



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK PODVOZKU VOZIDLA BĚHEM JÍZDY

MEASUREMENT OF VEHICLE SUSPENSION PARAMETERS DURING DRIVING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

JIŘÍ HUF

Ing. PETR HEJTMÁNEK, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Huf

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Měření charakteristik podvozku vozidla během jízdy

v anglickém jazyce:

Measurement of Vehicle Suspension Parameters during Driving

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Sestavení přehledu měřicích zařízení pro identifikaci charakteristik podvozku vozidla během jízdy. Jedná se zejména o následující parametry: síly přenášené pneumatikami, změna polohy kola, pohyb odpružené hmoty automobilu, provozní teploty příslušných dílů podvozku, a další.

Cíle bakalářské práce:

1. Přehled základních charakteristik podvozku automobilu
2. Seznam zařízení rozdělených dle měřených parametrů
3. Popis možností využití měřených dat

Seznam odborné literatury:


- [1] VLK,F. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. ISBN 80-234-6573-0, Nakladatelství VLK, Brno 2000.
- [2] VLK,F. Podvozky motorových vozidel. ISBN 80-239-6464-X, Nakladatelství VLK, Brno 2006.
- [3] VLK,F. Dynamika motorových vozidel. ISBN 80-238-5273-6, Nakladatelství VLK, Brno 2000

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Hejtmánek, Ph.D.

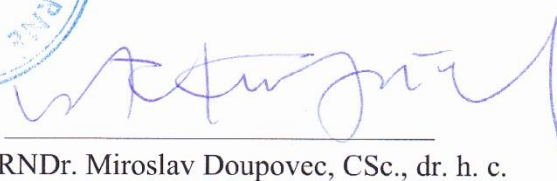
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 26.11.2013





prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá systémy a postupy pro měření charakteristik podvozku vozidla během jízdy, dále také názorně dokazuje užitečnost měření v inženýrské praxi. Nejprve je rozebrán podvozek vozidla, následují snímače a měření jako takové a poslední část je věnována popisu a zhodnocení brzdné zkoušky v závislosti na funkčnosti systému ABS. Byla vytvořena přehledná tabulka snímačů a tabulka hodnotící výsledky brzdné zkoušky. Dále byl také popsán měřicí systém firmy Kistler, jakožto příklad měřicího systému pro měření dynamiky vozidla.

KLÍČOVÁ SLOVA

Podvozek, vozidlo, snímač, měření, ABS, brzdná zkouška, Kistler, dynamika

ABSTRACT

This bachelor thesis deals systems and procedures for measuring properties of vehicle chassis during its ride. Further demonstrates how useful measuring is in engineering practice. First, the vehicle chassis is analyzed, next are sensors and whole measuring. Last part includes a description and rating of a braking test in depending on functionality of ABS system. There is a chart of sensors and chart compares results of braking test. Next the measuring systems of Kistler company were described as instance of measuring system for measuring of vehicle dynamics.

KEYWORDS

Vehicle suspension, sensor, measurement, ABS, braking test, Kistler, dynamics



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HUF, J. *Měření charakteristik podvozku vozidla během jízdy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 46 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Hejtmánek, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petra Hejtmánka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 28. května 2014

.....

Jiří Huf



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat rodině a všem, kteří mě podporovali při studiu na Vysoké škole. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Petru Hejtmánkovi, Ph.D. za cenné rady a věcné připomínky při zpracování mé práce a především za pomoc s realizací měření.



OBSAH

Úvod	9
1 Teoretická část	10
1.1 Charakteristika jednotlivých částí podvozku	10
1.1.1 Pneumatiky a kola	11
1.1.2 Zavěšení kol, nápravy	11
1.1.3 Odpružení	13
1.1.4 Řídící ústrojí	15
1.1.5 Brzdové soustavy	17
1.2 Měřicí zařízení	20
1.2.1 Základní typy snímačů rozdělené podle principu	20
1.2.2 Tabulka typů snímačů rozdělených podle měřené veličiny	25
1.2.3 Rozdělení snímačů podle typu	26
1.2.4 Příklad realizovaných řešení měřících jednotek	27
1.2.5 Zpracování naměřených dat	30
2 Praktická část - experiment	32
2.1 Popis experimentu	32
2.2 Měřicí systém	33
2.3 První měření	35
2.4 Druhé měření	38
2.5 Zhodnocení a vyvození důsledků	40
Závěr	42
Seznam použitých zkratk a symbolů	46



ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je, jak už vypovídá její název, systematicky popsat jak, kde a proč probíhá měření dynamických charakteristik podvozku vozidla během jízdy.

Toto téma jsem si vybral, protože se zajímám o automobilismus jako takový a proto, že již delší dobu spolupracuji s Ing. Petrem Hejtmánkem, Ph.D. na projektu experimentální vozidlo. Když mi nabídl toto téma na bakalářskou práci, neváhal jsem a využil jsem této příležitosti.

Práce je členěna do tří celků, z nichž dva se zabírají teoretickým rozbořem měření dynamických vlastností podvozku, a třetí názorně demonstruje důležitost měření. Toto pojetí je záměrné, jelikož jsem názoru, že by tato práce měla být obecným vstupem do problematiky měření dynamických charakteristik podvozku vozidla. Věnuje se tedy dvěma základním problémům: Jaká data a kde je měřit. Podrobný popis není předmětem této práce, jelikož vývoj v této oblasti je velmi progresivní a v případě potřeby hlubších znalostí je nejlepší věnovat se konkrétně jednotlivým postupům a technickým realizacím jednotlivých firem, popřípadě svá měření konzultovat s nimi.

První část se věnuje podvozku vozidla, jako takovému a slouží k pochopení a uvedení do dané problematiky. Druhá část se věnuje dvěma skupinám. Snímačům obecněji a poté konkrétněji ve vztahu k měření dynamiky podvozku vozidla. Třetí část by měla prokázat, že tato práce má smysl, a tedy, že měření je velmi důležitou a potřebnou součástí inženýrské praxe. Toto je demonstrováno na příkladu měření brzdného manévru v závislosti na funkčnosti systému ABS. Veškeré zjištěné poznatky z měření jsou poté shrnuty v kapitole 2.5.

Celá práce je poté zhodnocena v závěru.



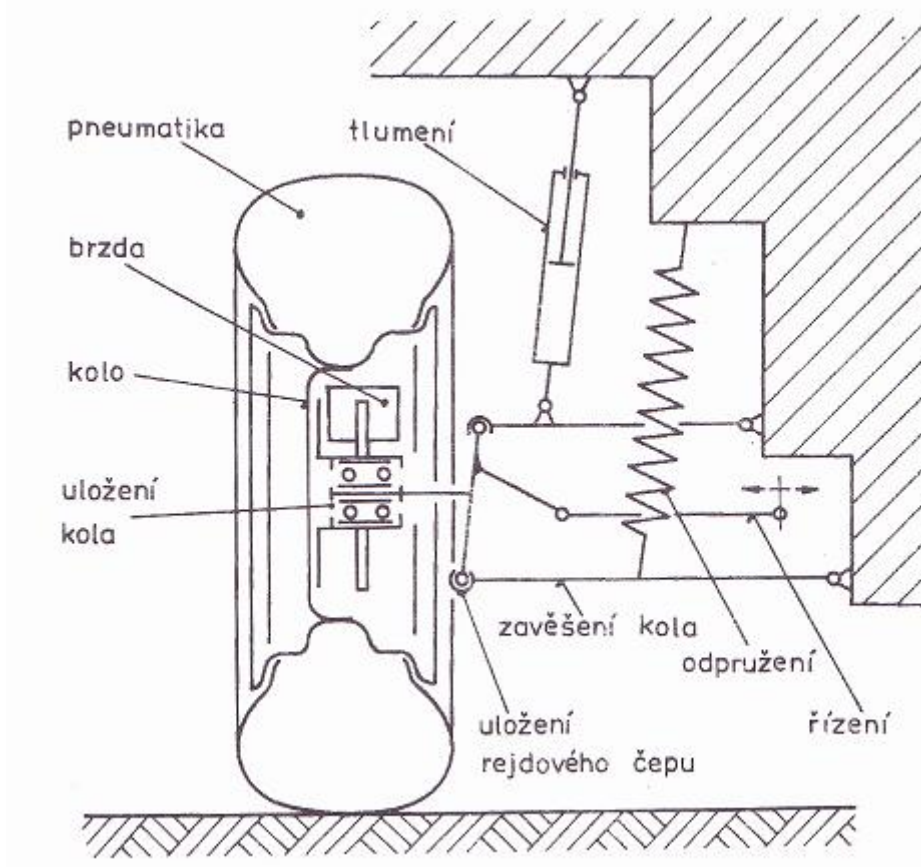
1 TEORETICKÁ ČÁST

První část práce se věnuje teoretickému pochopení principů chování a dynamiky vozidla, dále pak systematickému roztřídění jednotlivých snímačů, kde je nastíněn jejich přínos při navrhování a konstrukci vozidla a nakonec pojednává něco málo o zpracování dat.

Lidstvo se během několika stovek let dopracovalo od metody pokus, omyl k mnohem důmyslnějším postupům vývoje nových věcí. Mezi základní postupy patří metoda indukce. Na základě známých dat, jsme schopni předpovědět chování složitých systémů, které ani nemusí existovat. Problémem je, kde získat vstupní data? Data je možné získat systematickým a metodickým měřením podobného problému. Tato data lze poté využít jako vstupní data pro simulace např. jízdních manévrů, pevnostních a napjatostních výpočtů, aerodynamických výpočtů, nebo lze ze změřených dat vyvozovat určité závěry a poznatky zpětně využitelné při konstrukci automobilu, verifikaci výpočtů, atd. Proto má měření dat a jejich následné vyhodnocení nezastupitelný význam při vývoji nových produktů, nejen v automobilovém odvětví. Je tedy důležité vědět co a kde měřit. První část se tedy zaměří na otázku: Kde měřit?

1.1 CHARAKTERISTIKA JEDNOTLIVÝCH ČÁSTI PODVOZKU

Na dynamiku vozidla má velmi významný vliv podvozek vozidla, ten se skládá z těchto hlavních částí: Kolo s pneumatikou, zavěšení kola, odpružení, řídicí ústrojí, brzdová soustava.



Obr. 1 Konstrukční části podvozku[1]

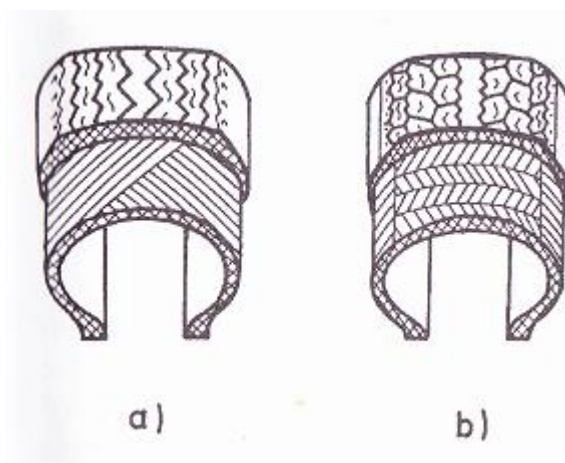


1.1.1 PNEUMATIKY A KOLA

Kolo se skládá z disku, ráfku a pneumatiky. Zabezpečuje styk s vozovkou a přenos sil a momentů.

Disk je střední část kola, na níž je připevněn ráfek s pneumatikou. Nejběžnější jsou ocelové disky vhodné především pro nákladní automobily, dále disky z lehkých slitin (Al, Mg), které vynikají vysokou výrobní přesností. **Ráfek** slouží k uložení pneumatiky tak, aby mohly být přenášeny svislé, boční a obvodové síly. Rozměry ráfku, stejně jako rozměry pneumatik odpovídají normám a jsou systematicky značeny.

Pneumatika je tvořena pláštěm, popřípadě pláštěm a duší a je naplněna stlačeným vzduchem (výrazný tlumicí účinek). Plášť se skládá především z pryžových polymerů, textilií a ocelových vláken. Styčná plocha pneumatiky a vozovky je opatřena tzv. dezénem, tj. soustava drážek a žlábků zajišťující přilnavost pneumatiky k vozovce a odvod vody. Podle konstrukce rozlišujeme pláště radiální a diagonální viz. Obr. 2. Dále dělíme pláště na zimní (měkkí směs, hlubší dezén) a letní.



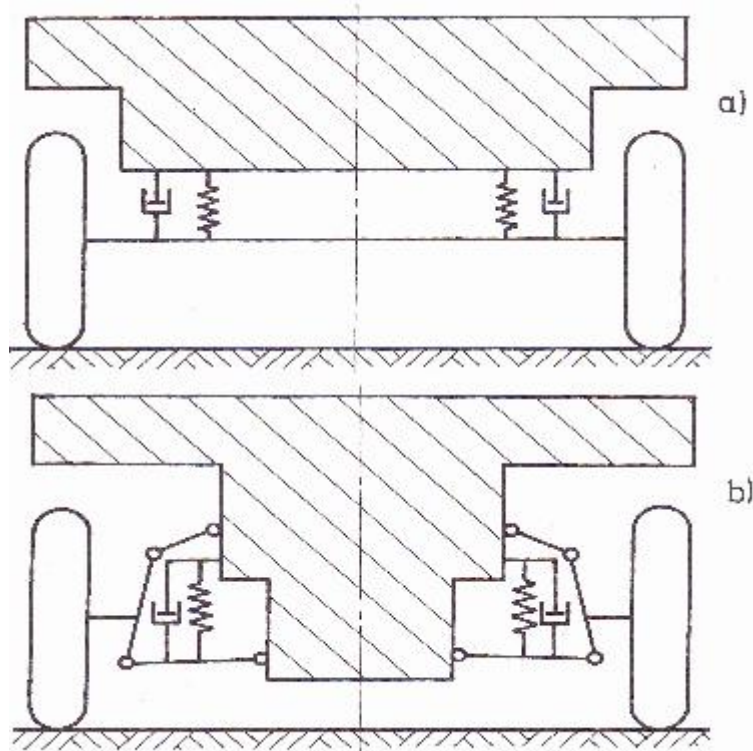
Obr. 2 Konstrukce pneumatiky: a) diagonální, b) radiální [1]

Z hlediska dynamiky a bezpečnosti vozidla jsou pneumatiky jedním z nejdůležitějších členů. Právě na pneumatiky působí veškeré síly od vozovky. Pneumatiky musí být schopné přenést síly svislé, způsobené především gravitací a pohybem odpružených hmot vozidla, boční, vznikající při zatáčení/změně směru jízdy a síly obvodové, generované při změně rychlosti vozidla – akcelerace/decelerace. [1]

1.1.2 ZAVĚŠENÍ KOL, NÁPRAVY

Zavěšení kola je spojovacím článkem mezi samotným kolem a karoserií (nebo rámem) vozidla. Umožňuje svislý pohyb při pružení a otáčivý pohyb kola.

Existují dva základní typy zavěšení kol: tuhá náprava a nezávislé zavěšení kol viz. Obr. 3.



Obr. 3 Typy zavěšení kol: a) tuhá náprava, b) nezávislé zavěšení [1]

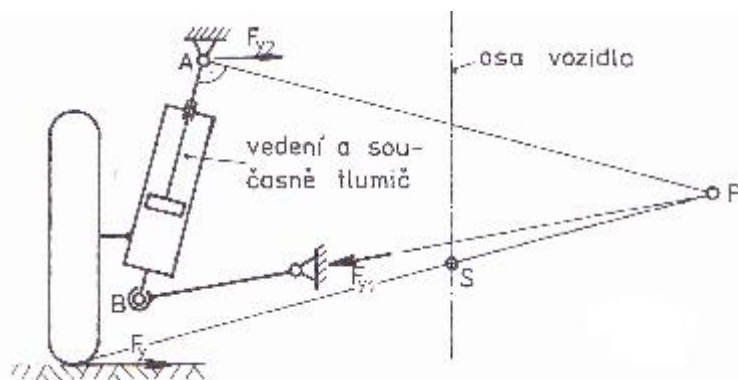
Tuhá náprava patří mezi nejstarší typy zavěšení kol. Musí být schopna zachytit síly svislé, boční, obvodové a také kroučící moment. Uložení nápravy je nejčastěji realizováno listovými pružinami, nebo kombinací vlečné nápravy s vinutými pružinami. U nákladních automobilů a autobusů převažují tzv. ojnicové nápravy.

Pro zachycení bočních sil slouží tzv. Wattův přímovod, nebo Panhardska tyč. Ostatní síly a momenty jsou zachyceny v uložení nápravy.

U **nezávislého zavěšení kol** jsou pohyby pravého a levého kola na sobě povětšinou nezávislé. Výhodou je nízká hmotnost neodpružené části a lepší dynamické vlastnosti. Částečnou vazbu mezi koly zajišťuje stabilizátor (nejčastěji torzně poddajná tyč). Pro přední řízené nápravy jsou nejpoužívanější tyto konstrukční řešení:

Lichoběžníková náprava je tvořena dvojicí příčných trojúhelníkových ramen. Nastavením ramen lze měnit geometrii uložení nápravy. Tento typ nápravy je schopen velmi dobře přenášet všechny síly a momenty.

Náprava MacPherson je odvozena od lichoběžníkové nápravy tím, že horní rameno je nahrazeno posuvným vedením. Tím je docíleno lepší konfigurace z hlediska zástavby ve vozidle. Vedení je obvykle realizováno tlumičem s vinutou pružinou a v horní části musí být uloženo rotačně, aby bylo možné zajistit volné natáčení kola.



Obr. 4 Náprava MacPherson [1]

U zadních náprav se můžeme nejčastěji setkat s kyvadlovou úhlovou nápravou, klikovou nápravou a torzní klikovou nápravou. Torzní kliková náprava neboli spřažená náprava je kombinací klikové nápravy a torzní příčky, která se při zatížení jednoho kola deformuje a částečně ovlivňuje chování kola druhého, působí jako stabilizátor. Vyniká hlavně díky malé hmotnosti neodpružených částí a malou zástavbovou velikostí.

Uložení kola je v současné době realizováno pomocí tzv. ložiskových jednotek, které zajišťují otáčení kola a přenos sil a momentů. U řízených náprav je důležité také uložení tzv. rejdové osy. Rejdová osa umožňuje zatáčení kola a tím změnu směru jízdy vozidla. [1]

1.1.3 ODPRUŽENÍ

Odpružení vozidla snižuje přenos kmitání a vibrací na karoserii vozidla a zajišťuje stálý styk pneumatiky s vozovkou. Důležité je, aby při pružení nedocházelo k rezonanci. Vlastní frekvence soustavy (vozidla) musí být odlišná od vlastní frekvence odpružení. Mezi základní části odpružení patří pružiny a tlumiče.

Pružiny dělíme na ocelové, pryžové, vzduchové a vzduchokapalinové. Rozlišujeme tři základní charakteristiky pružin: lineární, progresivní a degresivní.

Ocelové pružiny se podle konstrukce dělí na listové (používané převážně u nákladních vozidel), vinuté (v současnosti nejvyžívanější typ) a zkrutné. Listové pružiny jsou tvořeny ocelovým plátem, nebo soustavou těchto plátů, pružiny vinuté mají válcový tvar a jsou navinuty z drátů kruhového průřezu. Zkrutné, neboli torzní pružiny jsou namáhány v ose momentem a jsou tedy tvořeny zkrutnou tyčí.

Pryžové pružiny se používají prakticky u všech druhů odpružení jako přídavné pružící elementy. Další využití je ve formě silentbloků k uchycení vibrujících částí vozidla. Vyznačují se nízkou cenou, velmi progresivní deformační charakteristikou a nízkými nároky na údržbu.

Vzduchové pružiny našly uplatnění především u nákladních automobilů a to díky svým vlastnostem. Tvoří je většinou pryžový vak naplněný stlačeným vzduchem. Nosná síla pružiny je závislá na přetlaku, ten je možné plynule regulovat a tím zajistit vhodné nastavení podvozku vozidla. V dálkové dopravě našla uplatnění možnost přivednutí nepotřebných

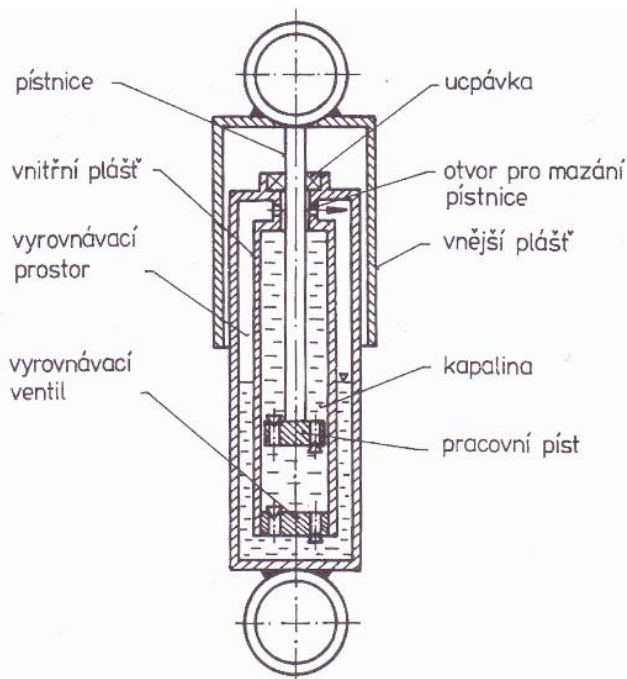


náprav u návěsu, což má za následek snížení opotřebení pneumatik. Nevýhodou tohoto systému je nutnost dodávky stlačeného vzduchu.

Vzduchokapalinové, neboli hydropneumatické pružící jednotky poskytují možnost plynule měnit tzv. světlou výšku vozidla. Nepotřebují přídavný tlumič, ale kvůli nutnosti dodávky tekutiny nejsou moc populární.

Ke zvýšení stability vozidla během jízdy slouží vedle pružin také tlumiče. Tlumiče zabraňují kmitání neodpružených částí vozidla a také propružení až k dorazům, tím tlumí nárazy způsobené nerovnostmi vozovky. Tlumič pracuje na principu přeměny mechanické energie na energii tepelnou pohybem pístu v kapalině (nejčastěji olej). V současnosti jsou využívány dva typy tzv. teleskopických tlumičů.

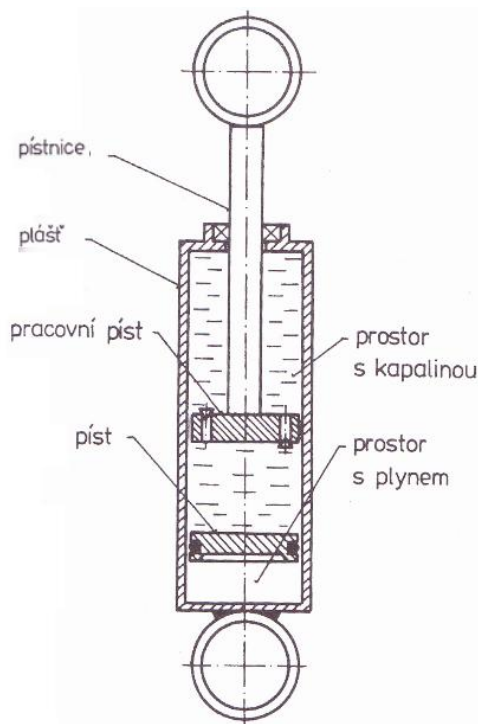
Dvouplášťový teleskopický tlumič je tvořen pístem s otvory pohybujícím se ve válci. Kapalina se při pohybu pístu protlačuje otvory a tím tvoří tlumící sílu. Vznikající teplo, mimo jiné, ohřívá kapalinu a ta mění svůj objem, přebytečná kapalina je tedy vyrovnávacími ventily přepouštěna do vnějšího válce. Při pohybu pístu opačným směrem probíhá celý proces obráceně. Je nutné, aby se v pracovním prostoru tlumiče nevyskytoval žádný vzduch, který by měl nepříznivé účinky na tlumící schopnost tlumiče. Z toho důvodu by měl dvouplášťový tlumič pracovat téměř ve svislé poloze.



Obr. 5 Dvouplášťový teleskopický tlumič [1]

Jednoplášťový teleskopický tlumič je tlumič plynokapalinový. Vyrovnávací prostor dvouplášťového tlumiče byl nahrazen prostorem se stlačeným plynem. To vede ke zvýšení jízdního komfortu, zjednodušení konstrukce tlumiče a odstranění problému s pracovní polohou. Oproti dvouplášťovému typu má však nevýhodu ve formě nižší životnosti.

Velmi využívané zavěšení kol MacPherson je tvořeno masivním jednoplášťovým tlumičem, který plní funkci tlumící i nosnou, doplněným pryžovou a vinutou pružinou. [1]

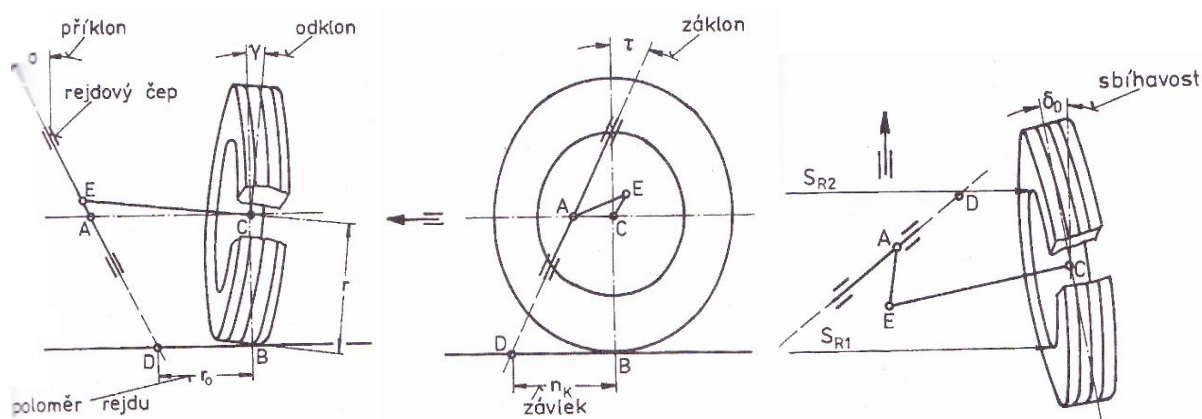


Obr. 6 Jednoplášťový teleskopický tlumič [1]

1.1.4 ŘÍDICÍ ÚSTROJÍ

Řídicí ústrojí slouží ke změně směru jízdy, popřípadě k udržení vozidla ve směru jízdy. V současné době je většina vozidel konstruována s řízenou přední nápravou s tzv. posilovačem řízení.

Co se týče geometrie řízených kol, existuje řada **geometrických parametrů** (úhel odklonu kola, příklon rejdové osy, poloměr rejdu, záklon rejdové osy, závlek, úhel sbíhavosti), které mají jasně definované hodnoty, aby byla zajištěna plynulost, funkčnost a stabilita řízení. Tyto geometrické parametry mají také výrazný vliv na celkovou dynamiku vozidla, zejména při zatáčení.

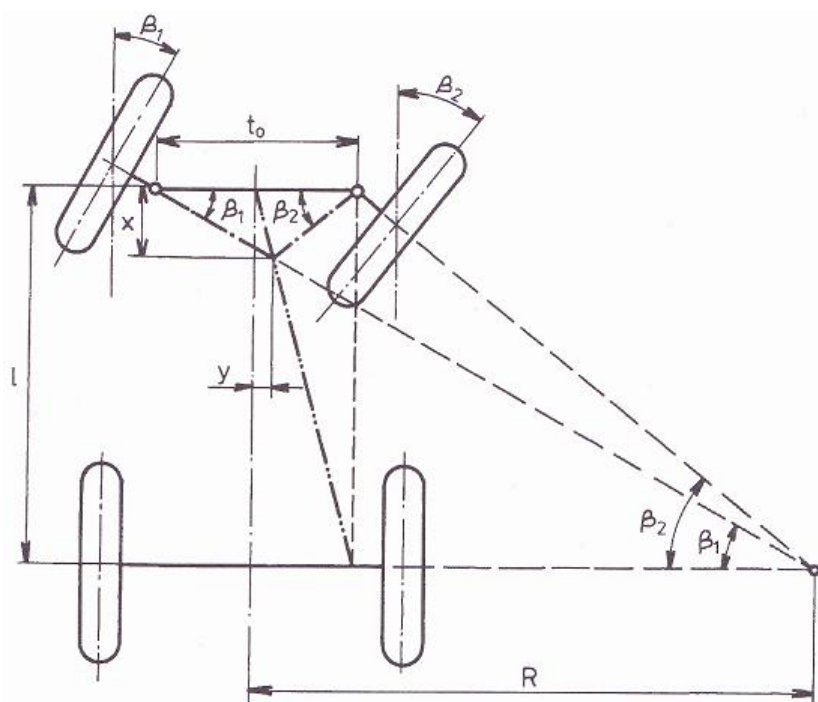


Obr. 7 Geometrické parametry uložení kola [1]

Aby nedocházelo ke smýkání kola při průjezdu zatáčkou, musí natočení kola splňovat určité geometrické podmínky. Tyto podmínky popisuje **Ackermannova geometrie řízení** (Obr. 8.)



Střed otáčení vozidla musí ležet na prodloužené ose zadní nápravy. To zajišťuje tzv. lichoběžník řízení. Reálný střed zatažení je odlišný od středu teoretického a na každém kole vznikají směrové odchylky úhlu.



Obr. 8 Ackermannova geometrie řízení [1]

Mechanismus řízení přenáší otáčivý pohyb volantu na pohyb řídicích tyčí, jež jsou spojeny s koly a geometricky zajišťují, aby byl dodržen lichoběžník řízení. Nejčastějším typem jsou mechanismy založené na principu šneku, nebo hřebenu, přičemž v dnešní době se používají výhradně převodky hřebenové. Především kvůli výborné tuhosti, přesnosti a geometrické nenáročnosti.

Velmi důležitou částí řízení z hlediska tuhosti a přesnosti jsou kulové klouby, které zajišťují kloubové spojení jednotlivých dílů. V současnosti jsou konstruovány jako bezúdržbové. Dále také řídicí tyče, pomocí nichž jsme schopni nastavit správnou sbíhavost kol. Tyto tyče jsou namáhány na vzpěr a musí být podle toho konstruovány.

Dalšími částmi řízení jsou posilovač a tlumič řízení, které zvyšují aktivní bezpečnost a zlepšují jízdní pohodlí posádky. Tlumič řízení slouží k potlačení rázů a stabilizaci řízení. Jeho konstrukce je obdobná jako u jednoplášťového tlumiče podvozku. Posilovač řízení podstatně snižuje sílu potřebnou k ovládní řízených kol. Nejčastěji využívanými posilovači jsou posilovače hydraulické (servořízení) a posilovače elektrické. Pomocí snímačů na hřídeli volantu je snímán moment způsobený řidičem. Následně je odvozena síla, kterou má posilovač vyvinout, aby bylo docíleno zatočení kol. U hydraulického posilovače je pomocí ventilů přepouštěn tlakový olej na jednotlivé strany pístu. Elektronický posilovač se skládá z elektromotoru a řídicí elektroniky. Velmi důležité je, že při nefunkčnosti posilovače nedojde ke ztrátě možnosti ovládní vozidla, pouze bude nutno vyvinout tomu dopovídající moment na volant. [9]

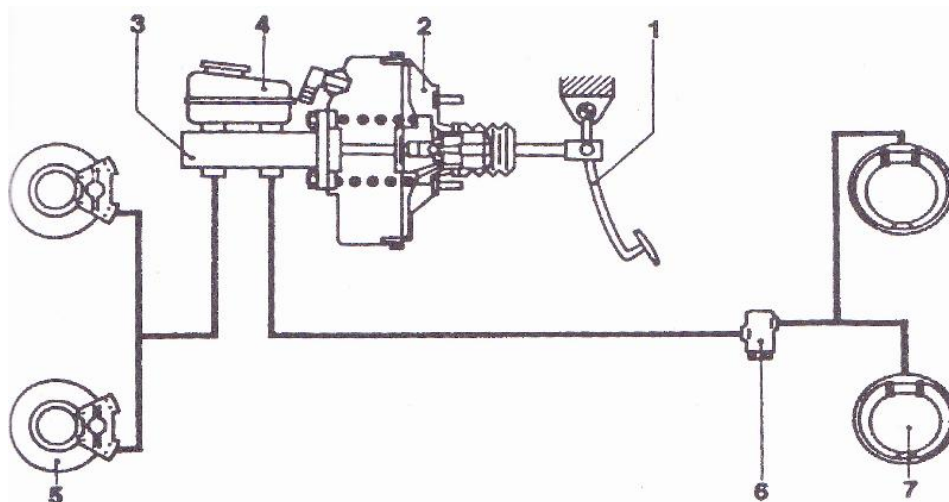


Řízení všemi koly se nejčastěji používá u stavebních strojů, těžkých vozidel a okrajově i u vozidel osobních. Velkou výhodou tohoto systému je vysoká manévrovatelnost především při nízkých rychlostech, oproti tomu ovšem stojí velká technická náročnost a tím i cena tohoto řešení. Rozlišujeme dva druhy řízení všech kol. Nesouhlasné, zadní kola se natáčejí v opačném smyslu než kola přední (zlepšená manévrovatelnost při nízkých rychlostech) a souhlasné, kola se natáčejí stejně (zlepšená dynamická říditelnost při vyšších rychlostech). [1], [2]

1.1.5 BRZDOVÉ SOUSTAVY

Brzdová soustava je primárně určena k regulaci rychlosti pohybujícího se vozidla, slouží však také k zajištění stojícího vozidla např. ve svahu. Nejtypičtějším typem brzd jsou brzdy třecí. Brzdná síla je vyvolána třením mezi rotujícími a stojícími částmi podvozku. Tím dochází k přeměně kinetické energie na energii tepelnou, která je vyzářena do okolí.

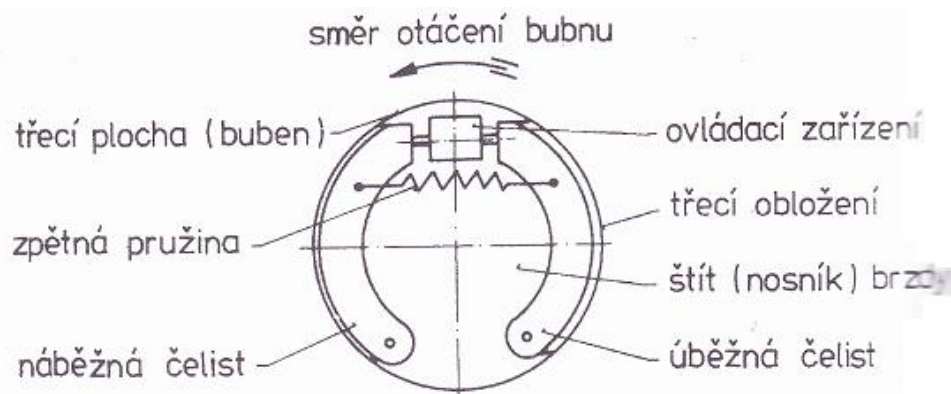
Brzdná soustava se skládá z brzdového pedálu (1), válce (3), posilovače (2), nádobky (4), hadic a samotné brzdné jednotky. Může být doplněna regulátorem tlaku (6) ke zlepšení jízdních vlastností vozidla. Síla vyvolaná na píst v brzdovém válci je znásobena v posilovači a poté pomocí kapaliny (Pascalův zákon) působí na brzdné čelisti, ty jsou přitlačovány k brzdovému kotouči (5) nebo k vnitřní části bubnové brzdy (7).



Obr. 9 Schéma brzdné soustavy [1]

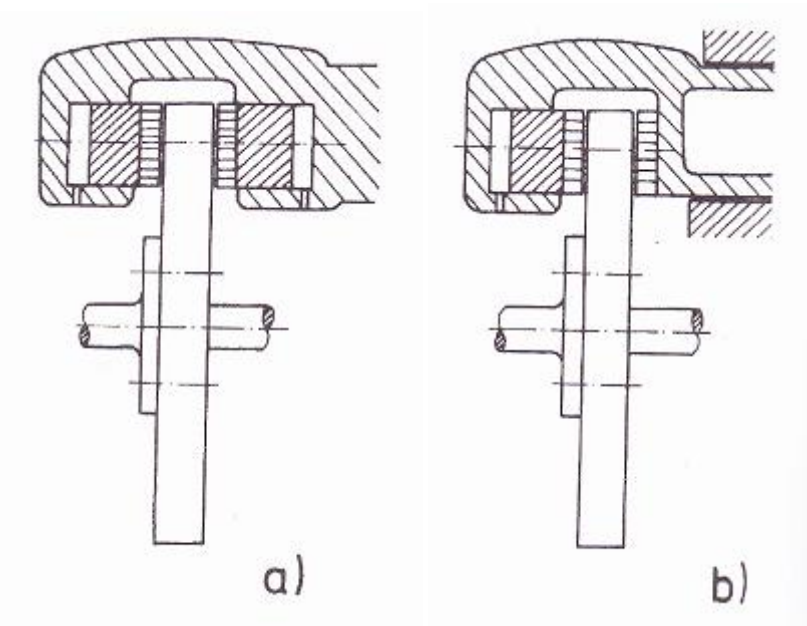
Brzdy tedy dělíme na brzdy kotoučové a brzdy bubnové.

Bubnové brzdy jsou tvořeny rotujícím bubnem, na jehož vnitřní stranu jsou přitlačovány čelisti s bubnovým obložením. Tyto čelisti jsou buďto uloženy otočně na čepu, nebo volně. Podle smyslu momentu obvodové třecí síly vzhledem k uložení rozlišujeme čelisti náběžnou (moment zvětšuje přítlak) a čelisti úběžnou (moment přítlak zmenšuje). Tím nám vznikají různé kombinace uložení. Jednoduchá brzda má jednu náběžnou a jednu úběžnou čelist. Dvojnáběžná brzda má obě čelisti náběžné, tzv. servo brzda má čelisti zpřažené a obě dvě se chovají jako náběžné. Kvůli zlepšení odvodu tepla je vnější část bubnu často opatřena žebry. K zajištění stojícího vozidla slouží tzv. ruční brzda. Nejběžnější technické řešení je spojení rozpínacího mechanismu čelistí a ruční brzdy pomocí lanového převodu.



Obr. 10 Schéma bubnové brzdy [1]

Kotoučové brzdy jsou tvořeny rotujícím kotoučem, na nějž jsou oboustranně přitlačovány desky s třecím obložení. Jejich hlavní výhodou je zlepšený odvod tepla a tím větší účinnost, na druhou stranu je zapotřebí větší ovládací síla. Podle principu uložení destiček dělíme kotoučové brzdy na dvě kategorie. Kotoučová brzda s pevným třmenem (dva hydraulické válce působící proti sobě) a kotoučová brzda s plovoucím třmenem (jeden hydraulický válec uložen posuvně). Brzdy s plovoucím třmenem vykazují lepší chlazení a jsou vhodnější i z hlediska zástavby. Kvůli zlepšení odvodu tepla jsou kotouče různě upravovány např. vrtané kotouče, odvětrávané dvouvrstvé kotouče.



Obr. 11 Schéma kotoučové brzdy a) pevný třmen b) volný třmen [1]

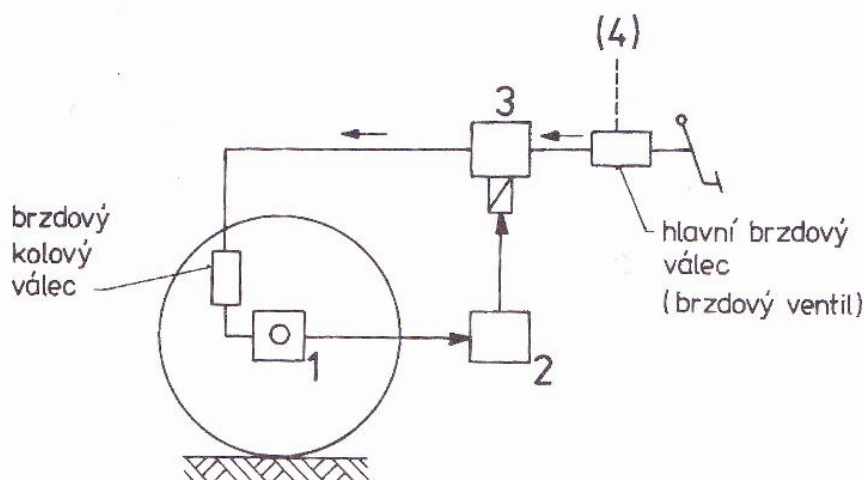
Třecí obložení, tzv. **brzdové destičky** jsou vyráběny z materiálů s vysokým koeficientem tření a dobrou tepelnou odolností. Nejpoužívanější variantou jsou destičky na bázi kompozitních materiálů, v současnosti se objevují keramické destičky v kombinaci s kompozitními kotouči. Vyznačují se výbornou tepelnou odolností, vynikajícím brzdnými vlastnostmi, jejich problémem je ovšem vysoká cena. [10], [11]



Další součástí brzdové soustavy je tzv. posilovač brzdného účinku. Slouží ke snížení ovládací síly na brzdový pedál. Konstrukčně rozlišujeme dva typy. Hlavní výhodou podtlakového posilovače oproti posilovači přetlakovému je, že pro svoji funkci využívá podtlaku ze sacího potrubí motoru a nepotřebuje tedy (mimo dieselové motory) externí zdroj podtlaku/přetlaku. Důležité je, že při nesprávné funkci posilovače není zamezena funkčnost brzd, pouze se zvýší ovládací síla nutná k zastavení vozidla.

Samostatnou kapitolu tvoří brzdná soustava nákladních automobilů. Ta se zpravidla konstruuje jako vzduchová brzdová soustava doplněna systémem tzv. dlouhodobých brzd. Tyto systémy využívají jiné postupy přeměny mechanické energie na teplo, než je tření. Např. tlakový odpor (motorová brzda), hydrodynamický odpor (retardér), elektromagnetický odpor. Více viz. [1]. Vzduchová brzdová soustava se skládá z kompresoru (zdroj tlakového vzduchu i pro jiné systémy, např. regulace tlaku v pneumatikách), tlakové nádoby, a vlastní brzdové soustavy. Ta v tomto případě zahrnuje celou řadu jisticích, provozních a jiných prvků. Kompresor dodává tlakový vzduch do systému s přetlakovou nádobou, zde je vzduch upraven (odvodněn, atd.) a dále distribuován do brzdových větví. Specifické je připojení přívěsu, nebo návěsu tzv. dvouhadicovou soustavou. Jedna větev zajišťuje nepřetržitou dodávku stlačeného vzduchu do tlakové nádoby přípojného vozidla, druhá větev je větev ovládací a slouží k regulaci brzdného účinku.

V současnosti je ve velké míře využíváno elektronických systémů pro regulaci brzdného účinku na vozidle. Typickými jsou systémy **ABS a ASR**. Tyto systémy se snaží zabránit zablokování kol na kluzké vozovce a tím ztráty směrové stability. Systém ABS využívá snímače otáček kola k regulaci brzdného tlaku pomocí řídicí jednotky a elektromagnetických ventilů. V případě zablokování kola, vydá jednotka pokyn ke snížení brzdného tlaku, kolo se uvolní a je opět brzděno, toto se děje několikrát za sekundu a tím je zajištěna ovladatelnost vozidla i při brzdění na mokré vozovce. Systém ASR je využíván k regulaci točivého momentu přenášeného na vozovku při akceleraci. Jestliže je moment přenášený kolem na vozovku příliš vysoký a součinitel adheze příliš malý dojde k tzv. prokluzu kola. Hrozí nebezpečí ztráty ovladatelnosti, nadměrné opotřebení pneumatik a hnacího ústrojí vozidla, atd.[1], [2]



Obr. 12 Schéma protiblokovacího zařízení – 1 snímač otáček, 2 řídicí jednotka,

3 regulační ventil, 4 zdroj energie [1]



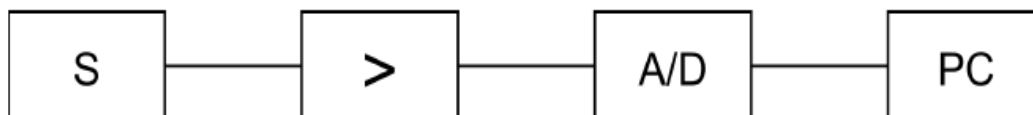
1.2 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

V první části bylo uvedeno, jak funguje podvozek vozidla, z čeho se skládá a jaké jsou požadované vlastnosti jeho částí. Tato část práce se zaměří na to, jakým způsobem a jaké veličiny mohou být na podvozku měřeny.

Dále by nemělo být opomenuto, že snímače se nepoužívají jen externě, při vývoji, nebo testování vozidla, ale také jsou v čím dál větší míře osazovány do vozidla výrobcem, kde plní funkci sběru dat pro řídicí jednotku vozidla. Řídicí jednotka poté tyto data vyhodnotí a uzpůsobí nastavení tak, aby byla maximalizována bezpečnost, komfort posádky a minimalizována spotřeba a množství výfukových plynů vypouštěných do atmosféry. Důležité je podotknout, že tyto systémy měly dominantní postavení především při řízení chodu motoru, v současnosti však začínají hrát výraznou roli, i co se týče podvozku vozidla.

Velmi progresivním odvětvím využívání snímačů je také motorsport. Dnešní vrcholné závody by bez cíleného a propracovaného systému sběru a vyhodnocování dat nemohly fungovat.

Abychom mohli provádět měření, potřebujeme tzv. měřicí systém. Ten se skládá ze **snímače, zesilovače, A/D převodníku a záznamového zařízení (PC)**.



Obr. 13 Měřicí řetězec- snímač, zesilovač, A/D převodník, PC [3]

Snímač převádí měřenou veličinu na některou zaznamatelnou (převážně elektrickou) veličinu. Jelikož tato elektrická veličina je zpravidla velmi málo znatelná a mohla by být zaměněna s šumem, vyvolaným okolními vlivy následuje zesilovač, který zvětšuje amplitudu a transformuje fázi. Využívá k tomu zejména principu tranzistorových zesilovačů. A/D převodník digitalizuje data pomocí dané vzorkovací frekvence. Spojitá veličina je nadělena stejně velkými časovými úseky a v každém úseku je odečtena konkrétní hodnota. Tyto diskrétní hodnoty je možné zpracovávat na číslicových strojích a mohou být tedy dále vyhodnocovány na PC. PC data zaznamenává do určitého formátu a reprodukuje uživateli. [3]

1.2.1 ZÁKLADNÍ TYPY SNÍMAČŮ ROZDĚLENÉ PODLE PRINCIPU

Nejdříve bude uvedeno něco k základnímu rozdělení snímačů neboli senzorů. Snímače lze dělit podle mnoha kritérií, v této části budou děleny podle jejich fyzikálního principu a druhu snímané veličiny.

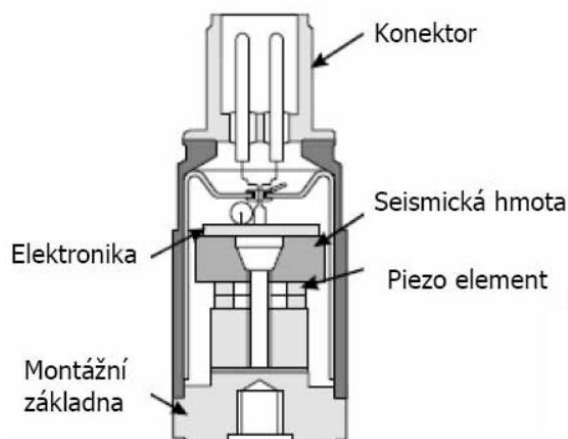
a) Piezokrystalický snímač

Primární elektrická veličina je náboj, tomu odpovídá mechanická veličina zrychlení. Snímač je kontaktní a aktivní, nepotřebuje tedy napájení. Využívá tzv. Piezoelektrického jevu (mechanické namáhání krystalu vyvolává na plochách krystalu elektrické náboje. Piezoelektrické vlastnosti mají látky tvořící krystaly, které nemají střed souměrnosti např.



křemen, sfalerit, atd. Existuje i inverzní piezoelektrický jev, který vede k protažení nebo zkrácení krystalu díky elektrickému napětí). [6], [7], [3]

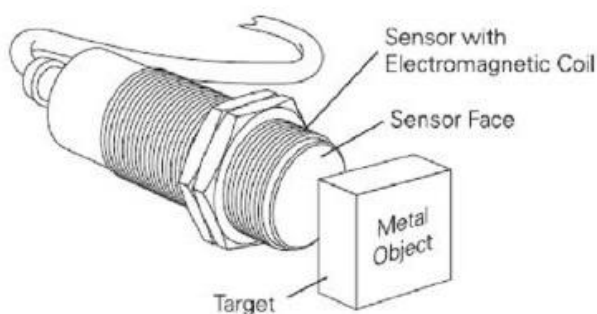
Piezokrystalický snímač je možné využít k měření zrychlení a rychlosti, vyznačuje se vysokou přesností, ale malým rozsahem měřených hodnot. [19],[20]



Obr. 14 Konstrukce piezokrystalického snímače [19]

b) Induktanční snímač

Primární elektrická veličina je napětí, tomu odpovídá mechanická veličina posuv. Snímač je bezkontaktní a pasivní (je nutné jeho napájení). Pracuje na principu vířivých proudů, z tohoto důvodu musí být plocha proti snímači magnetická. Vířivé proudy vznikají ve vodiči pohybujícím se v magnetickém poli a snaží se zabránit změně, která je vyvolala. Díky tomu, že je snímač bezkontaktní, je často využíván v aplikacích, které vyžadují snímání dané veličiny na dálku (přes překážku). Velmi často také slouží k detekci kovů. [21], [3]



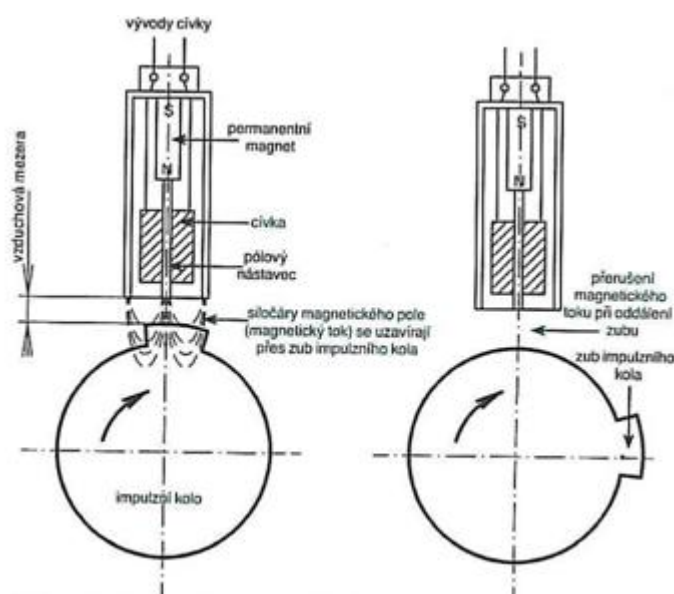
Obr. 15 Induktanční snímač [22]



c) Indukční snímač

Primární elektrická veličina je magnetická indukce, tomu odpovídá mechanická veličina rychlost. Snímač je kontaktní a aktivní. Pracuje na principu magnetické indukce, pohybem jádra v cívce se indukuje proud. [3]

V praxi nejčastěji využívané konstrukční řešení spočívá v tom, že snímač vytváří pomocí cívky magnetické pole. Siločáry tohoto pole se uzavírají přes feromagnetický zub, popřípadě výstupek rotujícího disku. Tím je měřena rychlost rotace tohoto disku. Princip popisuje obr. 16. Tento jednoduchý princip je využíván při měření otáček jednotlivých kol, hřídelů, atd. [23]

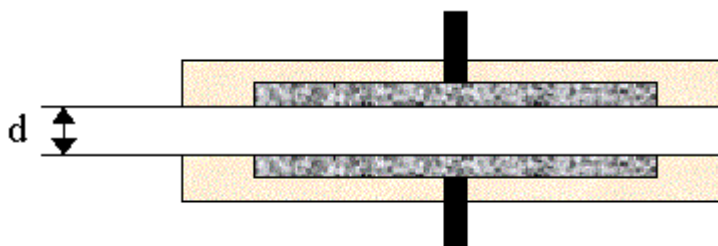


Obr. 16 Princip činnosti indukčního snímače rychlosti [23]

d) Kapacitní snímač

Primární elektrická veličina je kapacita, tomu odpovídá mechanická veličina posuv (vzdálenost). Snímač je kontaktní a pasivní. Pracuje na principu deskového kondenzátoru, z tohoto důvodu je velmi citlivý. [3]

Velkou výhodou těchto jímačů je funkčnost i pro nemagnetické materiály. Na druhou stranu je tento typ snímače velmi citlivý, a proto se v praxi moc nevyužívá pro měření posuvu, ale pro měření vibrací, kde jeho citlivost není na škodu. [24]



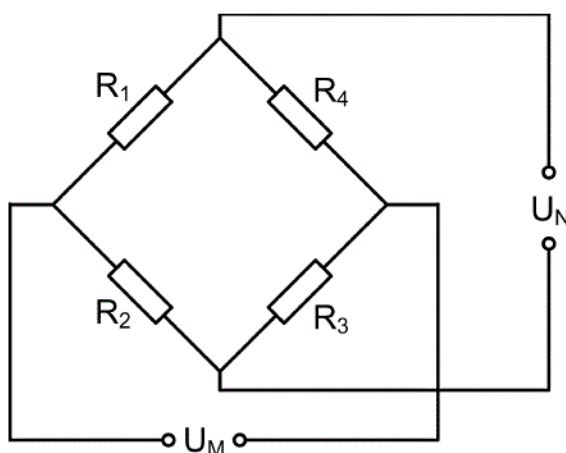
Obr. 17 Princip činnosti kapacitního snímače [24]



e) Tenzometrický snímač

Primární elektrická veličina je odpor, tomu odpovídá mechanická veličina přetvoření. Snímač je kontaktní a pasivní. Pracuje na principu změny odporu drátku při mechanickém působení. [3]

Jedná se o v současnosti nejvyužívanější snímač pro měření napětí, potažmo sil. Protože měřené přetvoření je zpravidla velmi malé, je malá i změna odporu. Proto se k měření využívá tzv. Wheatsonův můstek, viz. Obr. 18. Velkou nevýhodou těchto sensorů je složitá instalace a z toho vyplývající cena. [3], [19]



Obr. 18 Wheatsonův můstek [3]

f) Laserový snímač

Primární elektrická veličina je napětí, tomu odpovídá mechanická veličina posuv (vzdálenost). Snímač je bezkontaktní a pasivní. Pracuje na principu odrazu laserového paprsku.

Laserovým snímačem lze měřit vzdálenost, ale i rychlost a zrychlení, při využití principu Dopplerova jevu (změna vlnové délky paprsku). V případě vzdálenosti je sledována doba, za jakou se vyslaný paprsek vrátí do snímače, a tento časový údaj je poté zpracován. Nevýhodou je, že měřený objekt musí odrážet laserový paprsek. [25]



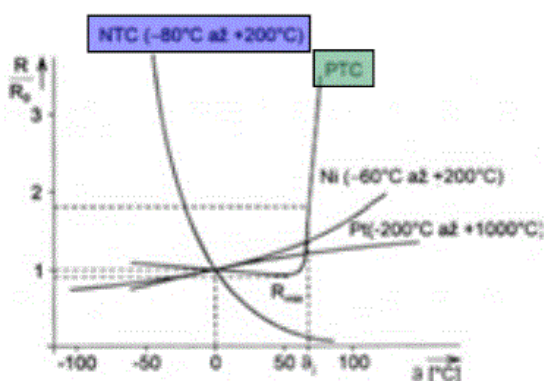
Obr. 19 Laserový snímač HL-G1 [25]



g) Teplotní snímač

Primární elektrická veličina je odpor, tomu odpovídá veličina teplota. Snímač je kontaktní a pasivní. Pracuje na principu změny odporu v závislosti na teplotě.

Teplotní snímače pracují na mnoha principech (dilatační, optické, polovodičové, termočlánky), nejvyužívanější typ je však snímač odporový. Nejčastěji se jedná o polovodičovou součástku vyznačující se nízkou cenou a poměrně velkým rozsahem měřených hodnot. Problémem je zpracování a převedení naměřených hodnot na teplotu, jelikož závislosti nejsou lineární. [19]



Obr. 20 Závislost změny odporu na teplotě, NTC termistor, PTC termistor [19]

h) Akustický (ultrazvukový) snímač

Primární elektrická veličina je napětí, tomu odpovídá mechanická veličina posuv (vzdálenost). Snímač je bezkontaktní a aktivní. Využívá principu odrazu zvuku, vyslání zvukového signálu, odraz a jeho následná detekce.

Ultrazvukový snímač využívá vysokofrekvenční zvuk mimo pásmo slyšitelnosti člověka. Výhodou je možnost užití v prašném prostředí a pro různé povrchy zkoumaného předmětu (např. kapalina). Nevýhodou změna rychlosti zvuku v závislosti na teplotě, tato změna se často softwarově počítává. [26]



Obr. 21 Ultrazvukový snímač firmy Pepperl+Fuchs [26]



i) Mikrovlnný snímač

Primární elektrická veličina je napětí, tomu odpovídá mechanická veličina posuv (vzdálenost). Snímač je bezkontaktní a aktivní. Využívá stejného principu jako akustický snímač, pracuje ovšem s mikrovlnným zářením namísto zvukových vln.

Jedná se v podstatě o radar. Elektromagnetické záření je vysláno a po odrazu detekováno snímačem. Opět může být využito Dopplerova jevu k měření rychlosti a zrychlení. Mikrovlnné snímače jsou poměrně levné a umožňují prostorovou detekci.



Obr. 22 Mikrovlnný snímač Kistler [27]

1.2.2 TABULKA TYPŮ SNÍMAČŮ ROZDĚLENÝCH PODLE MĚŘENÉ VELIČINY

Druh měřené veličiny	Senzor	Klady	Zápory	Příklady použití
Poloha	GPS	cena	nízká přesnost	zemědělská technika
	GPS/inerciální	velmi přesné, umožňuje měřit zrychlení	cena	přesné měření dynamiky vozidel
Vzdálenost	induktanční	prašné prostředí	nutnost protilehlé plochy z magnetického materiálu	detekce kovů
	potenciometrický	cena	přesnost	různé
	kapacitní	vhodné k měření vibrací	příliš velká citlivost	měření vibrací
	akustický	prašné prostředí, různý povrch	rychlost zvuku není konstantní	různé
	mikrovlnný	prostorová detekce	nutnost zajištění odrazivosti	bezpečnostní systémy
	laserový	vysoká rozlišovací schopnost	nutnost odrazivosti	různé
Rychlost	indukční	prašné prostředí	nutnost protilehlé plochy z vodivého materiálu	měření průtoku
	mikrovlnný	nízká cena	nutnost zajištění odrazivosti	měření rychlosti vozidla
	laserový	miniaturní rozměry	nutnost odrazivosti	různé



Zrychlení	piezokrystalický	možnost tříosého měření	velká teplotní závislost	měření zrychlení vozidla
	tenzometrický	přetížitelnost	pouze statické zrychlení	měření zrychlení vozidla
	mikrovlnný	nízká cena	nutnost zajištění odrazivosti	různé
	laserový	miniaturní rozměry	nutnost odrazivosti	různé
	kapacitní	cena, široká možnost využití	velká teplotní závislost	různé
Otáčky	indukční	prašné prostředí	nutnost impulzního kola	měření otáček kola
	optický	cena	nutnost impulzního kola	měření otáček hřídelů
Síla	tenzometrický	zaznamenává tahové i tlakové síly	složitá instalace	měření sil působících na podvozek
	piezokrystalický	malé rozměry	nutnost speciální elektroniky,	měření sil působících na podvozek
Moment	tenzometrický	velká tuhost	nutnost bezkontaktního přenosu	měření momentu hřídelů
	piezokrystalický	přetížitelnost	nutnost bezkontaktního přenosu	měření momentu hřídelů
Teplota	dilatační	cena	malá citlivost	různé
	odporový	velký teplotní rozsah	nelineární závislost	měření teploty chladicí kapaliny
	optický	měření na dálku	cena	měření emisního spektra
	termoelektrický	jednoduchá konstrukce	nutnost konstantní teploty srovnávacího spoje	měření vysokých teplot
Tlak	tenzometrický	velké množství výrobců	složitá instalace	měření tlaku vstřikovacího systému
	piezokrystalický	přetížitelnost	nutnost speciální elektroniky	měření tlaku pneumatik

Tab. 1 Typy snímačů rozdělené podle měřící veličiny [31]

1.2.3 ROZDĚLENÍ SNÍMAČŮ PODLE TYPU

K základnímu měření dynamiky podvozku vozidla jsou potřeba především snímače polohy, rychlosti a zrychlení umístěné ve vozidle a měřící celkové hodnoty vozidla jako celku. Dále snímače umístěné přímo na některé části podvozku, nejčastěji kolo, nebo zavěšení kola a v neposlední řadě snímače motoru, ovládacích prvků atd. Proto bude nyní konkrétněji rozebráno několik základních druhů těchto snímačů.



a) Snímače celkových dynamických charakteristik vozidla

Tyto snímače bývají nejčastěji umístěny blízko těžiště vozidla. Jedná se především o GPS modul zaznamenávající polohu pomocí globálního navigačního systému. Z dat získaných tímto modulem počítačová jednotka dopočítává aktuální dynamické veličiny (poloha, rychlost, zrychlení, úhlové veličiny). Dále se také používají snímače zrychlení, pracující na různých principech, např. piezokrystalické, vibrační, kapacitní, nebo servo snímače. Tyto snímače zaznamenávají dynamické zrychlení ve třech na sebe kolmých osách a stáčecí momenty kolem těchto os.

b) Snímače dynamických charakteristik podvozku

Existují dvě rozdílné metody zaznamenávání dynamických charakteristik podvozku. Buďto jsou snímače seskupeny do tzv. kolových jednotek a implementovány přímo do disku kola na měřeném vozidle, nebo jsou snímače umístěny na konkrétních místech podvozku vybraných pro posuzování dané problematiky. Nejčastěji jsou opět posuzovány základní kinematické veličiny, jako je poloha, rychlost, zrychlení jednotlivých částí a především také síly a momenty působící na tyto části. Využíváme tedy především snímače tenzometrické, optické, piezokrystalické a potenciometry.

c) Snímače charakteristik motoru, ovládacích prvků a dalších veličin

Většina moderních aut pracuje s obrovským množstvím senzorů dodaných do vozidla již výrobcem, tyto senzory slouží, jak už bylo uvedeno výše, ke sběru dat pro řídicí jednotku. Bylo by tedy vhodné tyto data využít při měření. Stačí nám tedy propojit řídicí jednotku vozidla s měřicím systémem. Jestliže potřebujeme měřit některé jiné veličiny, musíme použít externí senzory a jejich signály zavést do sběrné stanice. Co se týče měření dynamických vlastností podvozku vozidla připadají v úvahu především veličiny popisující stav ovládacích prvků (volant, pedály), stav motoru (otáčky, spotřeba) a stav brzdné soustavy (tlak, funkce asistenčních systémů).

1.2.4 PŘÍKLAD REALIZOVANÝCH ŘEŠENÍ MĚŘÍCÍCH JEDNOTEK

V současnosti se měření většinou neprovádí seskupením různých snímačů a sběrem jednotlivých dat nezávisle na sobě, ale je realizováno pomocí ucelených měřicích systémů, které jsou osazeny na testovacím vozidle. Pro měření daného problému jsou pak vybrána pouze relevantní data. Tyto systémy jsou specifické pro daného výrobce. Výhodou je, že výrobce poskytuje kompletní sortiment služeb, včetně zaškolení, softwaru, atd. a také je zaručena kompatibilita jednotlivých částí měřicího řetězce. Při realizaci vlastních měření je tedy výhodné využít výrobcem dodávaný dílčí měřicí systém, než se pokoušet sestavit z nesourodých částí systém vlastní.



Mezi nejvýznamnější výrobce měřících systémů pro měření dynamiky vozidel se řadí firmy:

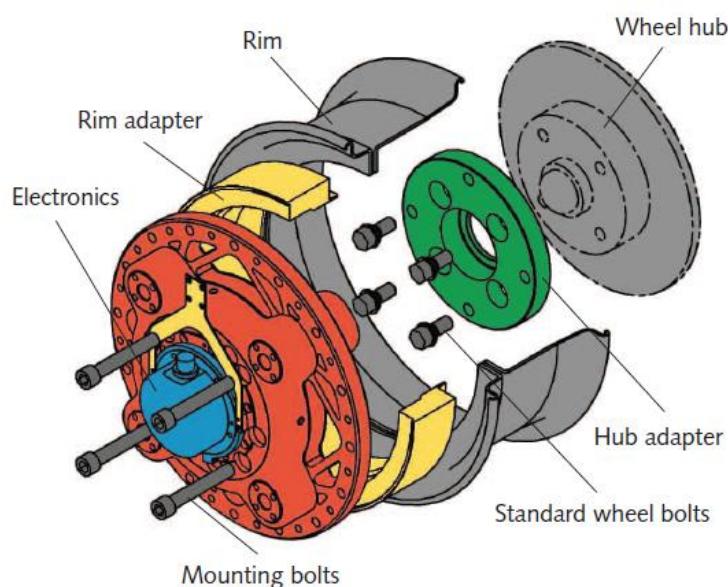
Kistler, [12]

Dewetron, [13]

Datron Technology, [14]

Nyní budou uvedena možná technická řešení pro záznam jednotlivých veličin, jak je nabízí firma Kistler.

Pro měření silového a momentového působení na kolo může být využit tzv. RoaDyn system, tj. kompletní kolo s nábojem osazené tenzometry a akcelerometry. V případě osazení dalšími typy snímačů mohou být měřeny vlastnosti pneumatik, jako například valivý odpor, vibrace, hluk, atd.



Obr. 23 Schéma měřícího kola RoaDyn Kistler [29]

System RoaDyn je v současnosti velmi využíván a podobné systémy měřících kol nabízí i konkurenční firmy. Měřící kolo plně nahrazuje standardní kolo při měření podélné a příčné dynamiky vozidla. Je schopno měřit síly a momenty ve třech osách, kroučící moment na hřídeli a další veličiny. Měření silových veličin provádějí tenzometrické snímače. K měření jiných veličin může být kolo osazeno dalšími typy snímačů. Tato kola jsou v současnosti velmi využívána k optimalizaci a nastavení pomocných systémů vozidla pro kontrolu trakce a stability, nebo k měření vlastností pneumatik. Přenos dat z kola do sběrné stanice je zpravidla realizován telemetricky, tj. bezkontaktně bezdrátovým přenosem, nebo kroužkovým systémem. [8]



Obr. 24 Měřící kolo RoaDyn v kombinaci s optickým senzorem Correvit® [8]

K zaznamenání polohy, pohybu a orientace jednotlivých kol jsou využívány pětiosé kolové vektorové senzory RV-4. Jsou vhodné pro měření deformace pneumatik, změny úhlu sklonu při zatáčení, změny postavení kol při brzdění a akceleraci, atd. Výhodou je snadná montáž a možnost použití i ve špatných povětrnostních podmínkách. [30]



Obr. 25 Kolový vektorový senzor RV-4 [30]

Dále jsou potřeba často měřit zrychlení, rychlosti, vzdálenosti a úhly. K tomu firma Kistler využívá optické snímače Correvit®, v případě, že optické snímače nelze z nějakého důvodu použít nabízí rovněž snímače mikrovlnné.

Optické snímače Correvit® jsou víceúčelová měřící zařízení pracující na principu bezkontaktního optického snímače využívaná pro měření příčné a podélné dynamiky vozidla. Jsou schopny měřit vzdálenost, rychlost, úhly, atd. Ke měření dvojrozměrné dynamiky vozidla je používán propracovaný systém optiky a elektroniky. Dvojice světelných paprsků je



vyslána na povrch (vozovka), po odrazu jsou tyto paprsky pomocí čočky směřovány na mřížku, kde jsou vyhodnocovány optickým senzorem. V případě pohybu senzoru nebo vozovky je rozpoznán pohyb světelných bodů na mřížce. Snímače dosahují velmi vysoké měřicí přesnosti (0,1%) a jsou schopné pracovat v extrémních podmínkách. Úpnutí k vozidlu je zpravidla realizováno pomocí konzole připevněné (magneticky, podtlakem) na karoserii vozidla. Důležité je dodržení pracovní vzdálenosti od měřeného povrchu (nejčastěji do 400 mm). [28]



Obr. 26 Optický snímač Correvit® [28]

Pro záznam veličin spojených s ovládáním vozidla (např. moment, úhel natočení volantu, síly na pedály, atd.) využívá různé mechanické senzory pracující nejčastěji na principu optických, piezoelektrických a tenzometrických snímačů.

Pro určení přesné polohy vozidla využívá, stejně jako konkurenční systémy, GPS modul (více informací o GPS modulu (příklad GPS/inerciálním RT stanice) viz. Kapitola 2.2).

Všechna nasbíraná data se musí také někde zpracovat, unifikovat a shromažďovat, aby je bylo možné dále vyhodnocovat. K tomu slouží sběrné jednotky pracující s jakýmkoliv digitálním, nebo analogovým signálem. (více informací o sběrné stanici (příklad Imc CRONOSflex) viz. Kapitola 2.2).

Samozřejmostí je také software pro nastavení snímačů, sběr a vyhodnocení naměřených dat. V případě firmy Kistler je to software KiCenter, který slouží ke kalibraci a konfiguraci snímačů. [8]

1.2.5 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Zpracování naměřených dat provádíme výhradně pomocí softwaru. Jelikož se jedná ve většině případů o velké množství informací, může být jejich zpracovávání hardwarově náročné. Na druhou stranu jsou dnešní počítače natolik výkonné, že pro běžná měření postačí na zpracování naměřených dat běžný přenosný počítač.

Data jsou zaznamenána ve formě digitální, nebo analogové. Analogová data musíme nejprve pomocí tzv. A/D převodníku převést na data digitální. Tyto data jsou zapsána vzorkovací frekvencí. To znamená, že zaznamenáváme po určitých časových okamžicích pouze diskrétní hodnoty. Z toho plyne, že se nechovají jako spojité veličiny a musíme k nim tedy přistupovat statisticky.



Více informací o statistickém zpracování dat viz [15], [16]

Důležité je si uvědomit, že naměřená data mohou sloužit jako vstupy do čistě matematických simulací chování vozidel, nebo jiných forem simulace. Na druhé straně také jako vstupy pro posuzování chování vozidla během dopravní nehody, atd. Díky tomu má v poslední době měření a zpracování dat obrovskou důležitost ve věcech týkajících se automobilního průmyslu.



2 PRAKTICKÁ ČÁST - EXPERIMENT

Pro demonstraci užitečnosti a důležitosti měření charakteristik podvozku byl proveden experiment, při kterém bylo pomocí senzorů a měřicího systému kvantitativně rozlišeno chování vozidla během brzdné zkoušky.

2.1 POPIS EXPERIMENTU

Byla provedena dvě měření. Jedno za asistence brzdového systému ABS, druhé bez něho. Při prvním měření bude vozidlo na suché trati rozjeto na rychlost 50 km/h a poté zastaveno prudkým sešlápnutím brzdového pedálu. V této situaci by měl systém ABS aktivně zasáhnout do brzdného procesu. Pomocí měřicího systému (popis viz. kapitola 2.2) budou zaznamenána data, ze kterých budou následně vybrána ta relevantní a ty budou zhodnoceny. Druhé měření bude provedeno naprosto stejně, s tím rozdílem, že systém ABS bude nyní vypnut. Toho bude docíleno odpojením senzoru natočení na pravém zadním kole. Data budou opět zaznamenána měřicím systémem. Takto získaná data mohou být srovnávána a dále vyhodnocována.



Obr.27 Snímač natočení pravého zadního kola systému ABS

Dále bude podrobněji uvedeno, jakým způsobem systém ABS funguje.

Úkolem ABS je zaručit ovladatelnost vozidla i při prudkém brzdění. Automobil se zablokovánými koly je neovladatelný, ať už na kluzkém povrchu nebo běžném asfaltu. Systém ABS zabraňuje zablokování kol pomocí regulace brzdného tlaku v okruzích pro jednotlivá kola. Tím umožňuje řidiči vyhnout se překážce.

Systém ABS se skládá ze tří hlavních součástí:

- elektronická řídicí jednotka
- snímače otáček kol
- hydraulický agregát

Elektronická řídicí jednotka neustále porovnává údaje ze snímačů sledujících otáčky jednotlivých kol. Pokud zjistí prudké zpomalení sledovaného kola, vydá hydraulickému agregátu příkaz ke krátkodobému snížení tlaku. Tím se obnoví jeho odvalování.



Signál snímače se opět změní a řídicí jednotka rozpozná, že kolo se již odblokovalo. Může tedy znovu přenášet brzdou sílu a snímač vydá pokyn k jeho přibrzdění. Takových cyklů může proběhnout až 16 za sekundu. [4], [5]

2.2 MĚŘÍCÍ SYSTÉM

V současnosti je Ústav automobilního a dopravního inženýrství vybaven několika měřicími systémy, z nichž pro měření byl využit systém vybavený hlavní sběrnou stanicí imc CRONOSflex od německého výrobce imc Meßsysteme GmbH. Tímto systémem je osazen testovací vůz Škoda Octavia třetí generace.

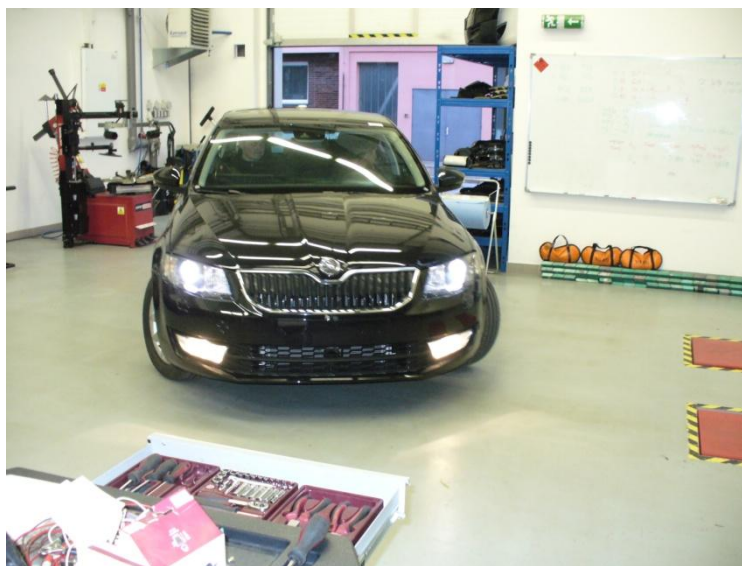
K analýze chování vozidla byla využita data celkových dynamických veličin (poloha, rychlost, zrychlení), data z brzdného okruhu (především tlak v brzdném válci) a data snímaná na jednotlivých kolech (rychlost na kole). Pro sběr těchto relevantních dat byly využity čtyři celky snímacích zařízení. Sensory příčného, podélného a svislého zrychlení, které jsou osazeny v inerciální stanici Mbox. Dále GPS/inerciální modul RT pro přesné zaznamenání polohy, rychlosti a zrychlení. Za třetí, snímač brzdného tlaku a jako poslední snímače natočení jednotlivých kol. Tyto dva signály (brzdný tlak, natočení kol) jsou odečítány z řídicí jednotky vozidla, potažmo z řídicí jednotky ABS. Signály ze sensorů jsou zpracovány v hlavní sběrné stanici CRONOSflex a následně přeneseny do záznamového média, v našem případě notebook, kde mohou být uloženy, zpracovány a vyhodnoceny.



Obr. 28 Notebook zaznamenávající hodnoty během experimentu



Technické parametry testovacího vozidla: Škoda Octavia III. generace, motorizace 1,4/103kW TSI, 6st. manuál, hmotnost bez osob - cca 1240kg.



Obr. 29 Testovací vozidlo Škoda Octavia III

Technické parametry sběrné stanice CRONOSflex

Imc CRONOSflex je modulární, kompaktní měřicí zařízení pro měření fyzikálních veličin. Tento systém umožňuje jak sběr dat pomocí různých senzorů a následné zpracování v PC, tak rozsáhlé možnosti zpracování dat v reálném čase. Modulárnost zajišťuje výraznou míru flexibility při provádění měření. Se signálovým rozsahem až 48 kHz a vysokou vzorkovací frekvencí Imc CRONOSflex pokrývá rozsah téměř všech fyzikálních, mechanických a elektromagnetických veličin.

Napájení: 10V-32V DC, 100V-240V AC

(více viz. Datasheet produktu), [17]



Obr. 30 Sběrná stanice Imc CRONOSflex



Technické parametry GPS/inerciální RT stanice

Inerciální a GPS stanice RT slouží k velmi přesnému měření pohybu. Inerciální senzor, skládající se ze tří akcelerometrů a tří gyroskopů, v kombinaci s GPS modulem a matematickým modelem, kompenzujícím rotaci, zakřivení Země a Coriolisovu sílu, umožňuje velmi přesné měření, oproti klasickým GPS stanicím. RT disponuje velmi vysokou obnovovací frekvencí (100-250 Hz). Ke zpřesnění měření, může být použit dvouanténový systém (statická anténa, anténa na vozidle).

Výrobce: Oxford Technical Solutions Limited

Konektivita: RS232 serial port, Ethernet, UDP, CAN bus

Obnovovací frekvence: 100-250 Hz

Přesnost polohy (jedna anténa): až 10 cm

Přesnost polohy (dvě antény): až 2 cm

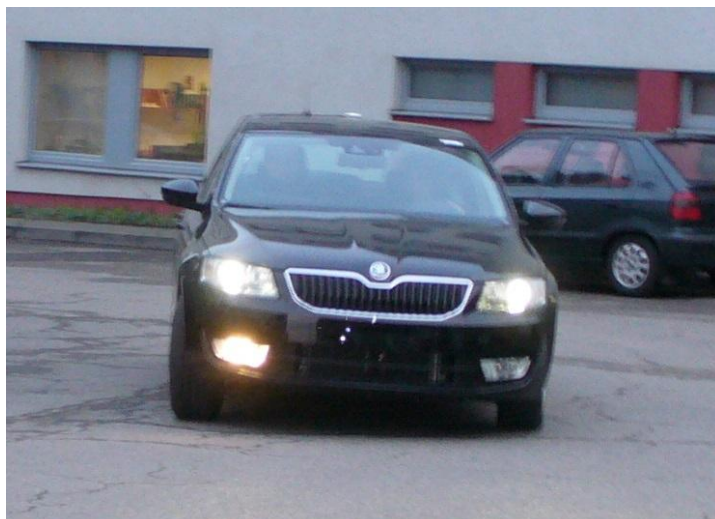
(více viz. Datasheet produktu), [18]



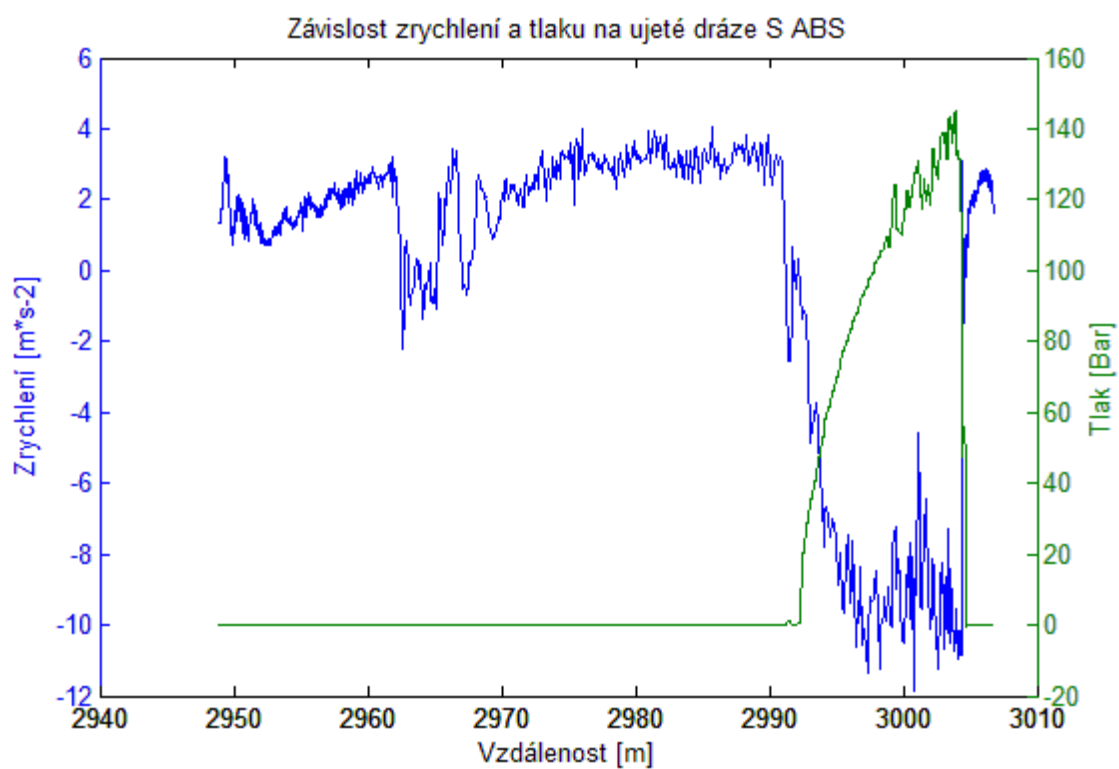
Obr. 31 Sběrná stanice Imc CRONOSflex

2.3 PRVNÍ MĚŘENÍ

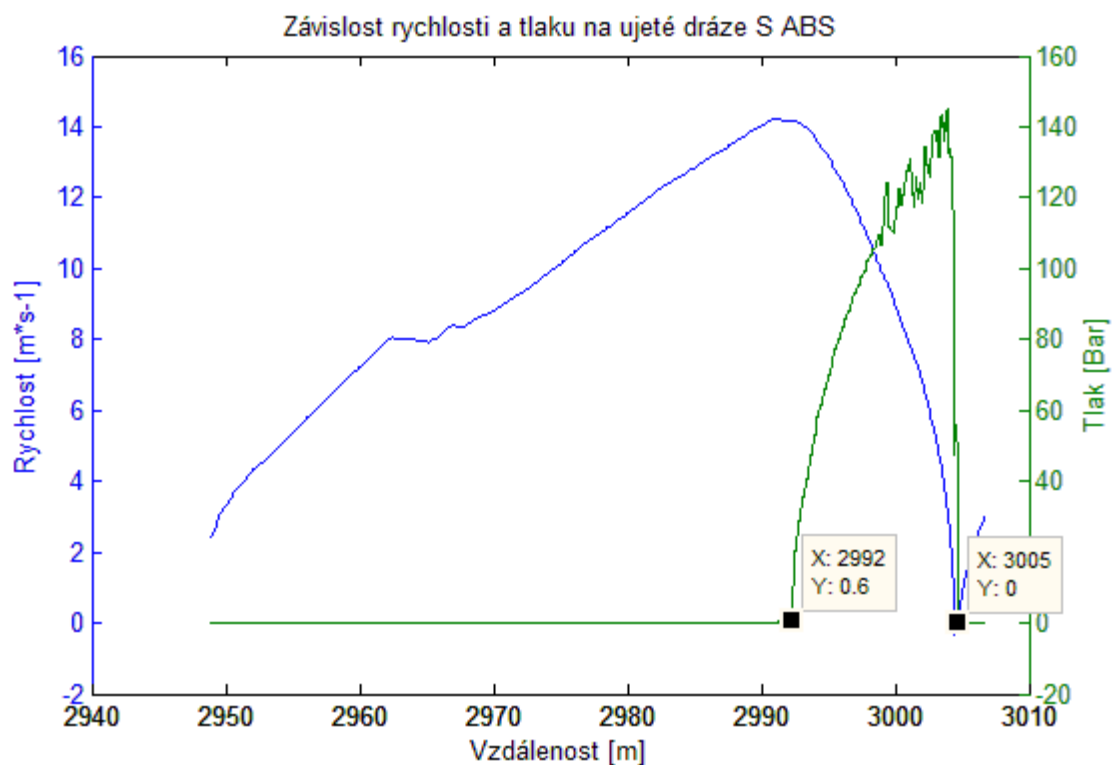
Jak již bylo zmíněno výše, první měření bylo realizováno za asistence systému ABS. Vozidlo bylo rozjeto na rychlost 50 km/h a prudkým sešlápnutím brzdového pedálu zastaveno. Byla provedena čtyři totožná měření z důvodu zamezení chybám a odchylkám. Data byla zpracována pomocí systému MATLAB a byly vytvořeny grafy závislostí zrychlení a tlaku na ujeté dráze, závislost celkové rychlosti vozidla a tlaku na ujeté dráze a nakonec závislost rychlosti levého předního kola a tlaku na ujeté dráze. Tyto charakteristiky byly vybrány, protože vystihují chování vozidla při brzděné zkoušce.



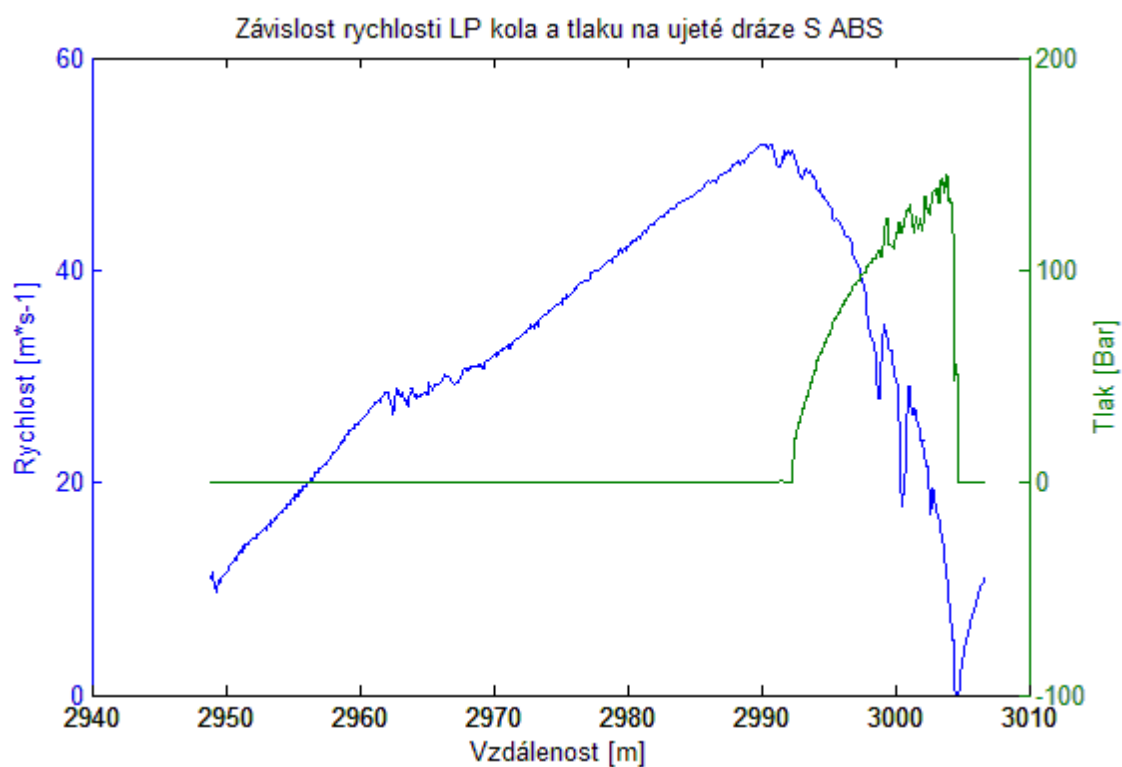
Obr. 32 První měření, jízda s ABS



Obr. 33 Závislost zrychlení a tlaku na ujeté dráze s ABS



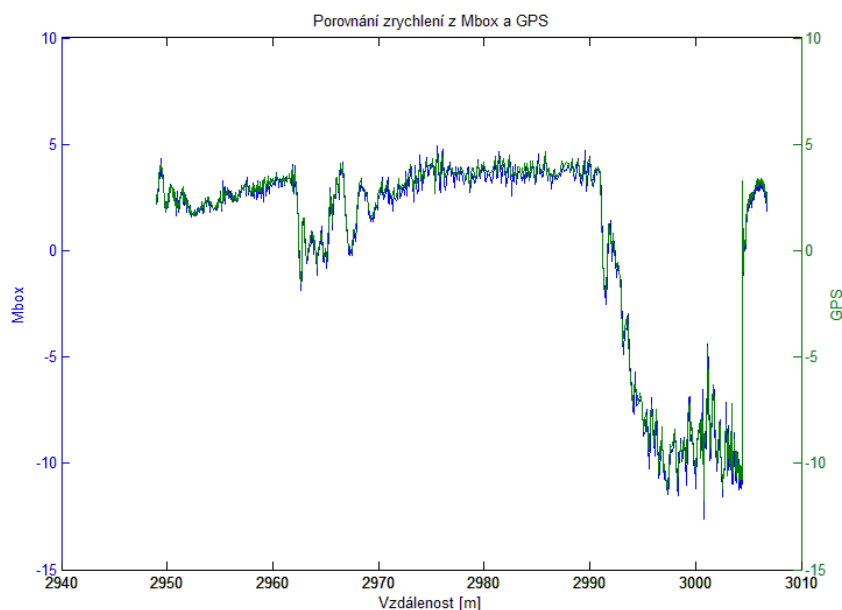
Obr. 34 Závislost rychlosti a tlaku na ujeté dráze s ABS



Obr. 35 Závislost rychlosti LP kola a tlaku na ujeté dráze s ABS



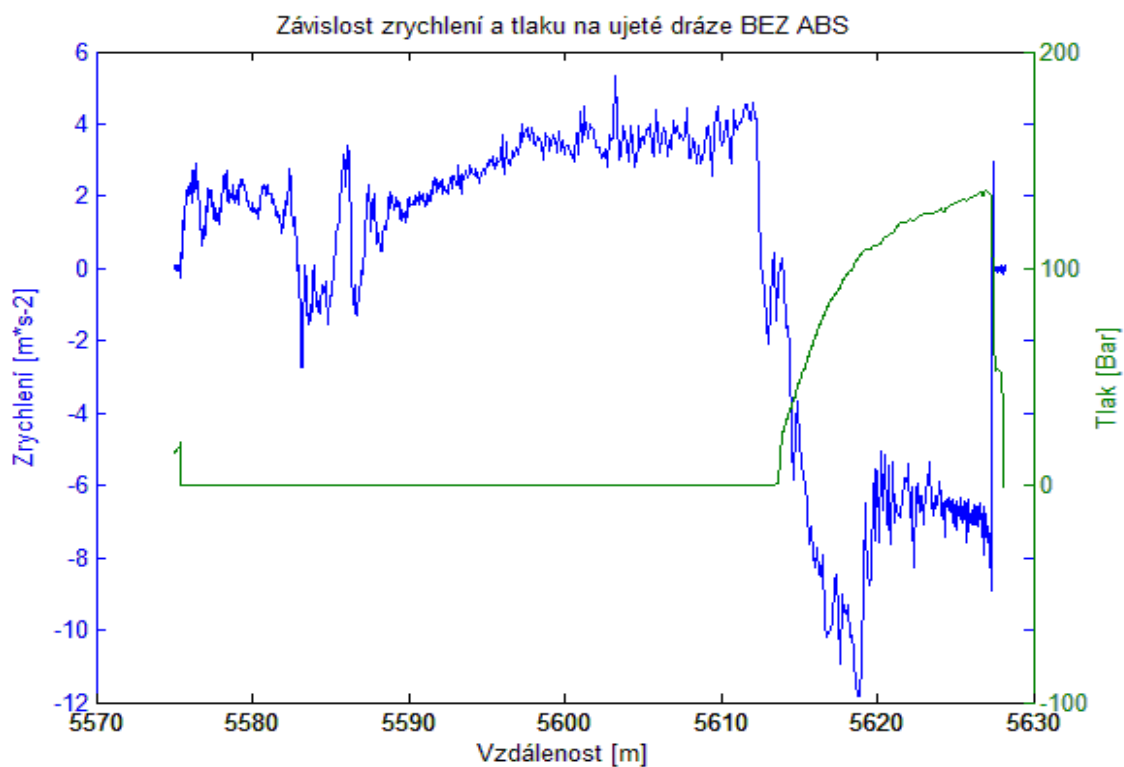
Dále bylo vykresleno srovnání zrychlení z Mbox a GPS.



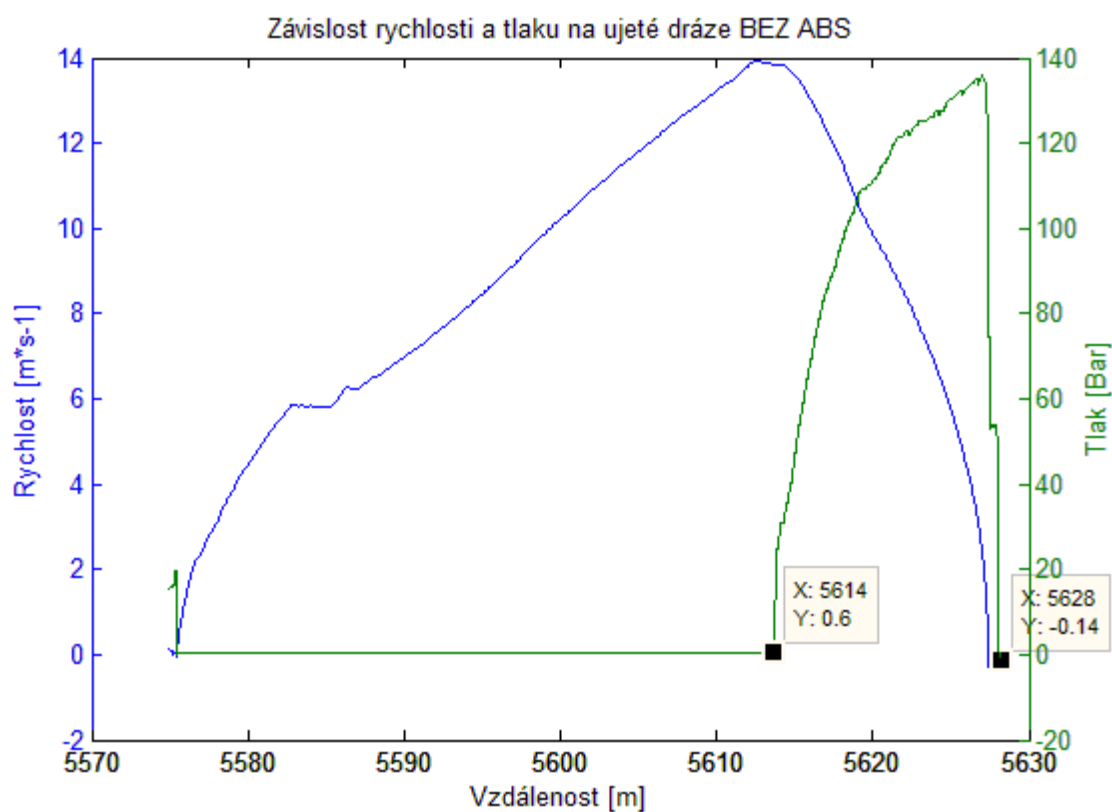
Obr. 36 Srovnání zrychlení z Mbox a GPS

2.4 DRUHÉ MĚŘENÍ

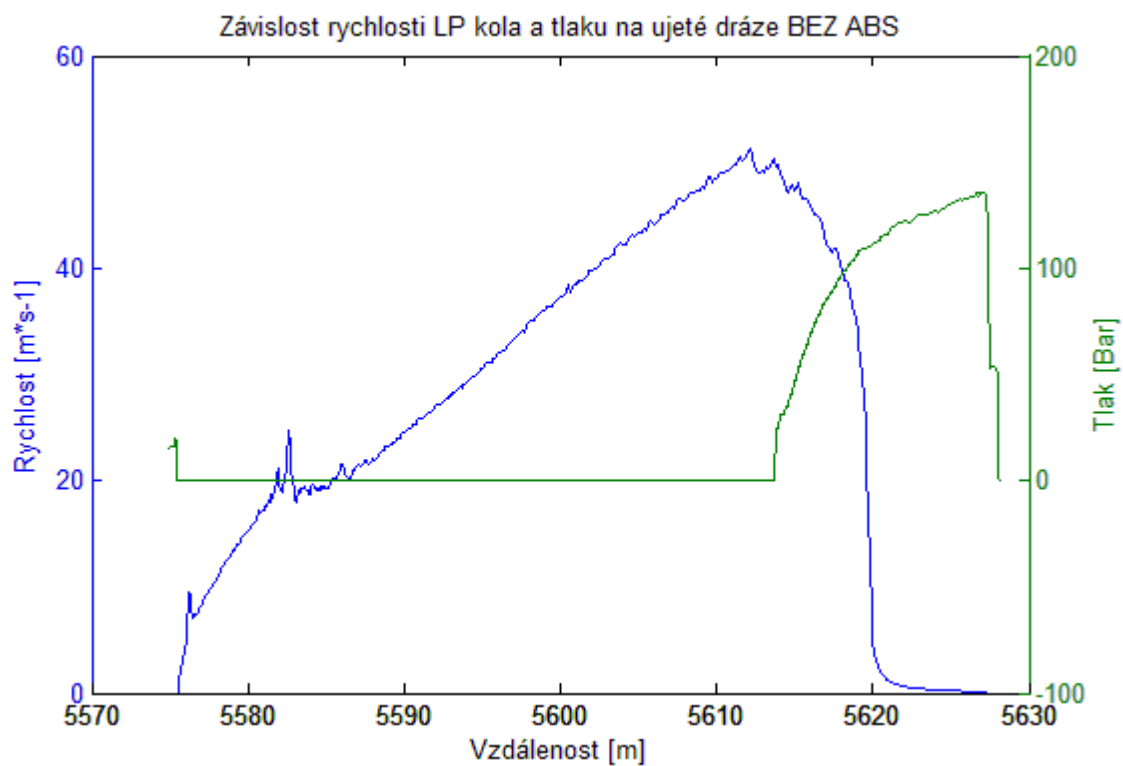
Druhé měření proběhlo za stejných podmínek a byly vybrány stejné sledované veličiny jako měření první. S tím rozdílem, že byl odpojen systém ABS.



Obr. 37 Závislost zrychlení a tlaku na ujeté dráze bez ABS



Obr. 38 Závislost rychlosti a tlaku na ujeté dráze bez ABS



Obr. 39 Závislost rychlosti LP kola a tlaku na ujeté dráze bez ABS



2.5 ZHODNOCENÍ A VYVOZENÍ DŮSLEDKŮ

Po porovnání grafů je vidět, že systém ABS má na chování vozidla poměrně značný vliv, tento vliv by byl ještě umocněn, pokud by měření probíhalo na mokré vozovce. Naměřené hodnoty byly přehledně zpracovány do tabulky a zhodnoceny.

	První měření (S ABS)	Druhé měření (BEZ ABS)
Brzdná dráha	13 metrů	14 metrů
Max tlak v brzdém okruhu	145 bar	135 bar
Nárůst tlaku	fluktuální	hladký
Průměrné zpomalení	10 m*s-1	7 m*s-1
Blokace kol	ne	ano
Počet zablokování kol	-	3
Ovladatelnost vozidla	dobrá	špatná
Chování kola	odval	smyk

Tab. 2 Zhodnocení výsledků experimentu

Srovnáním grafů zrychlení a brzdného tlaku je vidět, že při zapnutém systému ABS křivka tlaku začne kmitat přibližně při hodnotě 100 barů, zatímco bez ABS tlak od této hodnoty roste přibližně lineárně. Z toho vyplývá, že systém ABS účinně reguluje tlak v brzdém okruhu. Dále je zřejmé, že s vypnutým systémem ABS dosáhne maximální zpomalení hodnoty $-12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a poté se ustálí na hodnotě $-7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, zatímco s ABS má zrychlení víceméně konstantní hodnotu $-10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Z toho plyne, že po zablokování kola, není možné dostatečně zpomalovat (brzdít).

Při porovnání závislosti rychlosti a tlaku na ujeté vzdálenosti je pozorován nárůst brzdné dráhy se systémem ABS z 13 na 14 metrů bez ABS.

V grafu závislosti LP kola a tlaku na ujeté dráze s ABS jasně vidíme tři nespojitosti křivky rychlosti, v těchto částech zasáhl systém ABS. Skokově snížil tlak v brzdém okruhu, došlo k odblokování kola a nárůstu jeho rychlosti. Impulzy na křivce tlaku korespondují s výkyvy na křivce rychlosti. V grafu bez ABS žádné tyto impulzy nejsou zaznamenatelné, rychlost velmi strmě klesá, pravděpodobně došlo k zablokování kola. Toto zablokování kola může mít fatální vliv na ovladatelnost vozidla a tím i bezpečnost posádky. Při zablokování dochází ke smýkání kola, nikoli jeho odvalu. Vozidlo se tedy pohybuje ve směru zrychlení, nezávisle na natočení kol, řidič ztrácí kontrolu nad vozidlem a může dojít k havárii. Systém ABS zabezpečuje trvalý kontakt kola s vozovkou a jeho odval. Pomocí měření bylo prokázáno, že bez systému ABS není možné tohoto dosáhnout. ABS tím výrazně zvyšuje bezpečnost posádky vozidla.

Porovnáním zrychlení měřeného Mboxem a GPS stanicí je zřejmé, že grafy se téměř shodují, z toho vyplývá, jednak že měření odpovídá realitě, jelikož dva na sobě nezávislé systémy dávají stejné výsledky, jednak že tyto dvě stanice měří s přibližně stejnými odchylkami.



Měření by bylo vhodné opakovat na suché, vyhřáté vozovce a na extrémně mokré vozovce. Tím by bylo možné prokázat vliv ABS na řízení vozidla v extrémních podmínkách. Dále by bylo vhodné měřicí systém rozšířit o snímače zaznamenávající vlastnosti, teplotu a síly působící na kola a pneumatiky. Tím by bylo získáno větší povědomí o tom, co se děje s kolem a pneumatikou během brzdění. Tato data by také mohla sloužit jako vstupy při matematickém modelování daného problému.



ZÁVĚR

V této bakalářské práci byly zpracovány postupy a metody měření dynamických charakteristik podvozku vozidla.

První část byla věnována podvozku, jako takovému. Byly zde rozebrány jednotlivé části podvozku, jako je kolo s pneumatikou, zavěšení kola, odpružení, řídicí ústrojí a brzdová soustava. Každá část byla stručně popsána, byly nastíněny některé typické konstrukční řešení a k lepšímu pochopení byly využity schémata a obrázky.

Ve druhé části byly řešeny otázky: Jaká data měřit? Čím? Jak je vyhodnocovat? Bylo vytvořeno stručné rozdělení snímačů podle principu jejich funkce. Jednotlivé snímače byly popsány a doplněny obrázky. Dále byla vytvořena tabulka snímačů, rozdělených podle druhu snímané veličiny. Tato tabulka zobrazuje výhody a nevýhody jednotlivých druhů snímačů a může sloužit jako pomůcka při výběru snímače pro konkrétní měření. Další dělení snímačů podle typu se již vztahuje konkrétně k měření dynamiky podvozku vozidla. Následující část byla věnována především firmě Kistler a jejímu systému pro měření dynamiky vozidla, jakožto příklad možného technického řešení. Firma Kistler byla vybrána, protože jde o v současnosti jednu z nejvýznamnějších firem pracujících v této oblasti. Část věnovanou snímačům a měření uzavírá krátký úvod do zpracování naměřených dat.

Závěrečná, třetí část je část praktická, která popisuje a vyhodnocuje provedený experiment. Jakožto experiment, kterým by byla demonstrována užitečnost měření byla vybrána brzdná zkouška. Měření bylo provedeno za pomoci Ing. Petra Hejtmánka, Ph.D. na měřícím vozidle Ústavu automobilního a dopravního inženýrství. Byla vybrána data vhodná k posouzení účinku systému ABS na chování vozidla během brzdného manévru. V úvodu třetí části byl popsán měřící systém, stručně charakterizovány jednotlivé snímače a rozebrána podstata brzdné zkoušky a systému ABS. Podrobné hodnocení experimentu je provedeno v kapitole 2.5, zde bych chtěl proto uvést jen hlavní poznatky. Bylo prokázáno, že systém ABS má na chování vozidla při brzdné zkoušce výrazný vliv. Přestože bylo kolo systémem ABS odbrzdováno a zabrzdováno, brzdná dráha byla kratší, průměrné zpomalení bylo také výraznější. Důležité je především, že nebyla ztracena kontrola nad vozidlem a řidič mohl i při brzdění nadále ovládat vozidlo.

Doufám, že tato práce se stane vhodným úvodem do problematiky měření charakteristik podvozku vozidla.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] VLK, F. *Podvozky motorových vozidel*. Nakladatelství a vydavatelství VLK, První vydání, Brno, 2000. ISBN 80-238-5274-4
- [2] VLK, F. *Dynamika motorových vozidel*. Nakladatelství a vydavatelství VLK, První vydání, Brno, 2000. ISBN 80-238-5273-6
- [3] SLAŽANSKÝ, M. a L. Houfek. *Dynamika, přednášky* [dokument ve formátu PDF]. 2011. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.uloz.to/x7W3K8V/dynamika-houfek-pdf>
- [4] SAJDL, J. ABS (Anti-lock Braking System). *Autolexicon.net*. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/abs-anti-lock-braking-system/>
- [5] Protiblokovací brzdový systém – ABS. *ŠKODA-AUTO.COM*. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: [http://new.skoda-auto.com/cs/models/HotspotDetail?HotspotName=S01%20-%20ABS%20\[Citigo%2C%20Fabia%2C%20Roomster%2C%20Octavia%2C%20Octavia%20Tour%2C%20Yeti%2C%20Superb%2C%20Praktik\]%20&WebID=9ff1df7d-b67f-44e1-acbc-733dec7a00aa&Page=technology&view=TechnologySafety](http://new.skoda-auto.com/cs/models/HotspotDetail?HotspotName=S01%20-%20ABS%20[Citigo%2C%20Fabia%2C%20Roomster%2C%20Octavia%2C%20Octavia%20Tour%2C%20Yeti%2C%20Superb%2C%20Praktik]%20&WebID=9ff1df7d-b67f-44e1-acbc-733dec7a00aa&Page=technology&view=TechnologySafety)
- [6] Piezoelektrický jev. *Fyzmatik.píše*. [online]. 23.8.2008 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/573-piezoelektricky-jev.html>
- [7] Piezoelektrický jev. *Edutorium*. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74f8696e612061206d61676e657469736d7573h&key=28
- [8] Vehicle Dynamics & Durability. *KISTLER*. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.kistler.com/cz/en/applications/vehicledynamicsdurability/overview>
- [9] Řízení s posilovačem. *mechmes*. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-teo-11.04_rizeniautomobilu_posilovacerizeni.pdf
- [10] Třecí materiály brzdových destiček. *mjauto*. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.mjauto.cz/treci-materialy-brzdovych-desticek>
- [11] Typy směsí brzdových destiček Brembo. *brembo-moto*. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.brzdy-brembo.cz/typy-smesi/>
- [12] Kistler. *Kistler.com*. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.kistler.com/cz/en/index>
- [13] Dewetron. *Dewetron.com*. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.dewetron.com/int/>
- [14] Datron. *Datron technology.com*. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.datrontechnology.co.uk/home>



- [15] LMS Imagine.Lab Vehicle System Dynamics. *LMS*. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.lmsintl.com/vehicle-system-dynamics>
- [16] Modeling a Vehicle Dynamics System. *MathWorks*. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/help/ident/examples/modeling-a-vehicle-dynamics-system.html>
- [17] imc CRONOSflex. *IMC*. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.imc-berlin.de/produkte/messtechnik-hardware/imc-cronosflex/messmodule/>
- [18] RT Inertial and GPS Measurement Systems. *OXTS*. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.oxts.com/products/rt3000-family/>
- [19] CHOVIKA, P.. Sensory v diagnostické praxi. *ČVUT*. [online]. 2010 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor_stud/SD_-_2351086/6_Senzory.pdf
- [20] TRČLÍK, J. Modelování inerciálních snímačů. *VUT*. [online]. 2013. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64301
- [21] Vířivé proudy. *Techmania*. [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: http://www.techmania.cz/data/fil_0033.pdf
- [22] Inductive Proximity Sensors. *Pidtechinsights*. [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.pidtechinsights.com/2012/03/29/inductive-proximity-sensors-design-and-selection/>
- [23] Indukční snímače. *Střední škola automobilní a informatiky*. [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: www.skolahostivar.cz/PFFiles/329-INDUKČNÍ%20SNÍMAČE.ppt
- [24] Kapacitní snímač. *VUT*. [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_4_1.htm
- [25] Přesný laserový snímač vzdálenosti Panasonic HL-G1. *Automatizace.hw.cz*. [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/presny-laserovy-snimac-vzdalenosti-panasonic-hl-g1.html>
- [26] Ultrazvukové snímače. *Pepperl+Fuchs*. [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: http://www.pepperl-fuchs.cz/czech_republic/cs/classid_182.htm
- [27] Microwave speed and distance sensor. *Directindustry*. [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/kistler/microwave-speed-distance-sensors-5346-839093.html>
- [28] ŠLAPÁNEK, P. Využití zařízení Correvit pro měření jízdních parametrů vozidla. *VUT*. [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/pdf/Sekce_7/Slepanek_Petr_Cl.pdf



[29] 6-Component Wheel Force Transducer for Passenger Cars. *Kistler.com*. [online]. [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.kistler.com/cz/en/product/force/9296A1Q02>

[30] Wheel Vector Sensor RV-4. *Kistler.com*. [online]. [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.kistler.com/cz/en/product/displacement/CRV4A10>

[31] Experimentální metody. *Technická univerzita Liberec*. [online]. [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: http://www.kst.tul.cz/podklady/experimentalnimetody/prednasky/p9_snimace_sily.pdf



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	[ms ⁻²]	zrychlení
v	[ms ⁻¹]	rychlost
s	[m]	dráha
p	[Bar]	tlak v brzdném okruhu
ABS	[-]	Anti-lock Brake System (protiblokovací systém)
ASR	[-]	Anti-Slip Regulation (systém regulace prokluzu kol)
A/D	[-]	Analog/digital