozlišení	16 bitů
Vzorkovací rychlost	200 kS/s
Vstupní rozsah	± 0,05 až ± 10V
Analogové výstupy	2
Výstupní rozlišení	16 bitů
Výstupní rychlost	300 S/s
Výstupní rozsah	± 10V
Digitální vstupy	8
Spouštěče	Digitální
Doporučený čas zahřátí	15 minut
Kalibrační interval	1 rok
Napájení	9 – 25V, 12W
Pracovní teplota	0 – 55°C
Rozměry	176 x 148,5 x 30,8 mm
Váha	1 kg

3.1.6 Rozvaděč napájení

Rozvaděč napájení zásobuje elektrickou energií celý měřící řetězec. Je napájen z akumulátoru. K jednotlivým částem měřícího řetězce dodává stejnosměrné napájení a referenční stejnosměrné napětí 12 Voltů a 5 Voltů obr.3.10. Do rozvaděče napájení je zapojena měřící karta, sběrná krabice, M-Box, dále může být zapojen datalogger, correvit a GPS obr.3.11.



Obr. 3.10 Rozvaděč napájení



Obr. 3.11 Rozvaděč napájení

3.2 Odpichový teploměr

Pro měření teploty pneumatiky uvnitř dezénu byl použit odpichový teploměr. Je tvořen termočlánkem typu K od firmy Omega typ HH11A (obr.3.12). Je vybaven nastavením Offsetu pro kalibraci, přepínáním zobrazovaných údajů ve °C a °F. Teplotní rozsah 200÷1250°C přesnost lepší než 1,1°C, nebo 0,4%.



Obr. 3.12 odpichový teploměr

3.3 Tlakoměr

Na ověření tlaku v pneumatice byl použit tlakoměr firmy Longacre výrob. č. 1-800-423-3110. Má speciálně navržený knoflík odfuku pro vyrovnání a udržování tlaku na správné míře přesnosti. Vyobrazení na obr.3.13.



Obr. 3.13 tlakoměr

3.4 Teploměr

Měření teploty vzduchu uvnitř pneumatiky bylo vyřešeno provrtáním disku a zalepením termočlánkového drátu typu K viz obr. 3.14. Pro utěsnění mezery kolem drátu bylo použit, po několika nezdařených pokusech, dvousložkový epoxidový tmel EPROSIN T30.



Obr. 3.14 utěsnění termočlánkového drátu

3.5 Hřeben

Pro rychlé změření běhounu pneumatiky jsem vytvořil návrh vícebodého odpichového teploměru. Bude se používat na rychlou kontrolu teploty pneumatik při zastavení vozidla. Dá se zjistit rozložení teplot napříč přes plášť. Pro rozměr pneumatik 205/50/R17 jsem zvolil délku hřebenu na 200mm. Do vyměnitelné destičky jsem umístil 5 hrotů s roztečí 40 mm. Na konce hrotů měl být připájen termočlánkový drát typu K. Prototyp je vyobrazen na obr.3.15.



Obr. 3.15 prototyp hřebenu

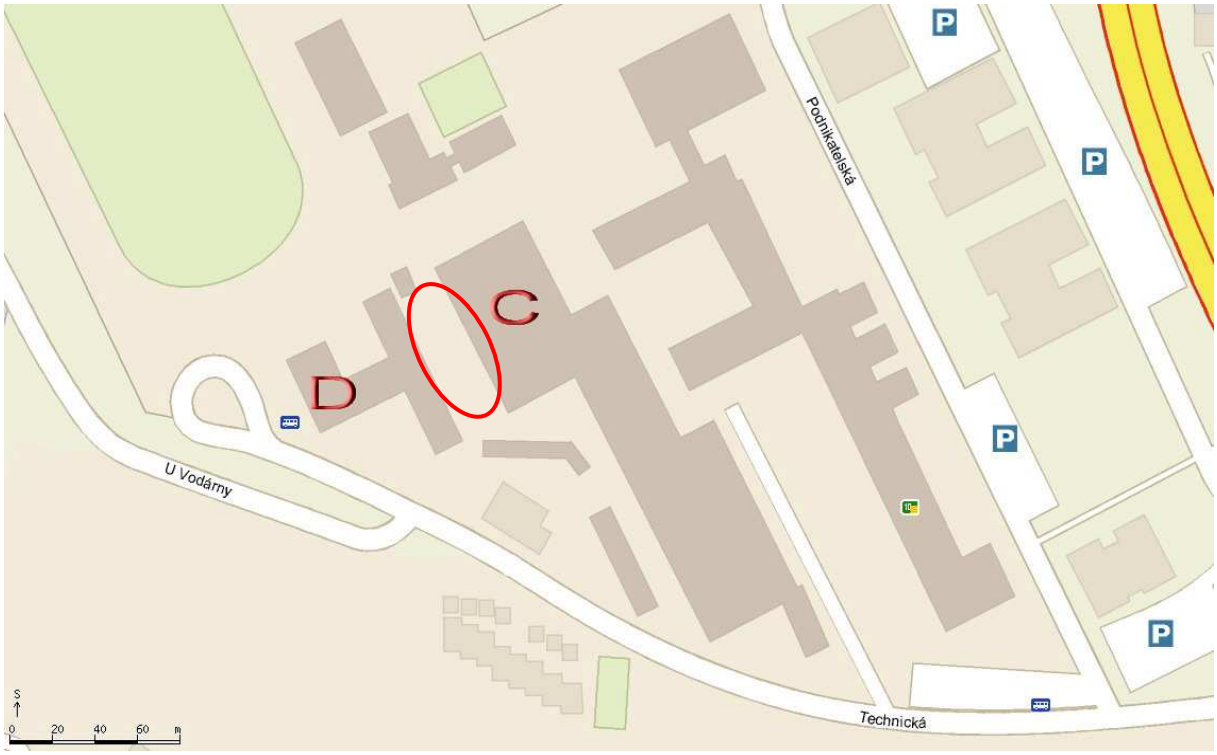
4. Návrh měření

S ohledem na bezpečnost silničního provozu mají pneumatiky velice důležitou funkci. Přenášejí veškeré síly, které vznikají při jízdě z vozidla na vozovku a naopak. Při rozboru jízdy automobilu zjistíme, že zatížení pneumatik a s tím spojený ohřev nastává při akceleraci, deceleraci (brzdění) a průjezdu zatáčkou. V těchto situacích má na bezpečnost jízdy vliv především adheze (přilnavost) pneumatik, kterou v neposlední řadě ovlivňuje teplota dezénu. Na základě těchto poznatků budeme dále zkoumat teplotu pneumatik při průjezdu zatáčkou a brzdném manévru.

Nejprve je nutné stanovit a přesně definovat zkoušky, které chceme provést. Po dohodě s vedoucím diplomové práce jsem zvolil tyto testy. Průjezd zatáčkou budeme simulovat jízdou v kruhu, tzv. kruhový test. Tato zkouška je přesně definována normou ISO 4138 (Osobní automobily – zkouška na kruhové dráze). Dále provedeme měření při deceleraci vozidla. Pro správné a bezpečné provedení těchto testů je potřeba zvolit vhodnou zkušební dráhu.

Metodiku měření kruhového testu a testu decelerace podrobně zpracoval ve své diplomové práci Ing. Jaroslav Ehl. Literatura [5]. Z tohoto důvodu se ve své práci omezím jen na uvedení nejdůležitějších pojmů.

V původním plánu se počítalo s měřením na Masarykově okruhu, bohužel k vzhledem k rekonstrukci povrchu vozovky nemohly být jízdní testy uskutečněny na tomto místě. Proto byla zvolena náhradní varianta s uskutečněním jízdních testů v areálu VUT FSI mezi objekty C a D. (obr 4.1).

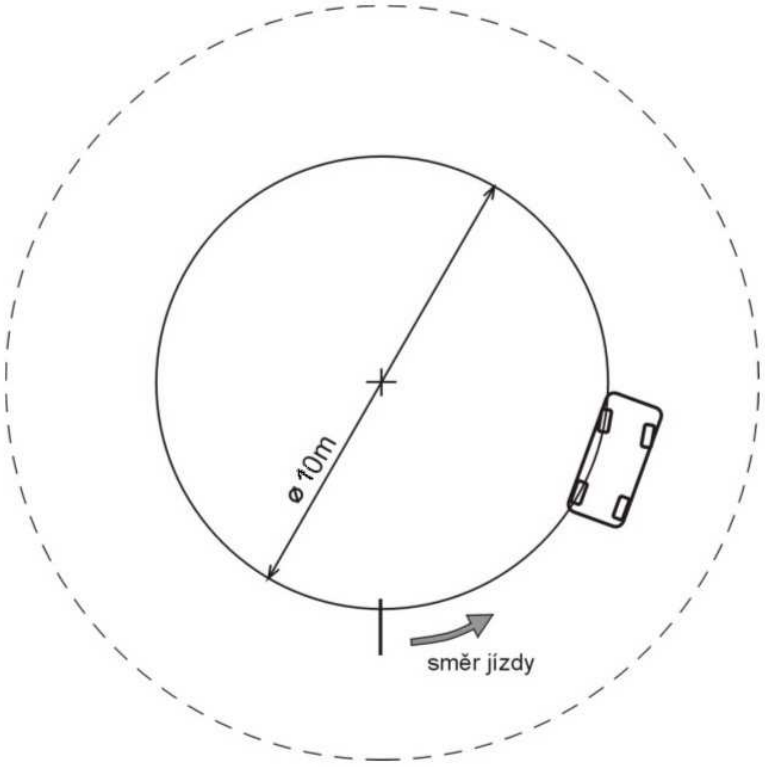


obr 4.1 umístění zkušební dráhy

4.1 Kruhový test (jízda v kruhu)

Kruhový test jsme stanovili, na základě výše uvedeného, jako náhradu průjezdu zatáčkou. Měření by mělo splňovat všechny parametry dané normou ISO 4138:1996(E).

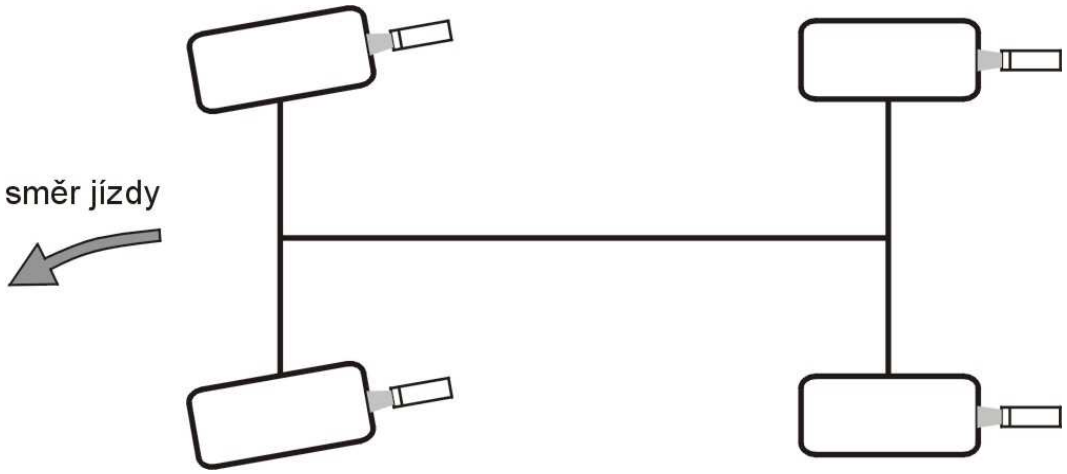
Požadavky na zkušební dráhu jsou definovány zde [7] :
- dostatečně velká měřící plocha, aby na ní bylo možné vyznačit kruh o průměru 30 metrů
- s bezpečnostní ochrannou zónou
- povrch dráhy čistý suchý asfalt s dobrou adhezí
- plocha musí být rovná se sklonem maximálně 2,5 %
- úsek chráněný proti silnému bočnímu větru, maximální rychlost větru 5 m/s



Obr. 4.2 Schématické znázornění kruhového testu

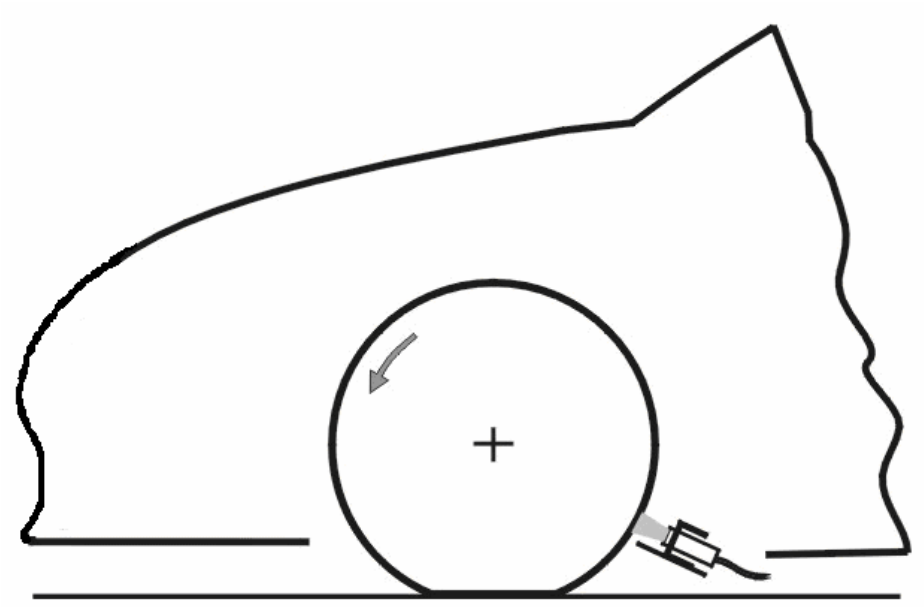
Kruhový test je znázorněn na obr. 4.2. Je zde vykresleno auto jedoucí po vyznačeném kruhu ve směru šipky. Čárkovanou čarou je vyznačena ochranná bezpečnostní zóna. Bohužel z důvodu měření v areálu fakulty a tím způsobeného nedostatku místa byl nedodržen požadavek na průměr kruhu. Nový průměr kruhu byl stanoven na 10m.
Test bude proveden rozjetím vozidla z místa startu a vozidlo bude sledovat vyznačenou dráhu. Řidič se bude snažit udržet levými koly na obvodu kruhu a udržovat stálou rychlost, aby se dosáhlo ohřátí pneumatik a ustálení teploty. Každý další test bude proveden vyšší rychlostí. Rychlost budeme zvyšovat až na maximum, které je omezeno bezpečnou jízdou.
Pro měření bude použito vozidlo s motorem vpředu a hnanou přední nápravou. Předpoklad zatížení pneumatik při jízdě v kruhu (*viz obr. 4.2*) je následující. Nejvíce zatíženou pneumatikou přední hnané nápravy a zároveň i celého vozu je pravá. Levé kolo je vlivem

odstředivé síly působící na vozidlo odlehčeno. Podobná situace je i na zadní nápravě. Pravé kolo je opět víc zatížené než levé, které je odlehčeno. Při odhadu teplot na jednotlivých pneumatikách předpokládám, že bude závislá na velikosti zatížení. Čím větší zátěž tím vyšší teplota. Měření provedeme s jedním snímačem na každém kole (*viz obr. 4.3*).



Obr. 4.3 Jeden snímač na každém kole [5]

Při všech měřeních budou snímače umístěny za kolem v místě, které je co nejblíže styku pneumatiky s vozovkou a tím i nejteplejšímu místu (*viz obr. 4.4*).

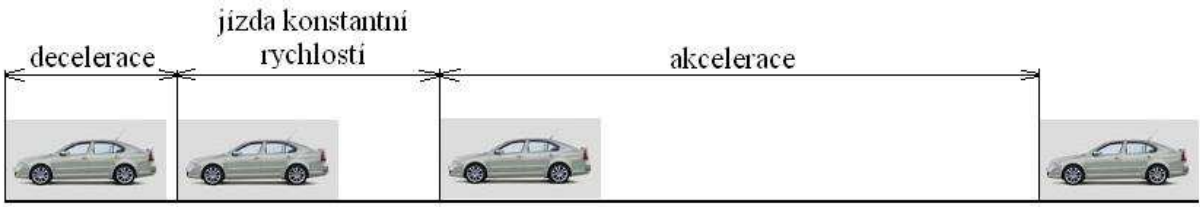


Obr. 4.4 Umístění snímače za kolem

4.2 Brzdný manévr (decelerace)

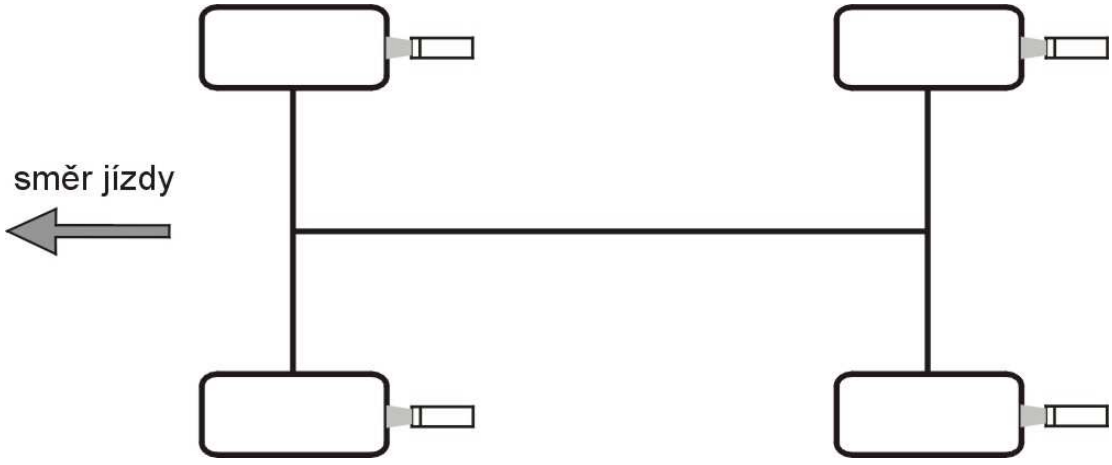
Měření brzdného manévru musí být navrhnuto taktéž, jako kruhový test, s ohledem na zaručenou opakovatelnost měření. Měření by také mělo splňovat všechny parametry dané normou ISO 4138:1996(E).

Požadavky na zkušební dráhu jsou uvedeny zde [7]**:**
- dostatečně dlouhý měřící úsek (závisí na zvolené nájezdové rychlosti)
- povrch dráhy čistý suchý asfalt s dobrou adhezí
- rovný úsek se sklonem maximálně 2,5 %
- úsek chráněný proti silnému bočnímu větru, maximální rychlost větru 5 m/s



Obr. 4.5 Průběh měření decelerace

Na obr. 4.5 jsou znázorněny jednotlivé etapy při provádění brzdného manévru. Měření lze rozdělit na tři části. V prvním úseku se stojící vozidlo rozjíždí a akceleruje na předem definovanou rychlost. Po dosažení požadované nájezdové rychlosti pokračuje k vyznačené čáře konstantní rychlostí. Poslední úsek začíná čárou udávající počátek brzdění, od které vozidlo deceleruje s co možná největším zpomalením. Tuto zkoušku provedeme opakovaně pro různé nájezdové rychlosti.
Při provádění brzdného manévru bude na každém kole umístěn jeden snímač (*viz obr. 4.6*). Čidla budou za kolem ve stejném místě jako při provádění kruhového testu (*viz obr. 4.3*)



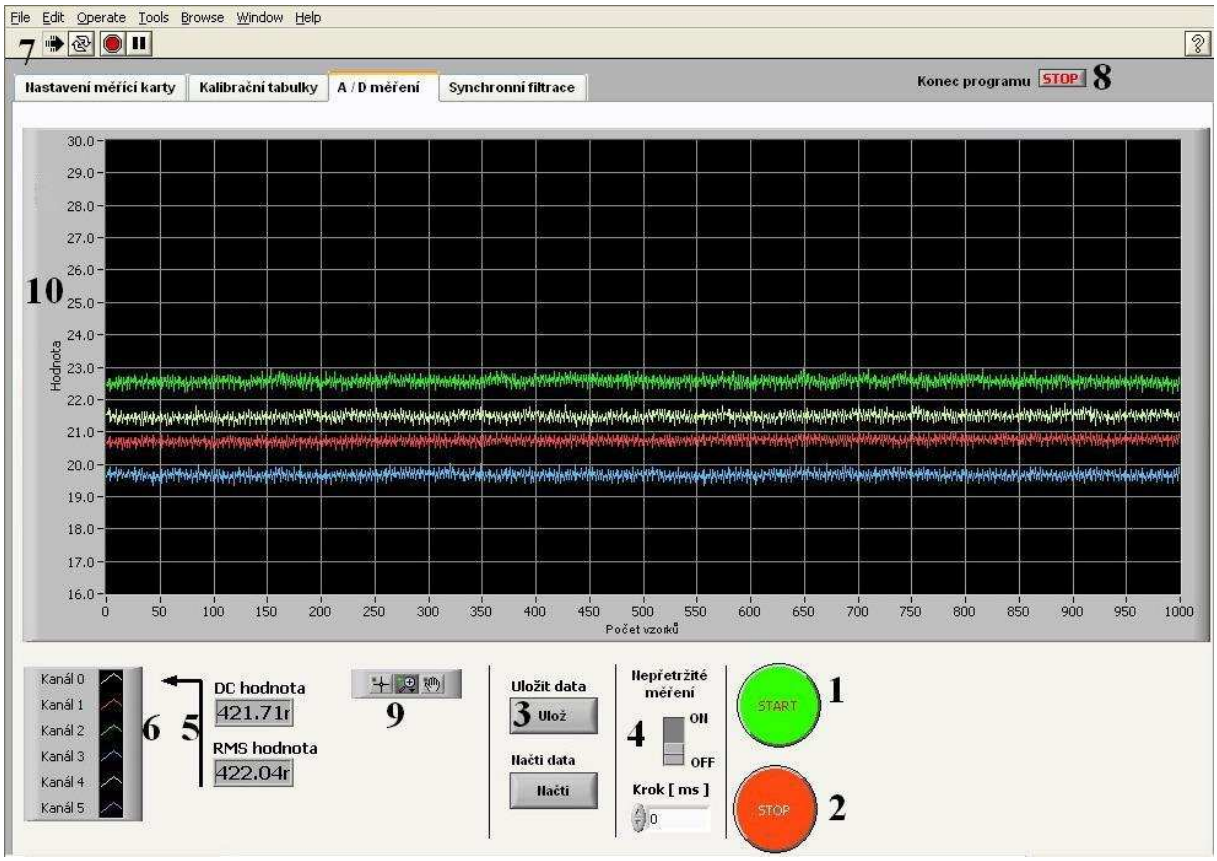
Obr. 4.6 Jeden snímač na každém kole [5]

5. Program pro zpracování dat

V měřícím řetězci je použita karta od firmy National Instruments. Tato společnost produkuje také vhodný software pro vytvoření aplikace potřebné k měření. Jedná se o grafický programovací jazyk LabView. Při vytváření aplikace se nepíše text aplikace, ale ta se skládá z hotových objektů. Vytváří se tzv. virtuální přístroj (virtual instrument VI), pro celý nebo část měřícího přístroje sloužící k řízení, zobrazení nebo zpracování dat. Hlavní výhodou virtuálních přístrojů oproti klasickým „fyzickým“ měřícím přístrojům je jejich možnost libovolného sestavení podle potřeb uživatele a konkrétního měření. Další nezanedbatelnou výhodou je cena software oproti ceně všech fyzických přístrojů, které LabView nabízí. Virtuální přístroj se skládá z čelního panelu (front panel) a z blokového diagramu (block diagram).
Měřící řetězec je navržen pro současné zapojení pěti snímačů. Důvodem je požadavek na zaznamenávání pěti měřených veličin. Pro naše měření je třeba vytvořit virtuální přístroj, který bude přijímat data z pěti kanálů měřící karty najednou. Tyto data bude potřeba aktuálně zobrazovat a uložit do souboru pro pozdější vyhodnocení. V našem případě budou data ukládána do datového souboru. Dále je bude možno zpracovávat v programu Microsoft Excel, v programu Mathcad, nebo některých dalších.
V minulosti byla ve spolupráci s ústavem fyzikálního inženýrství a energetickým ústavem podle výše uvedených požadavků vytvořena aplikace. Tento vzniklý virtuální přístroj splňuje všechny nároky kladené na měření.
Bohužel nám tento program náhle zkolaboval a už se ho nepodařilo znovu oživit, z důvodu velkého množství úprav původního programu bez řádného popisu změn a jednotlivých bloků větším množstvím lidí. Proto byl vytvořen ve spolupráci s pracovníkem ústavu vytvořen program nový, který bude používán jen pro toto konkrétní měření v této diplomové práci i ve výuce. V tuto chvíli probíhá zkoušení subsystémů, v budoucnu bude použito k měření nový měřící řetězec na základě měřící karty kompactrio.

5.1 Čelní panel

Zde většinou začíná tvorba virtuálního přístroje. Jde o grafické rozhraní. Čelní panel virtuálního přístroje plní stejnou funkci jako fyzického přístroje. Jsou na něm zobrazeny ovládací prvky, které slouží k ovládaní virtuálního přístroje a indikační prvky, které zobrazují aktuální stav přístroje. Tyto prvky se libovolně vloží na čelní panel podle potřeb uživatele. Čelní panel je znázorněn na obrázku obr. 5.1 a 5.2.

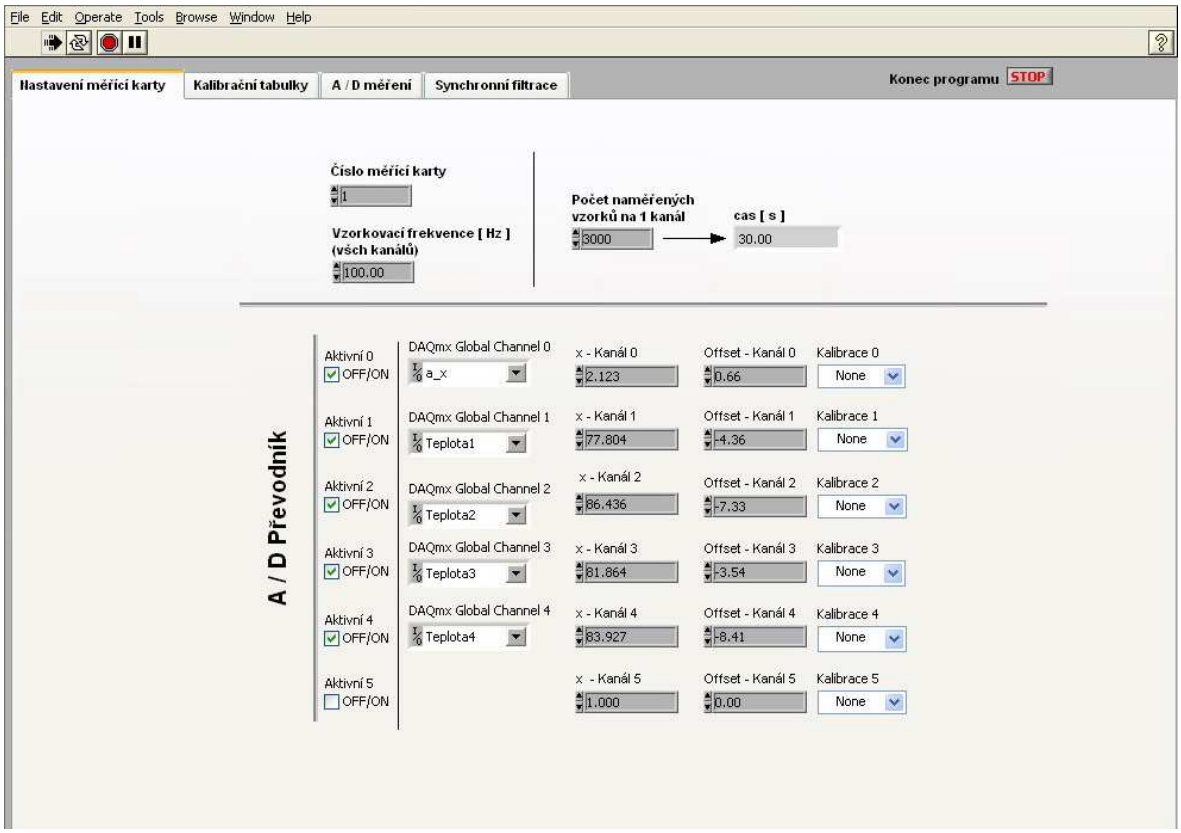


Obr. 5.1 ovládací panel virtuálního přístroje

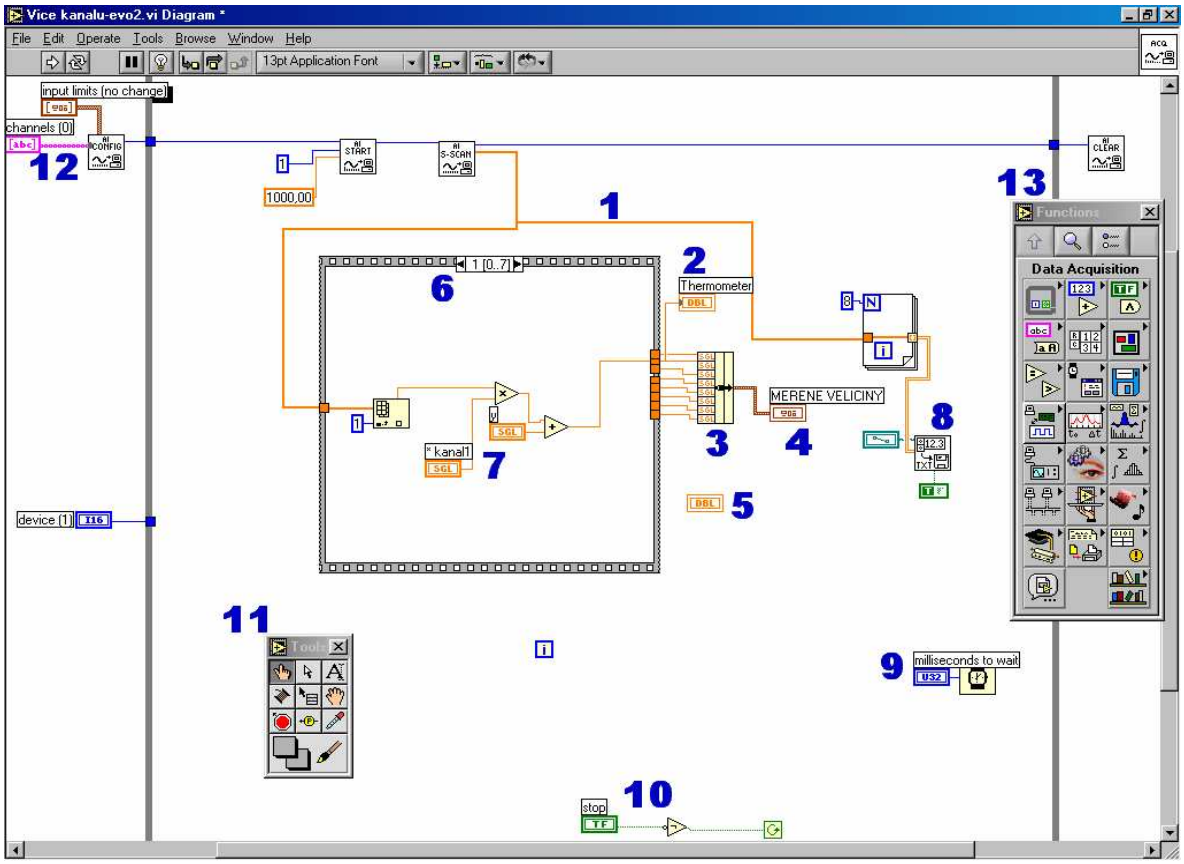
1) tlačítko spuštění měření
2) tlačítko zastavení měření
3) tlačítko k uložení měření
4) přepínání nepřetržitého měření a měření konečného stavu hodnot
5) zobrazení okamžité hodnoty vybraného kanálu
6) legenda barevného rozlišení kanálů
7) spuštění programu
8) tlačítko vypnutí programu
9) pomocné zobrazovací funkce grafického výstupu
10) grafické znázornění měřených dat

5.2 Blokový diagram

Po ukončení návrhu čelního panelu se pokračuje v okně blokového digramu, kde se vytvoří blokové schéma aplikace. Pro ilustraci vložen obr.5.3. V tomto okně se již nacházejí prvky, které odpovídají prvkům použitým na čelním panelu. Jejich ikony se generují současně s vložením prvku do čelního panelu. Jednotlivé prvky se propojují myší pomocí vodičů.



obr. 5.2 čelní panel programu LabView kalibrace snímačů



Obr. 5.3 Blokový diagram [4]

6. Konstrukční návrh držáků snímačů

6.1 Požadavky na řešení držáků snímačů

- univerzální konstrukce, kterou je možné použít pro měření na více typech osobních automobilů
- možnost délkového nastavení ramen v závislosti na použitém průměru ráfku a výšky pneumatiky
- umožnění plynulého posuvu snímačů v držáku vzhledem k šířce pneumatiky
- úhlová nastavitelnost a natočení pyrometru do požadovaného místa a směru
- zajištění konstantní polohy snímače vzhledem k pneumatice při propružení i natáčení kol způsobené řízením vozu
- jednoduchá a rychlá montáž na nápravy vozidla bez jejich konstrukčních změn
- tuhá a lehká konstrukce, která zabrání vibracím pyrometrů
- snímače musí být umístěny za kolem, to znamená co nejblíže místu vzniku tepla, které je v bodě styku dezénu s vozovkou
- držák musí mít kryt pyrometrů, který je bude chránit před nečistotami a kamínky odlétávajícími od otáčejících se kol
- možnost umístění až třech snímačů na držák jednoho kola

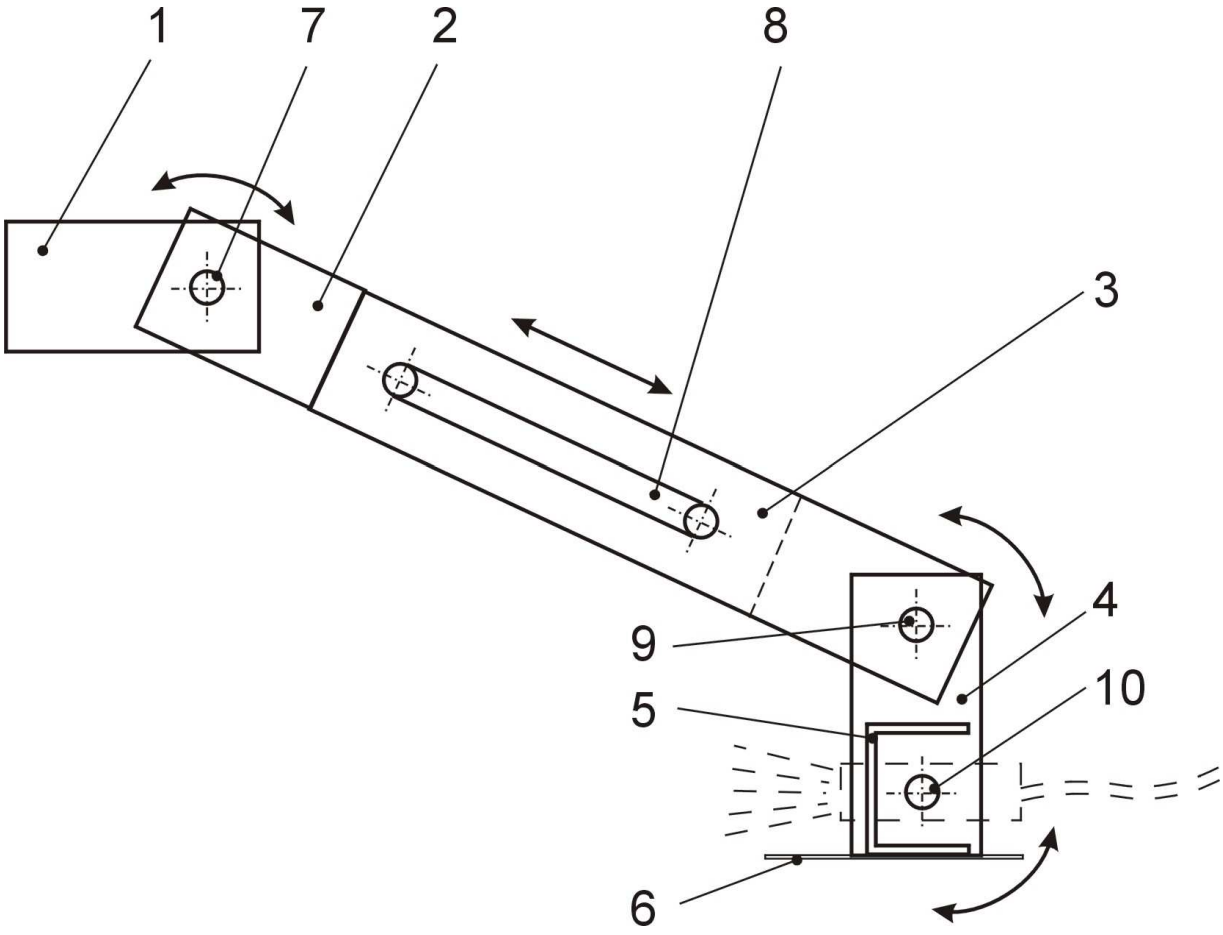
6.2 Rozbor stávajícího řešení

Konstrukční řešení držáků snímačů bylo řešeno v práci [5]. Pro možnost měření na různých typech vozů je nutná malá konstrukční úprava. Pro dané vozy je potřeba vyrobit objímky, kterými je držák připevněn k nápravám. Většina osobních automobilů nemá shodné nápravy, takže je nutné přizpůsobit přichycení. Využil jsem povedené konstrukce univerzálního držáku mého předchůdce a vytvořil jsem uchycení držáku k vozidlu.

Bylo potřeba vyrobit držáky na dvě různá vozidla současně. Ústavem automobilního a dopravního inženýrství jsou vybrána k měření dvě různá vozidla jedno blízké sériovému vozidlu a druhé závodního typu. Jako sériové vozidlo byla zvolena ŠKODA OCTAVIA RS. Vozidlo závodní konstrukce je formule Ford 1600.

Schématické znázornění celého držáku snímačů je na obr. 6.1. Pozice 1 znázorňuje prvek, kterým bude celá konstrukce připevněna. Jako jediný bude rozdílný pro držák na předním a zadním kole. Ostatní části budou shodné. K přední nápravě bude přišroubován pomocí objímky páky řízení. Na zadní bude přidělán na šroub procházející spodním okem tlumiče pérování. Pozice 2 a 3 jsou vzájemně posuvná ramena, která umožňují délkové nastavení. Ramena jsou přes sebe přesazena a sešroubována šroubem s křídlovou maticí. Spoj je použit kvůli snadné montáži a demontáži. Pozice 4 je spojovací část mezi ramenem 2 a držákem snímačů 5. Na obou koncích je možné natočení. Kryt 6 chrání pyrometry před odlétávajícími nečistotami (štěrk apod.). Šroubové spojení 7,9 a 10 před dotažením dovoluje vzájemné pootočení jednotlivých dílů. Posuvný spoj 8 je vytvořen drážkami v ramenech 1 (pozice 2) a 2 (pozice3), která jsou spojena dvěma šrouby s křídlovými maticemi. Rozsah posuvu je stanoven v závislosti na velikosti maximálního a minimálního průměru kola. Držák je navrhován pro použití na osobních automobilech s minimálním průměrem 495 mm (odpovídá pneumatice s označením 165/50 R13 obuté na ráfku) a maximálním 690 mm (to je průměr

závodní pneu na ráfku 18“). Rozdíl těchto hodnot je na poloměru 97,5 mm, z toho vyplývá zvolený rozsah posuvu 100 mm.



Obr. 6.1 Schéma držáku snímačů (pohled zboku)

1 - objímka (pro uchycení na těhlici nebo ke šroubu spodního oka tlumiče)
2 - rameno 1
3 - rameno 2
4 - rameno 3
5 - držák pyrometru
6 - kryt pyrometru (před nečistotami odlétávajícími od kola)
7 - spojení objímky s ramenem 1 (umožňující vzájemné natočení)
8 - posuvné spojení ramene 1 s ramenem 2 (umožňuje délkové nastavení celého držáku)
9 - spojení ramene 2 s ramenem 3 (umožňující vzájemné natočení)
10 - spojení ramene 3 s držákem pyrometru (umožňující vzájemné natočení)

6.3 Způsob uchycení univerzálních držáků k vozidlu

6.3.1 Verze pro Škodu Octavii RS

Naše měření proběhnou na Škodě Octavia RS 2. generace, pro kterou budou vyrobeny čtyři držáky s objímkami.

Vyrobil jsem po dvou kusech objímky pro připevnění k předním a zadním kolům. Způsob přichycení držáku ve předu k těhlici je na obr. 6.2. Obr. 6.3 zachycuje místo přišroubování v zadu. Na dalších fotografiích je přední držák se snímačem (viz obr.6.4) a zadní držák (viz obr.6.5).
Přední držák je vyroben z plechu tloušťky 3 mm. Pro zvýšení tuhosti byli ohnuty okraje ve vzdálenosti 28 mm od okraje podél dvou navzájem kolmých stran a svařeny koutovým svarem k sobě. Zadní držák byl zhotoven z rovnoramenného profilu tvaru L o rozměrech 40x40x3 mm.Výkresy všech držáků jsou součástí přílohy diplomové práce.



Obr 6.2 připevnění předního držáku k těhlici



Obr 6.3 uchycení držáku k zadní nápravě



Obr 6.4 přední držák s namontovaným čidlem



Obr 6.5 držák se zapojeným teplotním čidlem na zadní nápravě

6.3.2 Verze pro formuli Ford

Další vozidlo určené ústavem k měření je formule Ford na kterou bylo rovněž zapotřebí vyrobit funkční uchycení univerzálních držáků. Způsob přichycení držáku ve předu k těhlici je na obr. 6.6. Obr. 6.7 zachycuje místo přišroubování v zadu. Bylo zvoleno univerzální řešení držáků pro přední i zadní nápravu. Vpředu je držák spojen s vozidlem šrouby přes třmen kotoučové brzdy. Byl vyroben svařením dvou trubek obdélníkového průřezu a plechu. Výkresy všech držáků jsou součástí přílohy diplomové práce.



Obr.6.6 způsob uchycení předního držáku na formuli



Obr.6.7 způsob uchycení zadního držáku u formule

7. Měření

7.1 Kalibrace snímačů

V laboratorních podmínkách bylo sestaveno celé měřící zařízení podle schématu v kapitole 3. V minulých diplomových pracích (literatura [4], [5]) bylo prokázán lineární charakter napětí na výstupu snímače. Bylo nutné zjistit převodní hodnoty z napětí na teplotu, aby bylo možné snímač OS100 zkalibrovat. Na snímači byla nastavena hodnota emisivity 0,94, což je hodnota, kterou doporučuje výrobce pro pryž, taktéž byla použita při měření mými kolegy v minulých diplomových pracích.

K porovnávacímu měření bude použito odpichového snímače teploty obr. 3.12 určeného pro snímání teploty pneumatiky. První měření bylo provedeno na sestaveném měřícím zařízení v laboratorních podmínkách. K tomuto měření bylo použito několik kousků gumy, ohřátých, nebo ochlazených v lednici, na různé teploty. Tato teplota byla snímána jak snímačem OS100 tak odpichovým teploměrem.

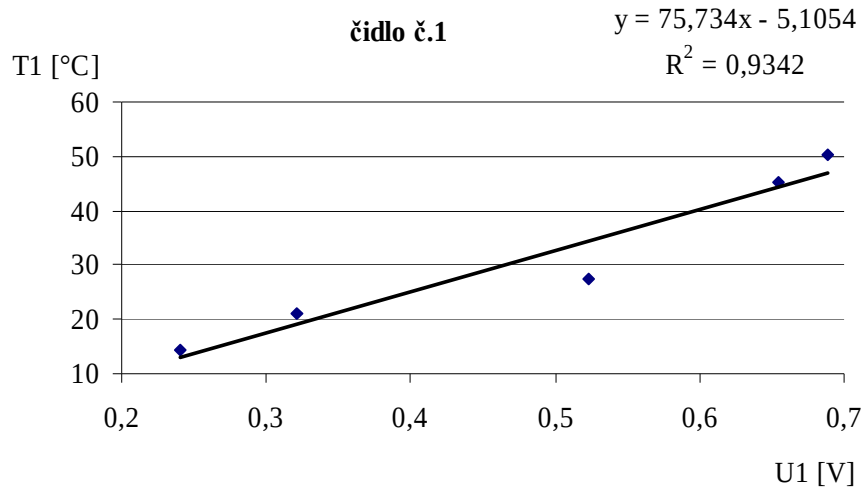
Výsledky měření byly zpracovány tabelárně a graficky. Drobné odchylky jsou způsobeny nepřesností odečítání hodnot. Naměřenými hodnotami byly proloženy regresními přímkami a rovnice těchto přímek budou sloužit ke kalibraci snímače. Zjištěné kalibrační konstanty budou použity v programu LabView, který bude použit pro zaznamenávání hodnot během měření a umožňuje potřebný číselný převod. (viz výše).

Barometrické podmínky:

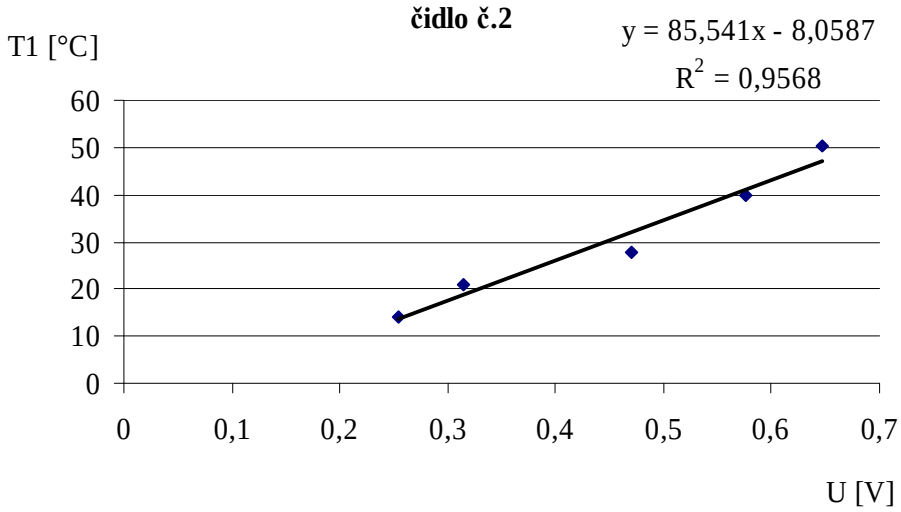
Teplota okolí během měření: 24 °C
Vlhkost vzduchu: 56%
Atmosférický tlak: 1054 hPa

Tab. 7.1 kalibrace měřícího řetězce

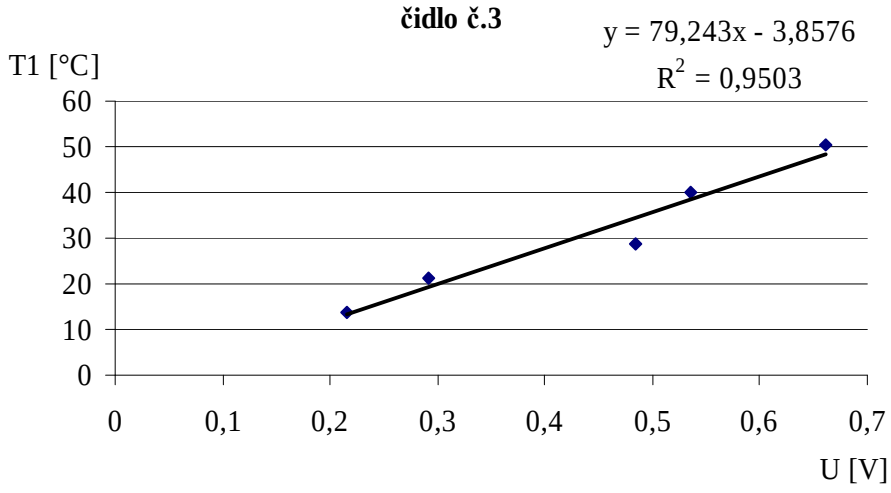
U1 [V]	0,654333	0,523133	0,240833	0,688667	0,321633
T1 [°C]	45,2	27,6	14,2	50,4	21
U2 [V]	0,575733	0,4699	0,2553	0,646767	0,3143
T2 [°C]	40	27,6	14,2	50,4	21
U3 [V]	0,535267	0,484667	0,216467	0,660467	0,2912
T3 [°C]	40	28,8	13,6	50,6	21,1
U4 [V]	0,5663	0,5353	0,262633	0,705267	0,3525
T4 [°C]	39,4	28,8	13,6	50,6	21,1



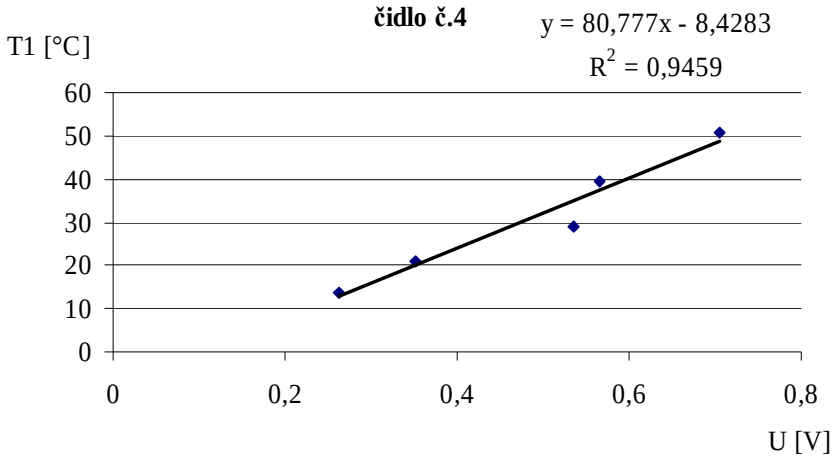
Graf 7.1 Závislost teploty pneu. na výstupním napětí čidla č.1



Graf 7.2 Závislost teploty pneu. na výstupním napětí čidla č.2



Graf 7.3 Závislost teploty pneu. na výstupním napětí čidla č.3



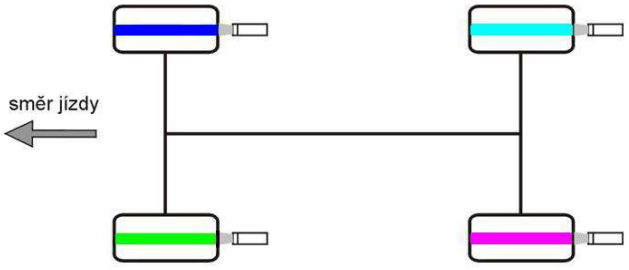
Graf 7.4 Závislost teploty pneu. na výstupním napětí čidla č.4

7.2 Vyhodnocení jízdních zkoušek

K měření bylo použito vozidlo Škoda Octavia RS. Vozidlo bylo osazeno čtyřmi držáky snímačů, na každém kole byl připevněn jeden. Během provádění jízdních zkoušek bylo na zkušebním vozidle měřeno více veličin. Infračervené snímače měřily teplotu pneumatik, pomocí M-boxu bylo zjišťováno zrychlení v podélné, nebo příčné ose. Dále jsme použili zařízení GPS které zaznamenávalo zrychlení, rychlost, dráhu, čas, polohu . Byly provedeny dvě jízdní zkoušky. Kruhový test, brzdný manévr. Při provádění těchto měření byli snímány uvedené veličiny vysokou vzorkovací frekvencí 100Hz, což zaručuje velké množství nasnímaných dat. Data jsem zpracoval v programech excel a Diadem.

7.3 Vyhodnocení brzdného manévru

Měření proběhlo podle parametrů uvedených v kapitole 4.2. Během testu mělo být rozmístění snímačů po jednom na každém kole (*viz obr. 4.5*). Na základě parametrů zvolené zkušební dráhy (*viz kapitola 4.*) jsme stanovili nájezdovou rychlost na 50 km/h. Dohromady jsme uskutečnili osm měření. Testy byli provedeny s maximální decelerací na hranici blokování kol, kterou ohlídal sytém ABS. Nájezdové rychlosti jsme odečítali z GPS. M-box byl ustaven libelou do vodorovné polohy.



LP kolo (zelená)
PP kolo (tmavě modrá)
LZ kolo (fialová)
PZ kolo (světle modrá)

Barometrické podmínky:

Teplota okolí během měření: 12 °C
Vlhkost vzduchu: 53%
Atmosférický tlak: 1074 hPa

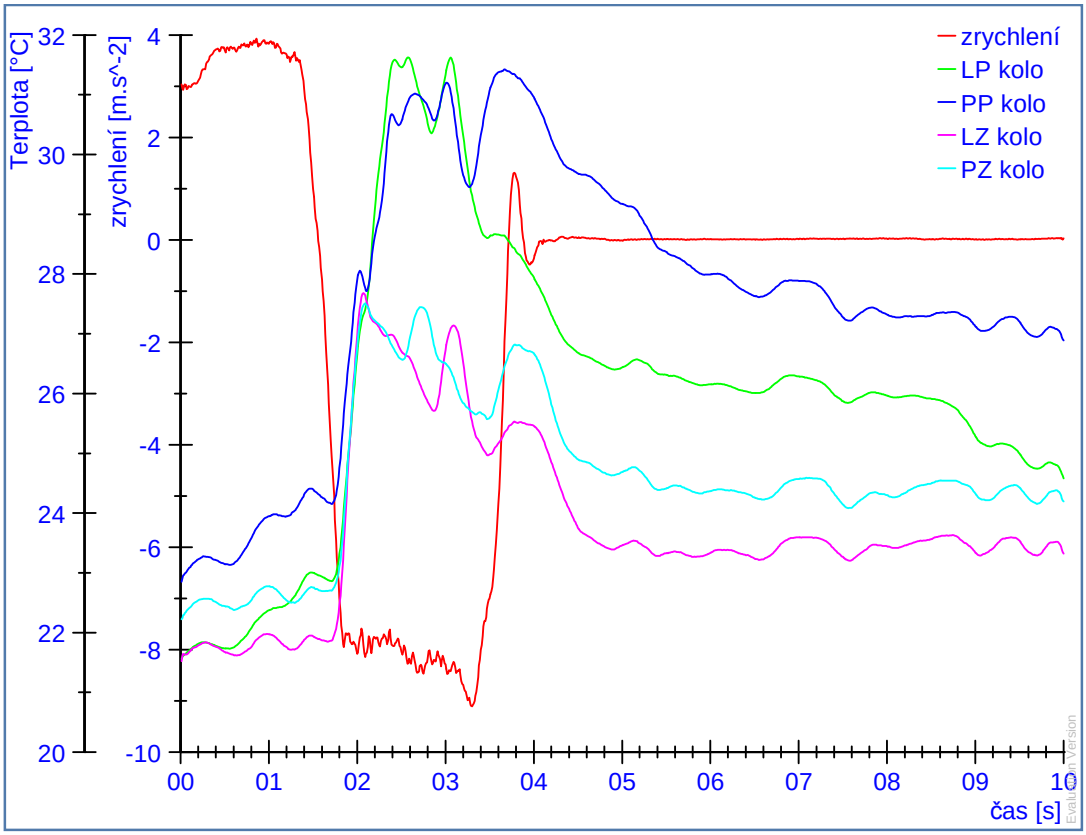
Tlak pneumatik nastaven na hodnotu doporučenou výrobcem 210kPa.
Teplota pneumatik změřená odpichovým teploměrem na začátku měření.

LP kolo	17,9°C
PP kolo	17,6°C
LZ kolo	18,4°C
PZ kolo	17,7°C

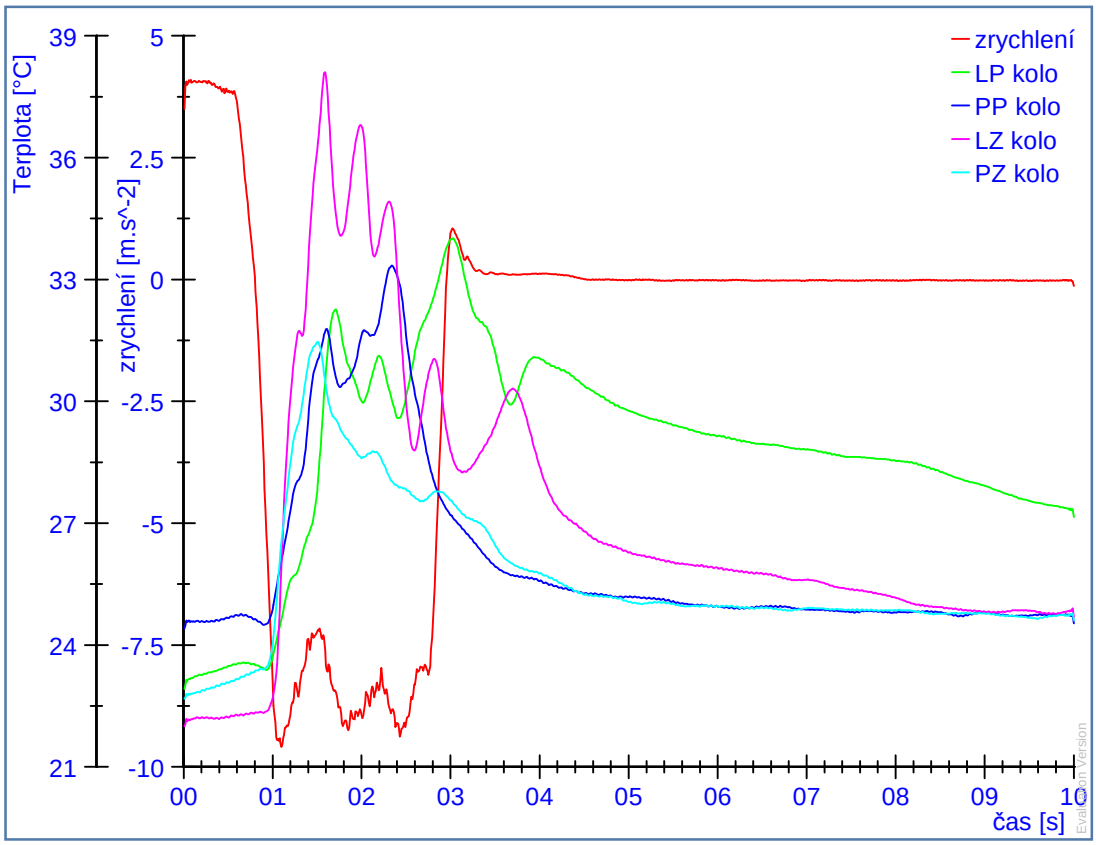
Na zkušební vozidlo byly namontovány pneumatiky:
v předu DUNLOP SP WINTRSPORT M+S 205/50 R17
v zadu PIRELLI P6000 225/45 R17

Měření č.1 graf 7.5

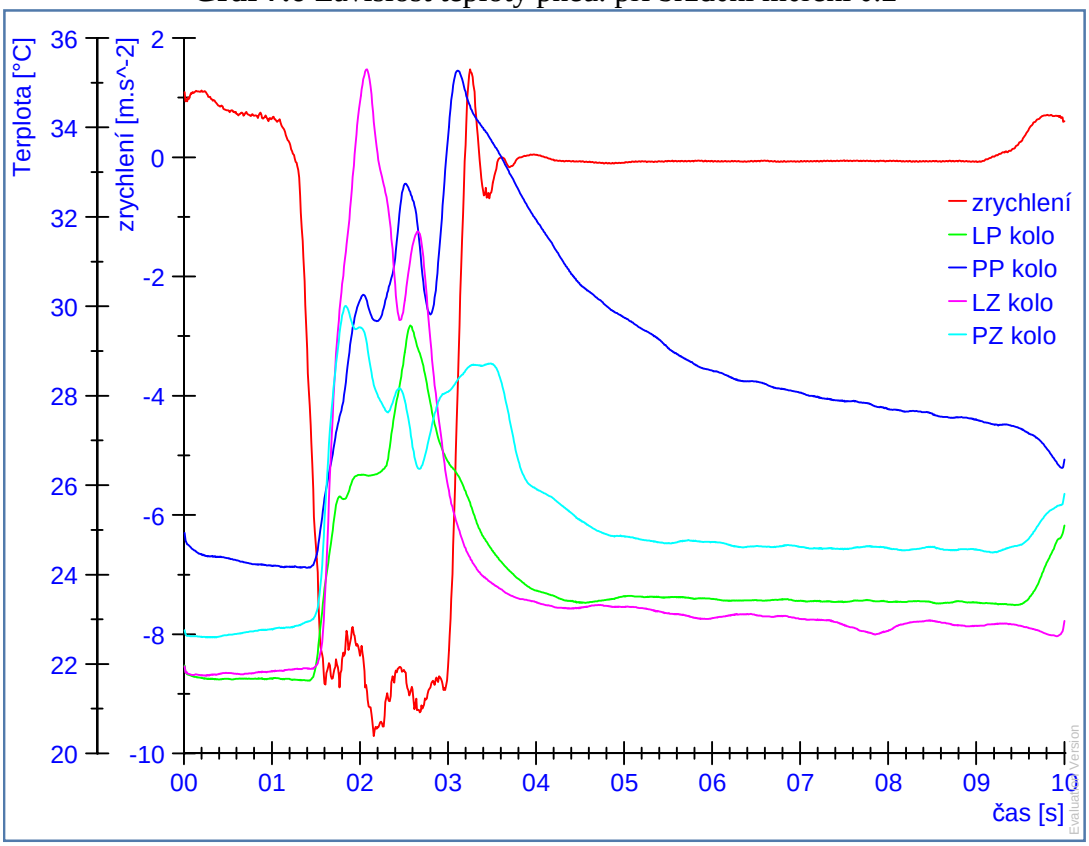
Od 0 do 1,2s zaznamenáno zrychlování na rychlost 50km/h na které chceme zahájit brzdný test.V čase 1,2s÷3.6s brzdný manévr hodnota zpomalení 7,91 $m \cdot s^{-2}$. ohřátí pneumatik. Kmitání zrychlení mezi 3,6s a 4,2s má na svědomí „zhoupnutí“ karoserie při zastavení. Dynamický následek po brzdění. M-Box v tuto chvíli neměří zrychlení vozidla ale jeho náklon.. Po 4,2s až do konce stání a chladnutí. Teplotní rozdíly na jednotlivých kolech jsou souhrnně uspořádány v tabulce 7.2. Od zahájení měření testu do 2.s mírné zahřívání pneumatik. V čase 1,8s ÷ 2,2s u zadních kol rychlí ohřev pak následuje chladnutí. V čase 1,8s ÷ 2,4s u předních kol rychlí ohřev pak následuje chladnutí. Kmitání teploty kolem 3 a 4s je způsobeno „zhoupnutím“ vozidla při zastavení. Čidlo v tu chvíli snímá jinou část dezénu. Grafy ostatních měření vypadají obdobně.



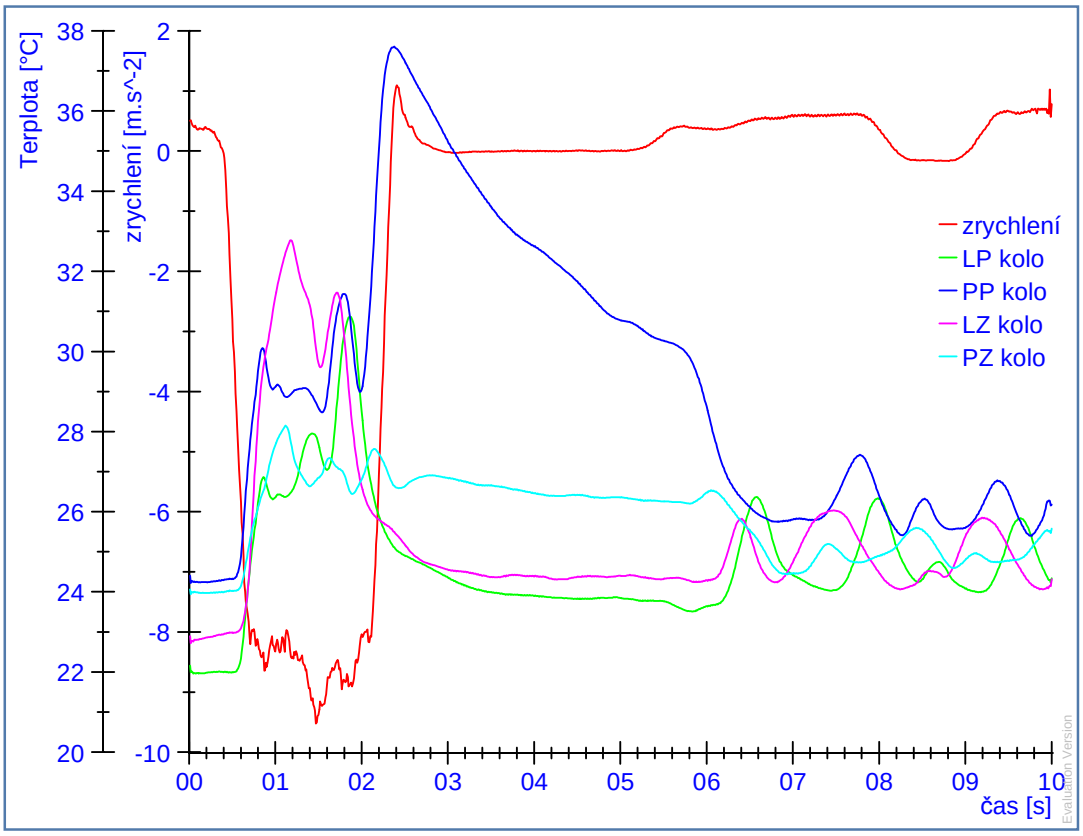
Graf 7.5 Závislost teploty pneu. při brždění měření č.1



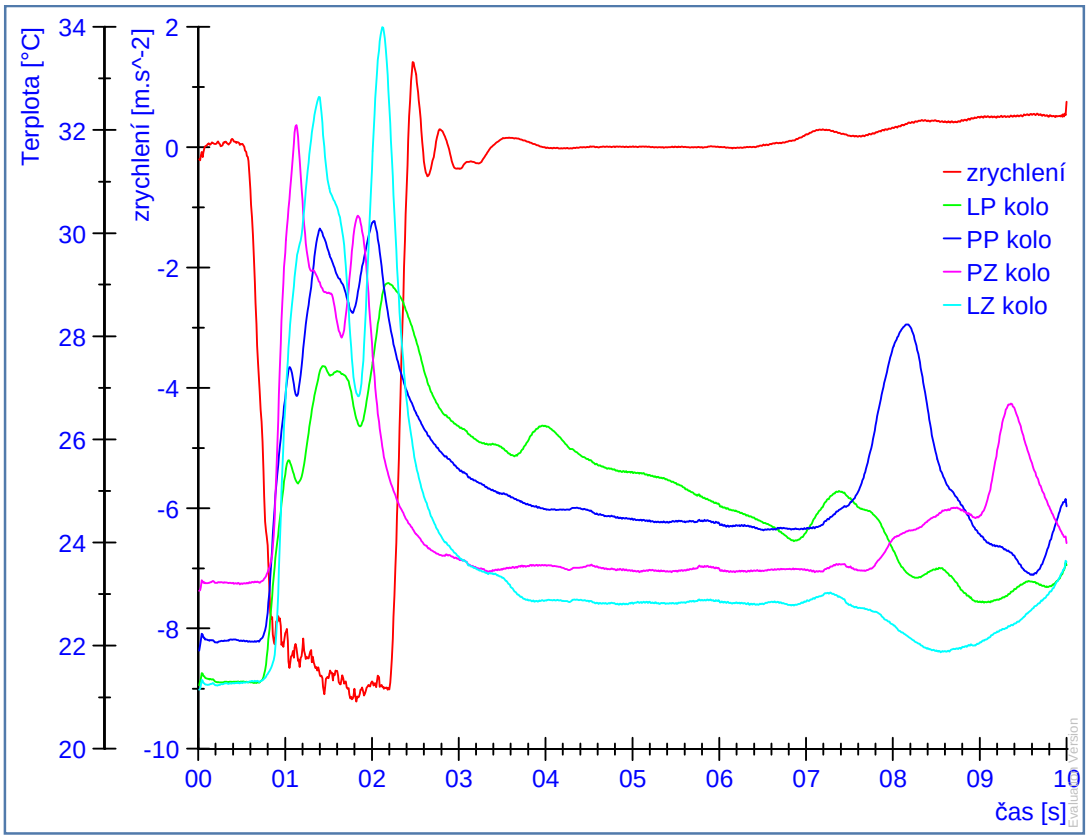
Graf 7.6 Závislost teploty pneu. při brždění měření č.2



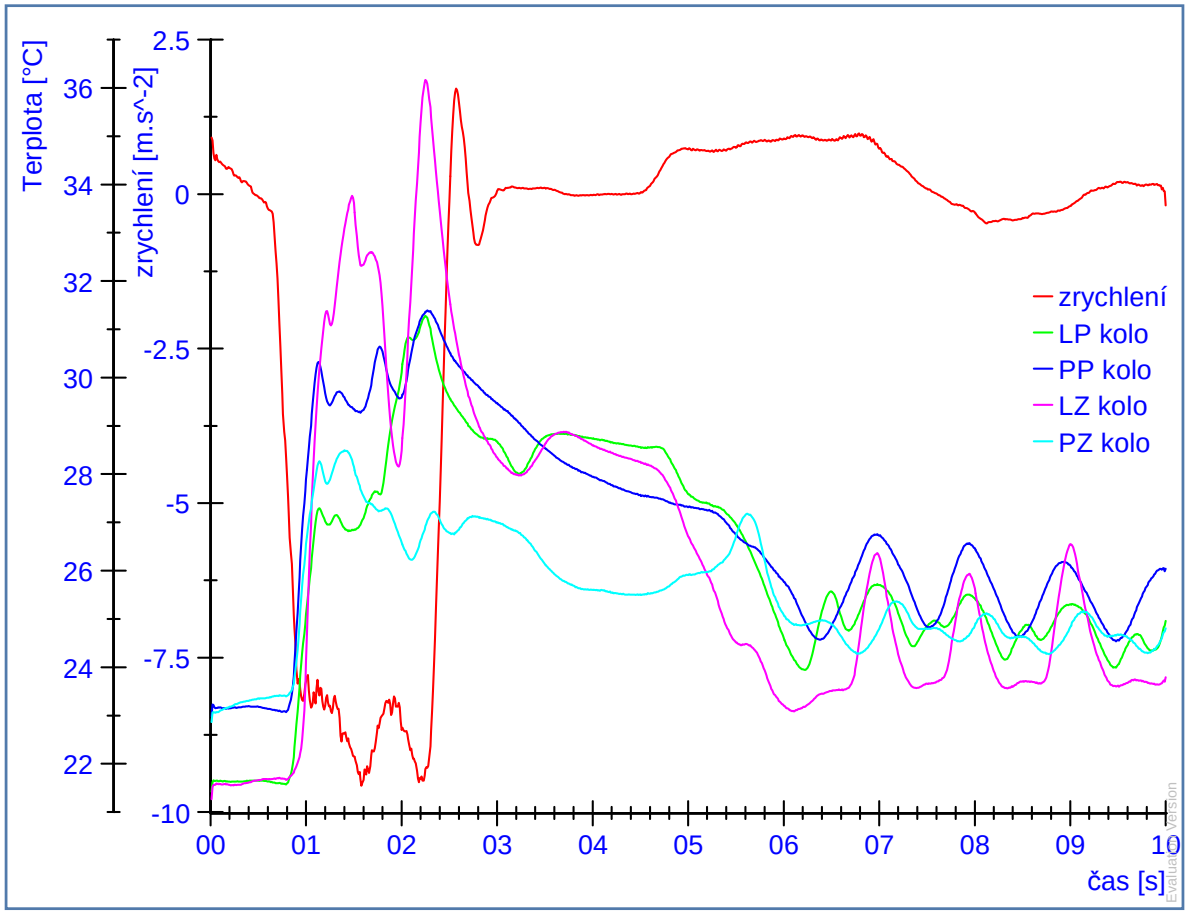
Graf 7.7 Závislost teploty pneu. při brždění měření č.3



Graf 7.8 Závislost teploty pneu. při brždění měření č.4



Graf 7.9 Závislost teploty pneu. při brždění měření č.5



Graf 7.10 Závislost teploty pneu. při brždění měření č.6

Překmit do kladných hodnot zrychlení při brzdném manévru je způsoben náklonem vozidla podélném směru po zastavení. Nevyrovnanost velikostí hodnot teplot při jednotlivých měřeních je způsobena blokací a následným uvolňováním jednotlivých kol při brzdném manévru. Zkušební vozidlo je vybaveno systémem ABS. Na nerovném povrchu docházelo k jejich blokaci a zvýšenému tření mezi pneumatikou a vozovkou a následnému většímu ohřevu běhounu. Přední pneumatiky se více zahřívaly z důvodu většího zatížení přední hnané nápravy a jistý vliv bude mít i namontování zimních pneumatik na přední nápravu.. Kmitání hodnot teploty v grafech 7.7÷7.10 je způsobeno rozjetím vozidla. Činnost ABS se v rychlostech pod 5 km/h je vypnuta, to znamená že v posledním okamžiku před zastavením jsme brzdili se zablokovanými koly. Část běhounu pneumatik, která byla ve styku s vozovkou se více zahřála. Po rozjetí se tato plocha dostávala před čidlo s frekvencí otáčení kol. V grafech je patrné periodické opakování nárůstu a poklesu teploty.

Na začátku intenzivního brzdění můžeme pozorovat náhlý vzrůst teploty pak pomalý růst, nebo dokonce u některých čidel pokles teploty. Při zastavení vozidla u přední nápravy byl zaznamenán opět skok teploty, ale na každém z kol na jinou teplotu. Tento jev je způsoben chvilkovým blokováním jednotlivých kol při funkci ABS. U předních kol roste teplota více z důvodu vyššího zatížení přední nápravy a vlivem dynamického účinku zatížení při brzdném manévru. Po 2.s až do konce stání a chladnutí. Teplotní rozdíly na jednotlivých kolech jsou souhrnně uspořádány v tabulce 7.2.

Rozdíly teplot mezi jednotlivými měřeními jsou způsobeny prohřátím celé pneumatiky a nejenom tenké stykové vrstvy povrchu běhounu. Na začátku měření kdy byly pneumatiky ještě studené bylo teplo odváděno do celé tloušťky běhounu a pneumatiky. Tím se pneumatika zahřála na provozní teplotu. Dalším namáháním stykové vrstvy běhounu pneumatiky se více zahřívala, ale teplo už nebylo kam odvádět. A proto nám teploty na povrchu pneumatik s každým dalším měřeným testem, při stejném zatížení, stoupaly. Neodvedené teplo se z části vyzáří do okolí a druhá část nám ohřívá vzduch v pneumatice.

Tab. 7.2

č. měření	snímač	T min	T max	ohřev	Zrychlení M-Box
		°C	°C	°C	$m \cdot s^{-2}$
1. měření	LP kolo	21,56	32,98	11,42	-7,91
	PP kolo	22,85	32,72	9,87	
	LZ kolo	21,52	28,99	7,47	
	PZ kolo	22,22	28,62	6,4	
2. měření	LP kolo	22,92	34,6	11,68	-8,53
	PP kolo	24,25	35,46	11,21	
	LZ kolo	21,92	43,26	21,34	
	PZ kolo	22,55	33,57	11,02	
3. měření	LP kolo	21,38	30,42	9,04	-8,83
	PP kolo	23,8	36,36	12,56	
	LZ kolo	21,45	40,63	19,18	
	PZ kolo	22,32	32,08	9,76	
4. měření	LP kolo	21,71	33,53	11,82	-8,47
	PP kolo	23,93	37,97	14,04	
	LZ kolo	22,57	36,43	13,86	
	PZ kolo	23,63	30,06	6,43	
5. měření	LP kolo	21	29,38	8,38	-8,68
	PP kolo	21,74	31,5	9,76	
	LZ kolo	20,9	37,51	16,61	
	PZ kolo	22,91	36,28	13,37	
6. měření	LP kolo	21,33	32,54	11,21	-8,64
	PP kolo	22,8	32,43	9,63	
	LZ kolo	21,27	39,13	17,86	
	PZ kolo	22,81	30,21	7,4	
7. měření	LP kolo	21,33	31,87	10,54	-8,79
	PP kolo	23,56	33,19	9,63	
	LZ kolo	23,75	34,04	10,29	
	PZ kolo	23,25	35,82	12,57	
8. měření	LP kolo	20,78	33,79	13,01	-8,67
	PP kolo	22,61	40,52	17,91	
	LZ kolo	20,8	30,12	9,32	
	PZ kolo	23,68	26,86	3,18	

Měření č.7 graf 7.11

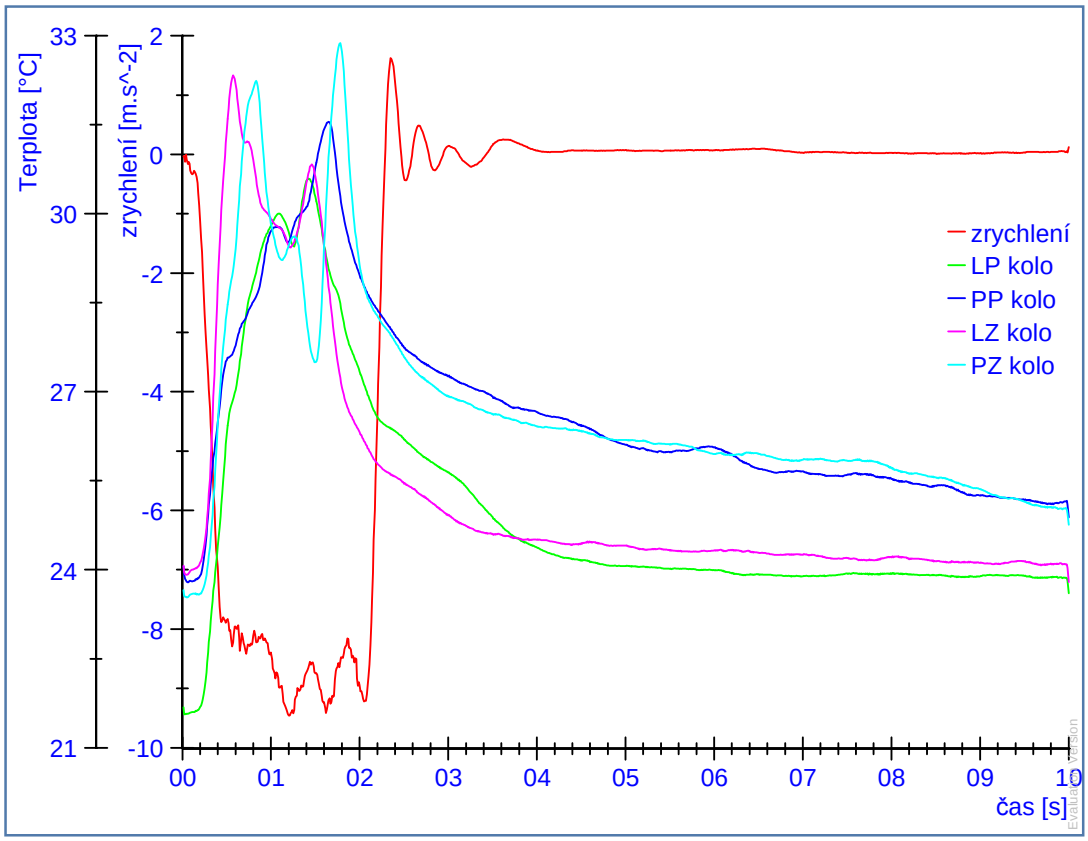
Od času 0 do 0,4s zaznamenán náběh brzdného účinku. Brzdíme z rychlost 50km/h.V čase 0,4s÷2,2s probíhal brzdný manévr s maximální hodnotou zpomalení -8,79 $m \cdot s^{-2}$. Kmitání zrychlení kolem nuly mezi 2,2s a 4,2s mají na svědomí setrvačné síly vozidla na brzdění. M-Box v tento čas neměří zrychlení vozidla ale pouze jeho náklon. Zrychlení M-Boxu je vlastně po celou dobu měření zatíženo chybou. Při zrychlování se vozidlo v podélném směru zaklání a při brzdění se naklání dopředu účinkem setrvačných sil vozidla. V grafu 7.12 je porovnání zrychlení z M-Boxu a GPS. Průměrná hodnota zrychlení M-Boxu je vyšší než u GPS z důvodu působení setrvačných sil na vozidlo a náklonu jeho karoserie dopředu ve směru podélné osy vozidla. Z tohoto důvodu je měření M-Boxu zatíženo chybou, do měření se promítá i náklon karoserie vozidla. Rozdíl těchto dvou zrychlení je 0,12 $m \cdot s^{-2}$
Porovnání těchto dvou metod snímání a zaznamenávání signálu zrychlení se provedlo z důvodu snahy snížit počet zařízení, které je potřeba vozit během testu sebou ve vozidle. Zajímavé by bylo jistě i porovnání signálu z correvitu a určit která z těchto tří metod je nejpřesnější. Zařízení s nejlepším určováním zrychlení pak sebou vozit ve vozidle. Hodit se to bude zejména ve formuli ve které je méně místa.

hodnoty zrychlení z měření č.7.

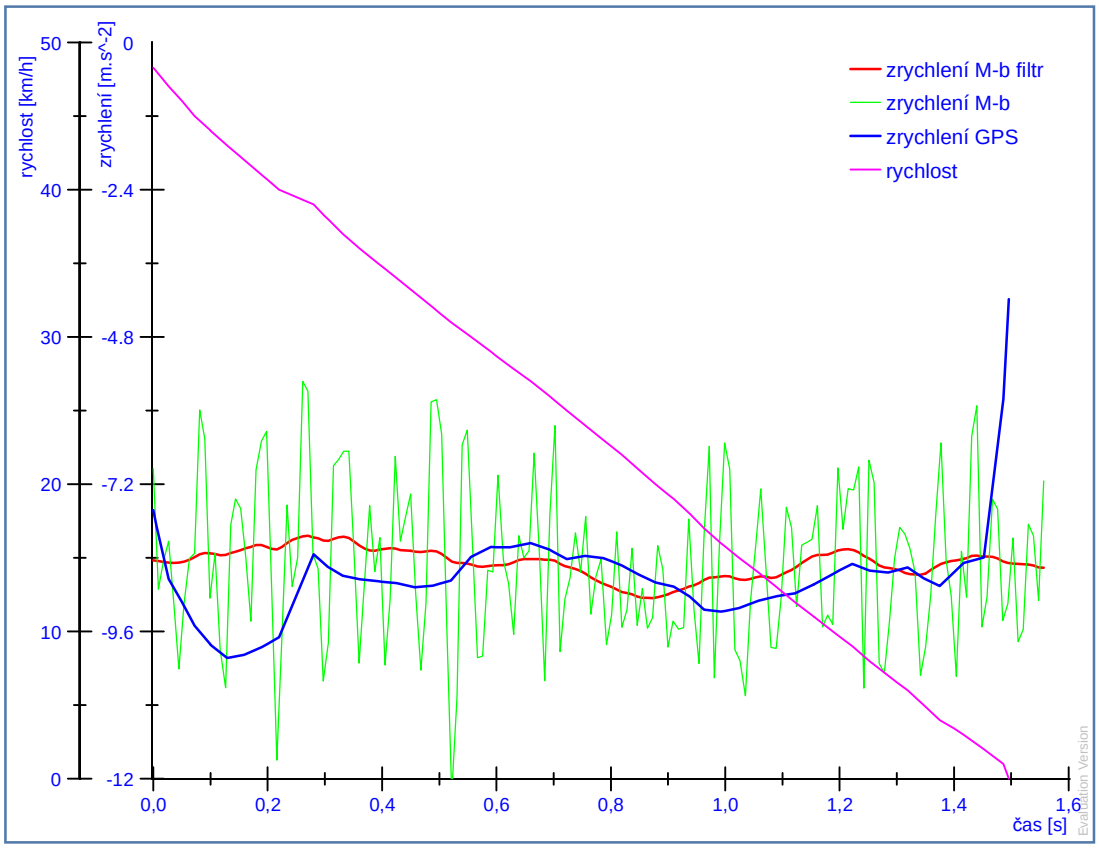
M-Box	$a = -8{,}79\ m \cdot s^{-2}$	
GPS	$a = -8{,}67\ m \cdot s^{-2}$	vypočten
GPS	$a = -8{,}86\ m \cdot s^{-2}$	average accel

hodnoty zrychlení z měření č.8.

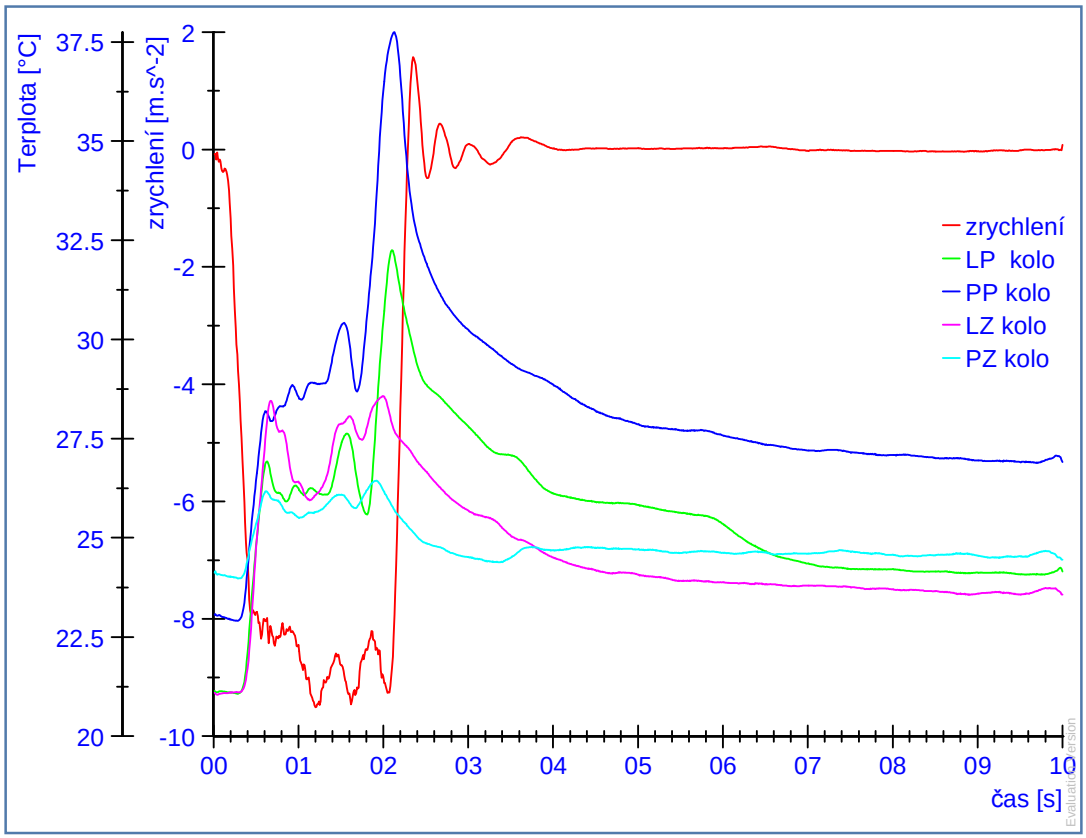
M-Box	$a = -8{,}67\ m \cdot s^{-2}$
GPS	$a = -8{,}46\ m \cdot s^{-2}$



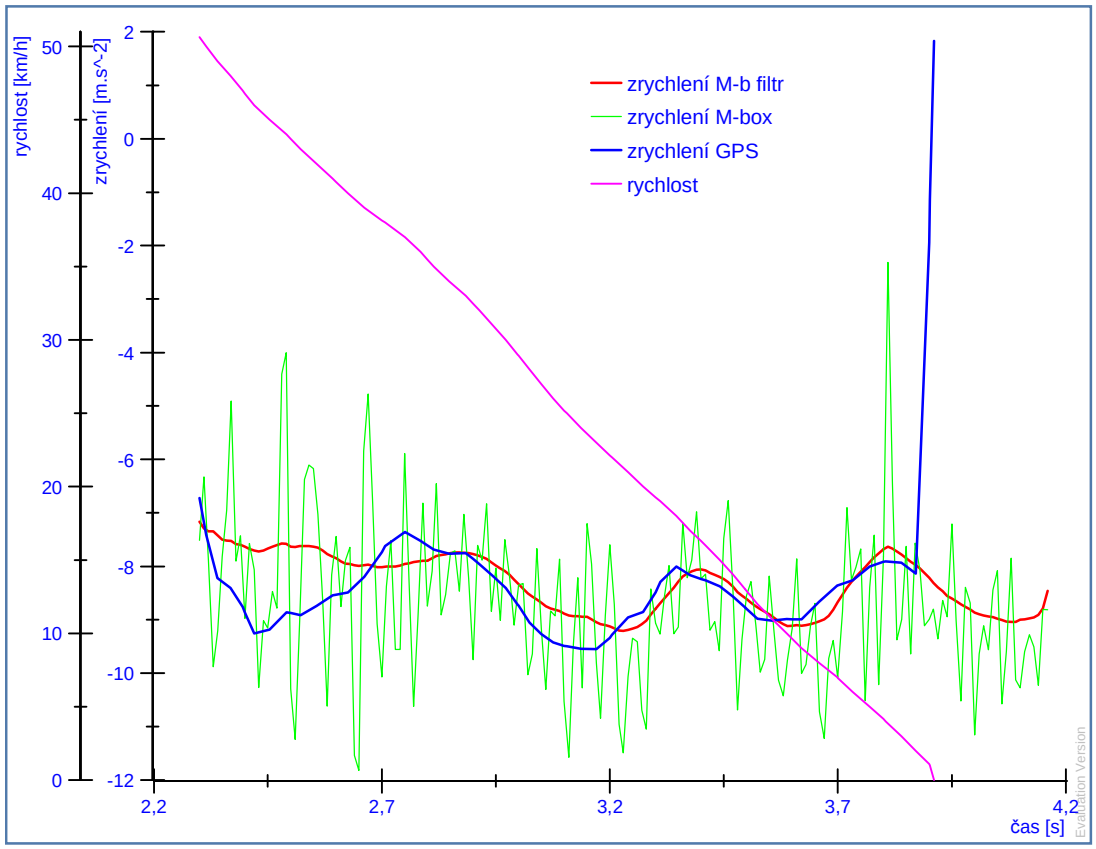
Graf 7.11 Závislost teploty pneu. při brzdění měření č.7



Graf 7.12 porovnání zrychlení M-boxu a GPS měření č.7



Graf 7.13 Závislost teploty pneu. při brzdění měření č.8



Graf 7.14 porovnání zrychlení M-boxu a GPS měření č.8

7.4 Vyhodnocení kruhového testu (jízda v kruhu)

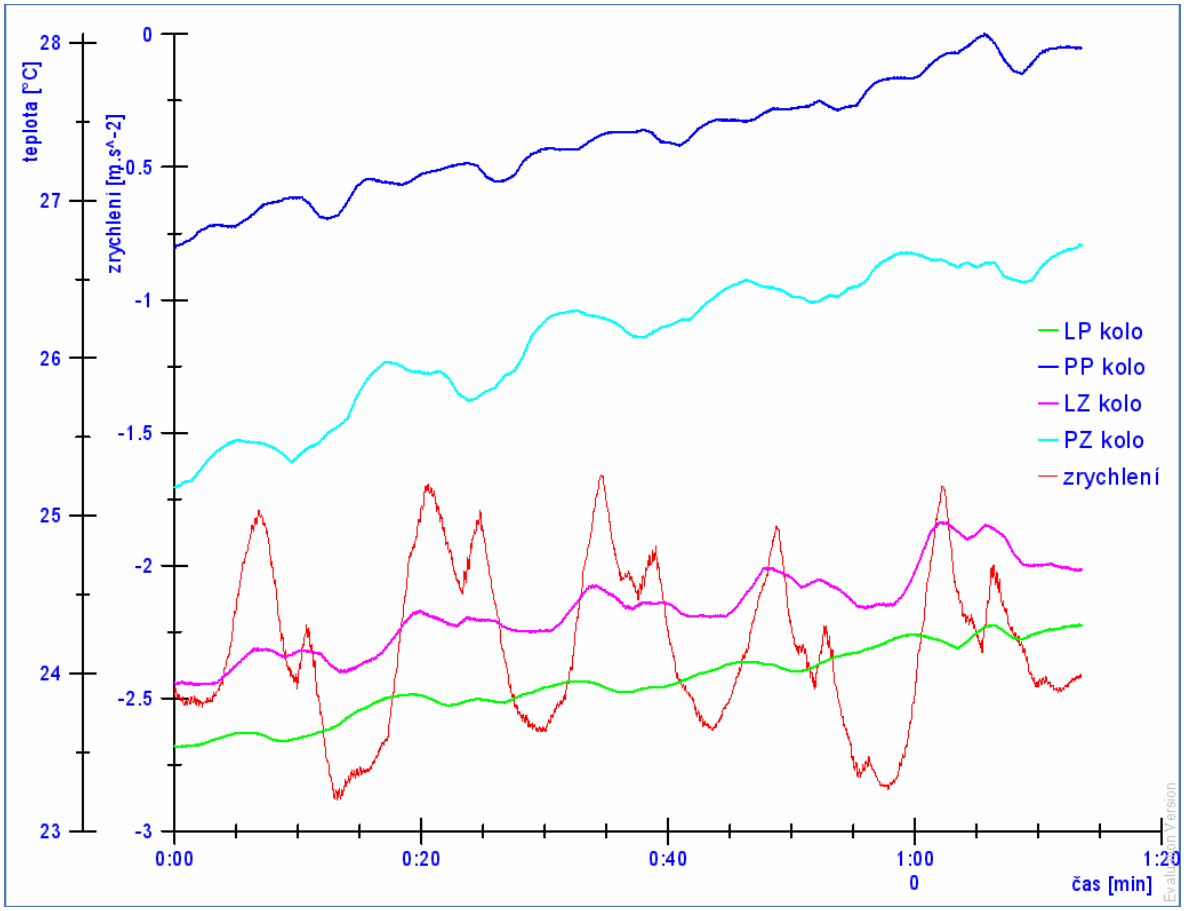
Měření bylo provedeno podle specifikací uvedených v kapitole 4.1. Při prvním testu byli snímače rozmístěny na předních kolech (*viz obr. 4.3*). na každém kole jedno čidlo snímající střední obvod běhounu. Data byla uložena do souboru tytu dat a cvs pro další zpracování. Vyhodnocená data jsou níže graficky znázorněna.

Barometrické podmínky:

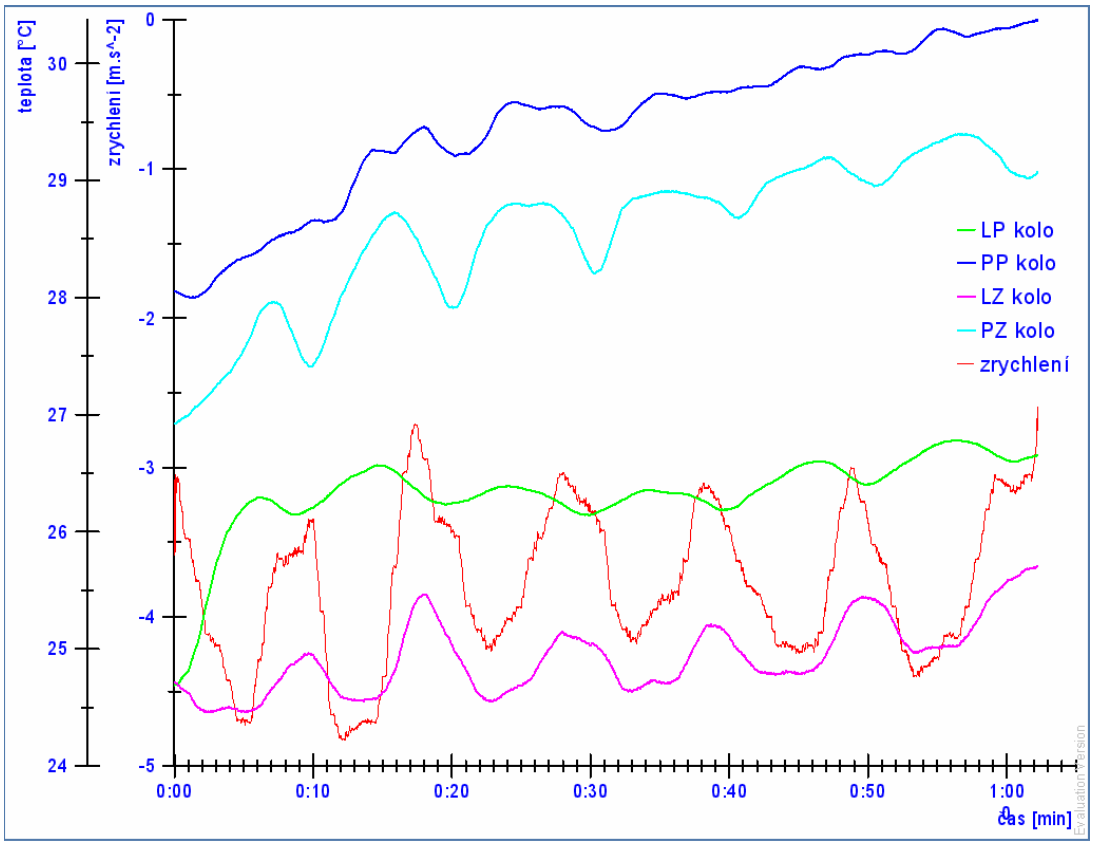
Teplota okolí během měření: 16 °C
Vlhkost vzduchu: 58%
Atmosférický tlak: 1043 hPa

Tlak pneumatik nastaven na hodnotu doporučenou výrobcem 210kPa.
Teplota pneumatik změřená odpichovým teploměrem na začátku měření.

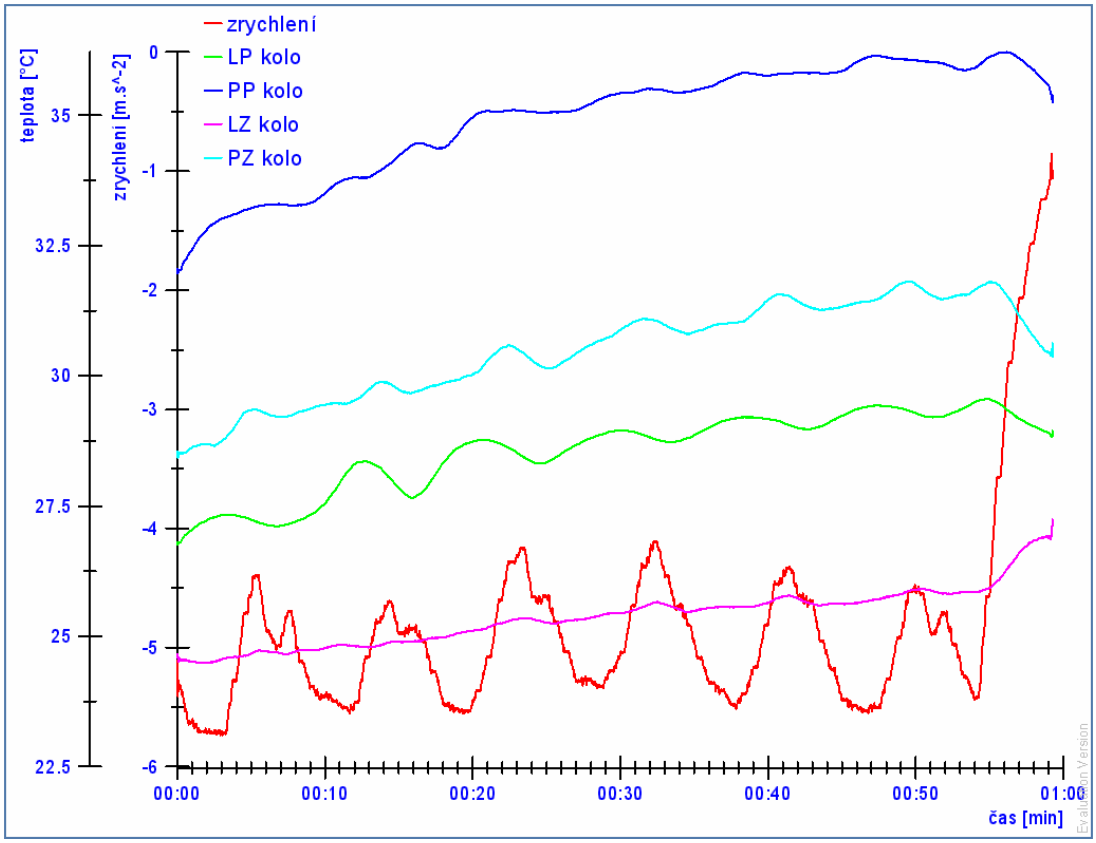
LP kolo	22,2°C
PP kolo	22,5°C
LZ kolo	21,9°C
PZ kolo	22,3°C



Graf 7.15 jízda v kruhu rychlostí 15km/h

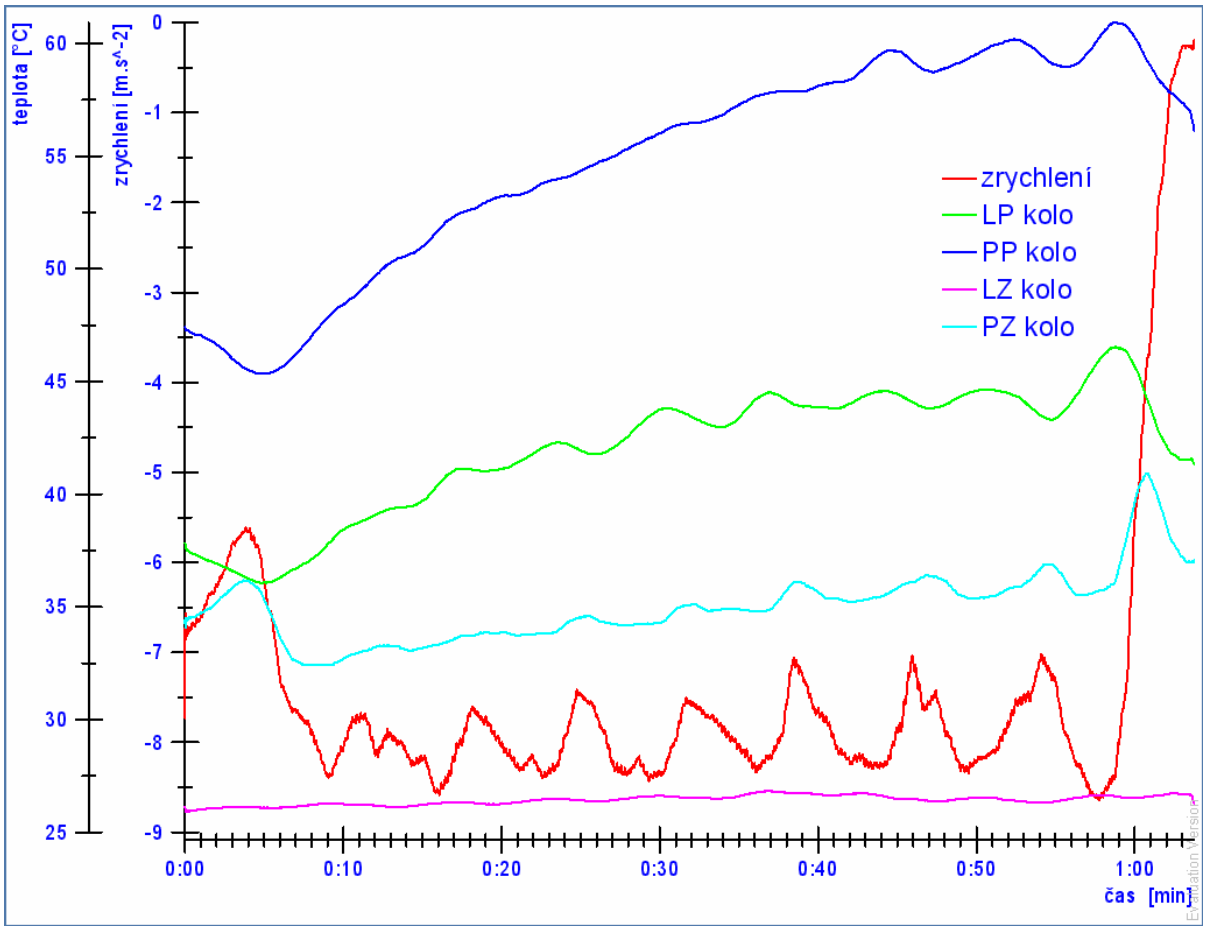


Graf 7.16 jízda v kruhu rychlostí 18km/h



Graf 7.17 jízda v kruhu rychlostí 20km/h

Při kruhových testech v rychlostech 15÷20km/h je průběh závislostí teploty na čase ve všech třech případech podobný. Tyto závislosti jsou zobrazeny v grafech 7.15, 7.16, 7.17. Rozkmit zrychlení je 1,5÷2 $m \cdot s^{-2}$, což odpovídá náklonu zkušební dráhy dále je způsobeno nepřesným opisováním kruhové dráhy (při testu jsme opisovali více elipsu než kruh). Tato změna zatížení se promítla i do záznamu signálu teplot jednotlivých kol. To je praktická ukázka vysoké citlivosti a rychlosti reakce použitých snímačů teploty. Kola na pravé vnější straně vozidla se zahřála na vyšší teplotu než kola na levé vnitřní straně. To je projev většího zatížení vnější strany vozidla odstředivými silami při jízdě v kruhu. Přední poháněná kola se zahřívají více než zadní v důsledku vyššího zatížení přední nápravy. Se vzrůstající rychlostí při jednotlivých testech rostly dle předpokladu i teploty. Jednotlivé grafy začínají také na vyšších teplotách z důvodu krátkých přestávek mezi testy, kdy jsme jen uložily data. Pneumatiky se za tuto krátkou dobu nestačily ochladit.

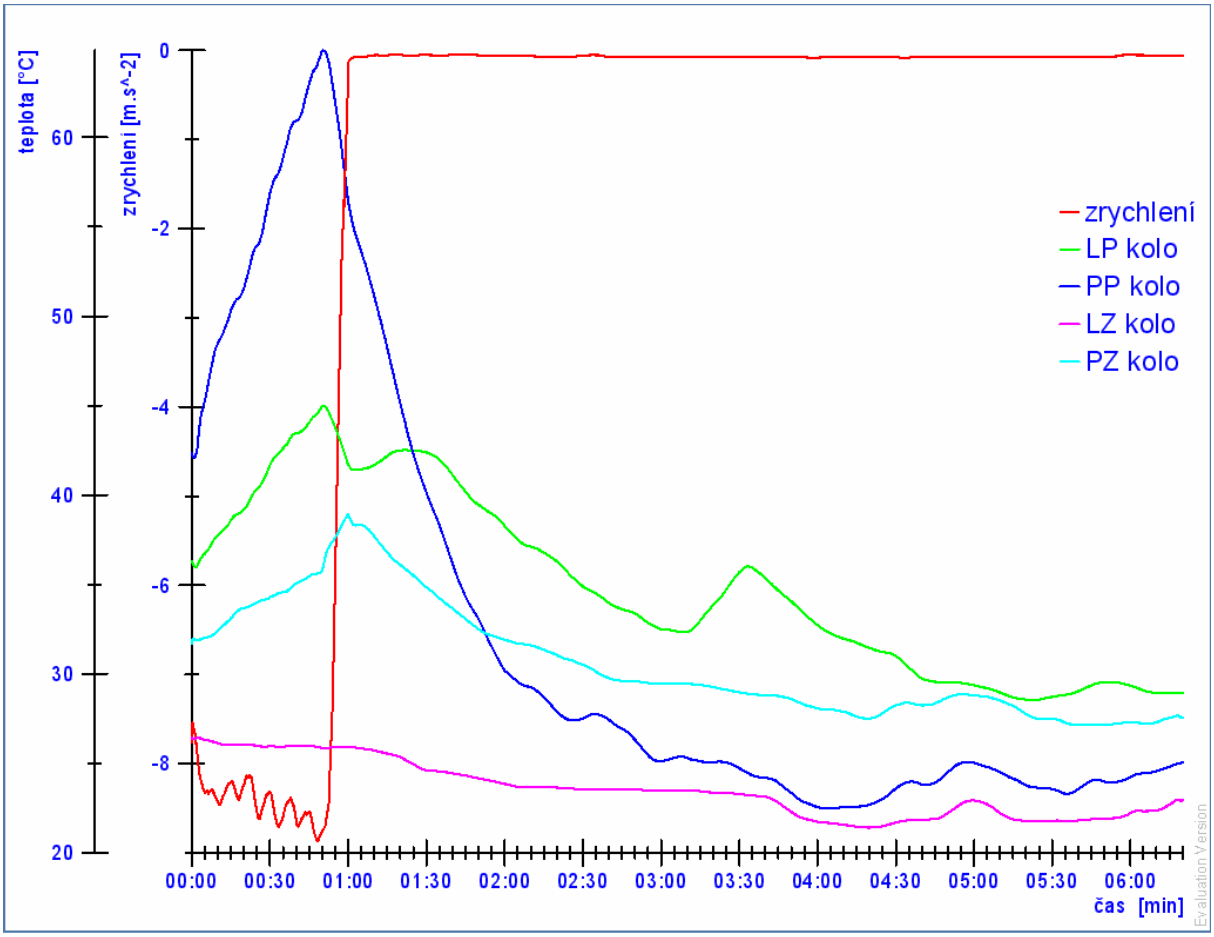


Graf 7.18 jízda v kruhu rychlostí 24km/h

Rozkmit zrychlení 1,2 $m \cdot s^{-2}$ způsoben nedodržením přesného obvodu kola kruhového testu a sklonem zkušební dráhy. Podstatě jsme jezdili nahoru a dolů. Z grafu 7.18 je patrný vyšší nárůst teploty na přední nápravě oproti předpokladu. To je působeno ztrátou adheze na hnaném vnitřním kole a jeho prokluzu. Podle předpokladu se nám více zahřály pneumatiky na vnější straně vozidla. Po tomto testu proběhla kontrola tlaku pneumatik kde byl zjištěn nárůst

u pravého předního kola na 240kPa. Poté bylo vozidlo odstaveno aby se pneumatiky ochladily.

Po kruhovém testu zobrazeného v grafu 7.19 je zaznamenáno chladnutí pneumatik. Současně se změřila teplota pneumatik uvnitř dezénu a tlak pneumatik tab. 7.3. Kruhový test byl proveden maximální rychlostí 25km/h, která se dala na vytyčené trati vozidlem dosáhnout bez ohrožení bezpečnosti účastníků jakož i diváků testu. Teplotu a tlak jme odečetli nejdříve na pravé straně vozidla (přední kolo a pak zadní kolo). Na druhé straně se postupovalo opět od předu do zadu. Manuální odečet a záznam hodnot započal v čase 1min a 30s a skončil při 4 minutě. Z toho plyne jasná nevýhoda tohoto způsobu měření: časová náročnost a nepřesnost způsobená chladnutím pneumatik než se změří všechna kola. Nárůst teploty levého předního kola zaznamenaný v grafu je způsoben narovnáním čidla, jehož držák se při tomto testu uvolnil, zpátky na střed pneumatiky.

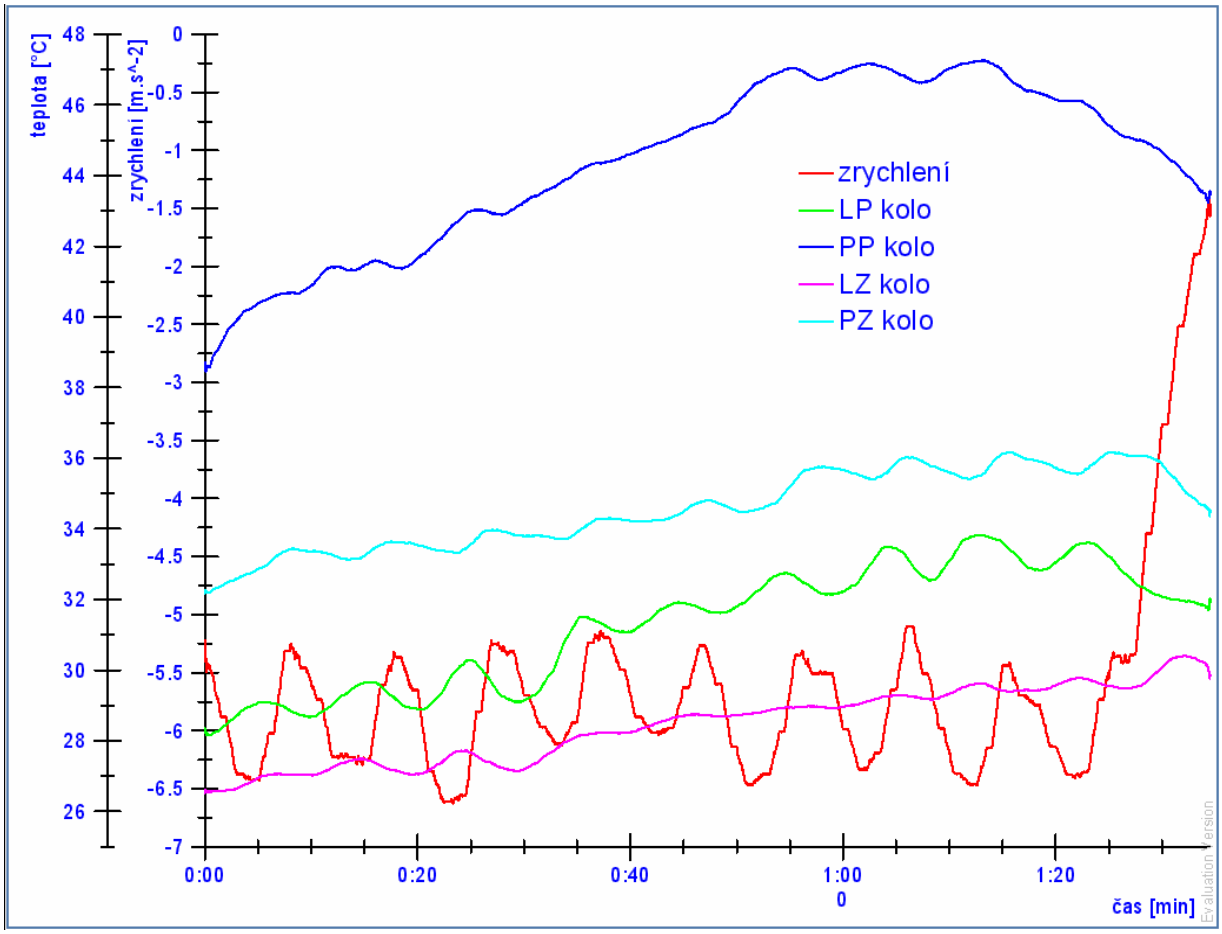


Graf 7.19 jízda v kruhu rychlostí 25km/h a chladnutí

Tab 7.3 teplota a tlak pneumatik

snímač	LP kolo	PP kolo	LZ kolo	PZ kolo
teplota	33°C	46°C	27°C	36°C
tlak	210kPa	240kPa	210kPa	230kPa

Před jízdním manévrem zobrazeným v grafu 7.20 byl snížen tlak na hodnotu 175kPa. Po skončení testu byla tlak opět změřen, po manévru byla velikost tlaku 180kPa. Jízdní manévr byl proveden rychlostí 20km/h, což bylo na hranici bezpečného absolvování testu. Průběh teplot byl dle očekávání stejný jako u testů s tlakem 210kPa při malé rychlosti.



Graf 7.20 jízda v kruhu rychlostí 20km/h

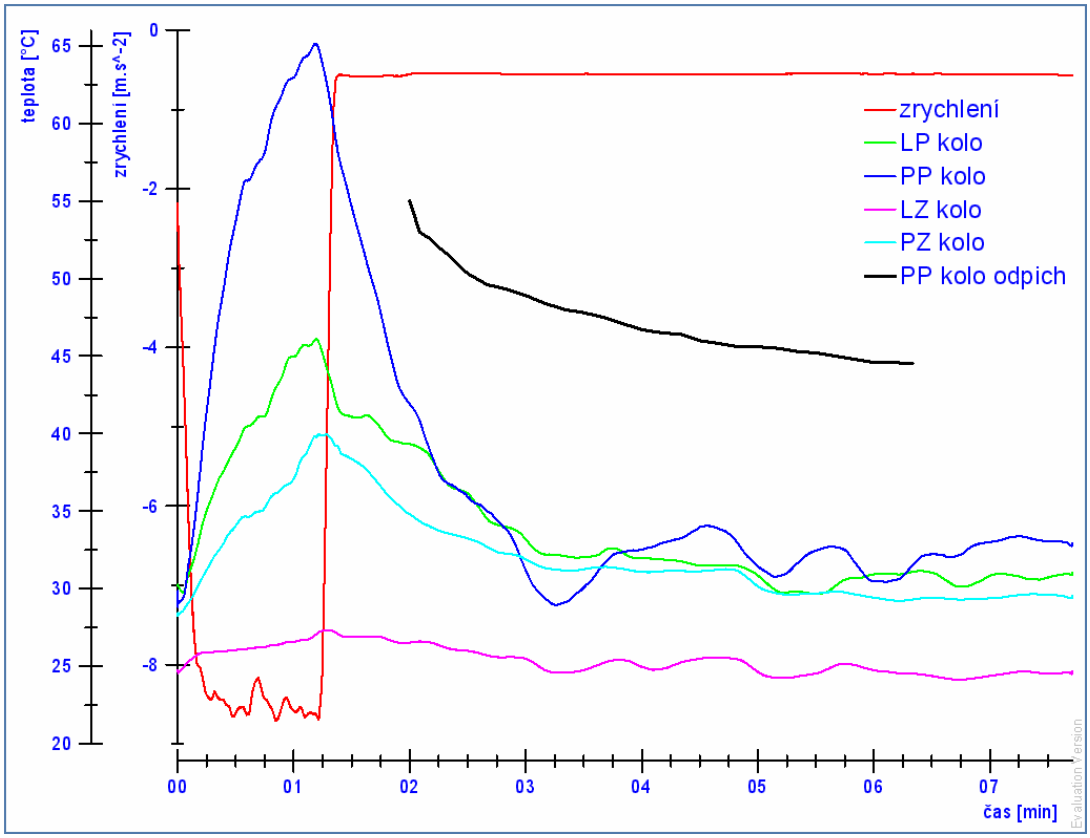
Při měření jsme chtěli využít softwaru dodaného k GPS MicroSAT R20 na záznam a vyhodnocení kruhového testu. Ovládací program obsahuje test kdy je zaznamenána dráha kudy vozidlo jelo, rychlost zrychlení a čas na jednotlivá kola. Při praktické zkoušce se, ale ukázalo že to není možné, z důvodu malého průměru kruhu opisovaného vozidlem. GPS nedokázala dostatečně přesně určit svou polohu a vykreslovala místo kruhu změť čar. Místo startu měřeného kola jsme podle GPS protínali pouze náhodně. Proto jsme použili GPS pouze pro určení přesné rychlosti vozidla při kruhovém testu.

Tab. 7.5

graf	snímač	T min	T max	ohřev	Zrychlení M-Box
		°C	°C	°C	$m \cdot s^{-2}$
7.15	LP kolo	23,2	24,63	1,43	-2,31
	PP kolo	26,25	28,47	2,22	
	LZ kolo	23,45	25,39	1,94	
	PZ kolo	24,66	27,11	2,45	
7.16	LP kolo	24,37	27,05	2,68	-3,78
	PP kolo	27,57	30,74	3,17	
	LZ kolo	23,97	26,17	2,2	
	PZ kolo	26,42	29,78	3,36	
7.17	LP kolo	26,55	29,80	3,25	-5,02
	PP kolo	31,69	36,65	4,96	
	LZ kolo	24,09	27,32	3,23	
	PZ kolo	28,11	32,34	4,23	
7.18	LP kolo	35,62	46,97	11,35	-7,78
	PP kolo	44,90	61,63	16,73	
	LZ kolo	25,62	27,11	1,49	
	PZ kolo	31,85	42,33	10,48	
7.19	LP kolo	28,14	46,45	18,31	-8,42
	PP kolo	22,06	67,48	45,42	
	LZ kolo	20,97	26,82	5,85	
	PZ kolo	26,65	42,89	16,24	
7.20	LP kolo	27,76	34,22	6,46	-5,83
	PP kolo	37,89	47,67	9,78	
	LZ kolo	26,17	30,82	4,65	
	PZ kolo	31,88	36,69	4,81	
7.21	LP kolo	29,26	47,42	18,16	-8,41
	PP kolo	27,97	66,98	39,01	
	LZ kolo	23,77	28,12	4,35	
	PZ kolo	27,78	43,66	15,88	

Tab.7.4 chladnutí měřeno odpichovým teploměrem k měření č.8

čas	teplota	čas	teplota	čas	teplota	čas	teplota	čas	teplota
s	°C	s	°C	s	°C	s	°C	s	°C
po 5s	55	po 10s	49,6	po 10s	47,1	po 10s	45,6	po 10s	44,6
	53		49,3		46,7		45,5		44,5
	52,6		48,9		46,5		45,3		
	52		48,4		46,4		45,2		
	51,5		48		46		45		
	50,9		47,8		45,8		44,8		
	50,3		47,5		45,6		44,6		



Graf 7.21 jízda v kruhu rychlostí 20km/h a následné chladnutí

V grafu 7.21 je znázorněna jízda v kruhu rychlostí 25km/h a následné chladnutí pneumatik. Chladnutí pneumatik se také měřilo odpichovým teploměrem na pravém předním kole vozidla. Toto kolo bylo vybráno z důvodu největšího zatížení a nejvyšší teploty. Na grafu je vidět rozdíl teplot na povrchu pneumatiky a uvnitř dezénu. Povrch pláště pneumatiky se ohřívá a chladne mnohem rychleji než její vnitřní část dezénu.
Z grafu je vidět velikost teplotního namáhání jednotlivých kol. Nejvíce bylo namáháno pravé přední kolo které se zahřálo až na teplotu 67°C. To jsme předpokládali těžký motor nad přední poháněnou nápravou. Dále jsme předpokládali druhé nejvyšší teplotní namáhání na pravém zadním kole, ale ve skutečnosti dosáhlo vyšší teploty (47,4°C) levé přední kolo. Tento nárůst teploty byl způsoben prokluzem levého předního kola odlehčeného vlivem setrvačných sil odstředivého zrychlení jehož hodnota je 8,41m·s^{-2}. Třetí je pravé zadní kolo s teplotou 43,6°C. Nejnižší ohřátí a i teplotní namáhání bylo zaznamenáno na levém zadním kole které se ohřálo pouze o 4,4°C na teplotu 28,1°C. Na toto kolo působilo jen velmi malé namáhání, podstatě nepřenášelo skoro žádné boční síly jen se odvalovalo.

8. Závěr

V této práci bylo zpracováno měření teploty a tlaku pneumatiky automobilu. Odzkoušeli jsme různé možnosti měření tlaku a teploty. Byla provedena modifikace měřícího řetězce pro nová testovací vozidla ÚADI. Vytvořen zjednodušený měřící a záznamový program v programu LabView, použitelný v budoucnu pro výuku. Dále byl zpracován návrh měření, rozmístění měřících snímačů a jízdních testů, brzdný test a jízda v kruhu.

Bylo navrženo nové uchycení držáků snímačů teploty na obě experimentální vozidla určená ústavem automobilního inženýrství pro měření. Pro sériové vozidlo Škoda Octavia RS bylo vyrobeno po dvou kusech nových držáků pro přední a zadní nápravu. Pro vozidlo závodního typu, formuli Ford, byly vyrobeny 4 univerzální držáky. Je škoda, že nedošlo na měření na formuli z důvodu rekonstrukce Masarykova okruhu. Docela zajímavé by mohlo být jak srovnání sériových pneumatik se závodními sliky, tak i měření samotných sliků.

Při neprávně nahuštěných pneumatikách dochází k deformaci a ztrátě stopy pneumatiky. Přehuštěná pneumatika má vypouklý dezén, dochází ke zakulacení pneumatiky v místě styku s vozovkou, tím je výrazně omezena její styková plocha na malou část v jejím středu. Pneumatika se při jízdě jeví jakoby tvrdší, avšak následkem je snížení jízdního komfortu a zhoršení jízdních vlastností vozidla. U podhuštěné pneumatiky naopak dochází k propadu dezénu dovnitř pneumatiky, pneumatika se stýká s vozovkou pouze po krajích, tím je také značně omezena její styková plocha a nemůže dostatečně plnit své vlastnosti. V obou případech nedokáže plně přenést boční zatížení, dochází ke ztrátě adheze. Podhuštění má za následek zvětšení jízdního odporu vlivem valení, zhoršením dynamických vlastností vozidla, zvýšení spotřeby a v neposlední řadě zvýšené namáhání pneumatiky a jejího opotřebení.

Bylo provedeno porovnání záznamu zrychlení z GPS a M-Boxu s cílem určit která z těchto dvou metod je přesnější a bude dávat lepší výsledky. Zajímavé by mohlo být porovnání signálů z correvitu, GPS a M-Boxu. Zjištění která z těchto tří metod by pomohlo snížit počet zařízení namontovaných na vozidle během testů. Ať již z důvodu úspory místa, nebo hmotnosti.

V řešené problematice se stále ještě nacházejí otázky, které ještě nebyly vyřešeny a zaslouží si zodpovědět. Některé otázky nebyly dosud zodpovězeny hlavně z finančních důvodů. Porovnání correvitu, GPS a M-Boxu. Ověření v reálu jak se mění tlak a teplota vzduchu uvnitř kola za jízdy vozidla. Uskutečnit větší počet jízdních testů na různých typech pneumatik z důvodu jejich porovnání.

Úkolem této diplomové práce bylo navrhnout měření teploty a tlaku pneumatik. Přizpůsobení měřícího řetězce na vozidla určená ústavem automobilního a dopravního inženýrství k měření. Vytyčené cíle diplomové práce se podařilo splnit.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] VLK,F. Dynamika motorových vozidel. ISBN 80-234-5273-6, Brno 2000.
[2] VLK,F. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. ISBN 80-238-6573-0, Brno 2000.
[3] VLK,F. Podvozky motorových vozidel. ISBN 80-238-5274-4, Brno 2000.
[4] ROLEČEK,J. Diplomová práce, Měření teploty pneumatik jedoucího vozidla. Brno 2004
[5] EHL,J. Diplomová práce, Bezkontaktní měření teplot pneumatiky, Brno 2006
[6] OMEGA ENGINEERING. User's Guide, OS 100 Series Mini-Infrared Transmitter. M3572/0701, 2001
[7] ISO 4138. Passenger cars – Steady-state circular driving behaviour – Open-loop test procedure. Second edition 1996-12-15
[8] SVOBODA, E. a kol. : Přehled středoškolské fyziky. ISBN 80-7196-006-3, Praha 1996.
[9] STODOLA, J. : Sylaby k přednáškám Diagnostika motorových vozidel. Brno, 2003, s. 93 – 100.
[10] http://www.omegaeng.cz/proinfo/thermocouples.html
[11] http://www.apri.cz
[12] http://www.mclarenelectronics.com/Products.asp?subtype=b:Tyre%20Pressure&type=Sensors&id=171

Seznam použitých zkratek a symbolů

a	[-]	charakteristická konstanta pro plyn
AI	[-]	analog input (analogový vstup)
AO	[-]	analog output (analogový výstup)
b	[-]	charakteristická konstanta pro plyn
ϵ	[-]	emisivita měřeného tělesa
GND	[-]	ground (zem)
LP kolo	[-]	levé přední kolo
LZ kolo	[-]	levé zadní kolo
m	[kg]	hmotnost
M_m	[kg·mol^{-1}]	molární hmotnost
n	[mol^{-1}]	látkové množství
p	[Pa]	tlak
PP kolo	[-]	pravé přední kolo
PZ kolo	[-]	pravé zadní kolo
R_m	[J· K^{-1}· mol^{-1}]	molární plynová konstanta
SENCE	[-]	zem snímačů
t	[°C]	teplota tělesa
Δt	[-]	rozdíl teplot po a před zahřátím
T	[K]	absolutní teplota, termodynamická teplota
V	[m^3]	objem
V_m	[m^3]	molární objem

Seznam příloh

Příloha č. 1 CD s diplomovou prací

Seznam výkresové dokumentace

5 – S31 – 01/01	Držák snímače – přední OCTAVIA RS
5 – S31 – 02/01	Držák snímače – zadní OCTAVIA RS
5 – S31 – 03/01	Držák snímače – svařenec formule
5 – S31 – 03/01/01	Držák snímače – držák formule
5 – S31 – 03/01/02	Držák snímače – rameno formule
5 – S31 – 03/01/03	Držák snímače – deska formule