



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

ANALÝZA JÍZDNÍCH MANÉVRŮ VOZIDEL ZA SNÍŽENÉ ADHEZE

ANALYSIS OF VEHICLES DRIVING MANEUVERS AT LOW COEFFICIENT OF ADHESION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MATÚŠ ŠABÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. STANISLAV TOKAŘ

BRNO 2016

Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

Ústav soudního inženýrství

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Matúš Šabík

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Expertní inženýrství v dopravě (3917T002)**

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 diplomové práce:

Analýza jízdních manévru vozidel za snížené adheze

v anglickém jazyce:

Analysis of vehicles driving maneuvers at low coefficient of adhesion

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracovat řešerši dnes využívaných hodnot adheze při řešení pohybu vozidel za zhoršených podmínek (mokrý vozovka, silný déšť, sníh, námraza, led). Uskutečnit vlastní měření jízdních manévru vozidel za snížené adheze. Vyhodnotit naměřené hodnoty pro využití v soudně – inženýrské praxi.

Cíle diplomové práce:

1. Řešerše používaných dostupných hodnot adheze za zhoršených podmínek.
2. Navrhnout jízdni manévry pro zjišťování součinitele adheze za zhoršených podmínek.
3. Realizace vlastních měření.
4. Vyhodnocení výsledků.
5. Formulace závěrů, popř. přehledná publikace získaných výsledků.

Seznam odborné literatury:

- [1] BRADÁČ, Albert a kol. Soudní inženýrství. Brno: CERM, 1999, 725 s. ISBN 80-720-4133-9.
- [2] ŠACHL (st.), J., ŠACHL (ml.), J., Adheze pneumatik v analýze silnicních nehod, Praha, CVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav soudního znalectví v dopravě, 2008.
- [3] CSN 73 6177: Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchu vozovek, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2009.
- [4] BURG, Hrsg. Heinz. Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion 2., aktualisierte Aufl. Wiesbaden: Vieweg Teubner, 2009, 1032 s. ATZ/MTZ-Fachbuch. ISBN 978-3-8348-0546-1.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Stanislav Tokař

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/2016.

V Brně, dne 20.10.2015

L.S.

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
Ředitel vysokoškolského ústavu

Abstrakt

Táto diplomová práca sa zaoberá jízdnými manévry za sníženého adhezie, obzvlášť v zimnom období. Obsahuje prehľad koeficientov adhezie rôznych povrchov, publikovaných rozličnými autoři. Tyhle hodnoty byli za pomoci statistických metod rozdělené na běžné a krajní. V práci jsou popsány faktory ovlivňující adhezi. Na zjištění adheze byla použita brzdová zkouška, kruhová zkouška a slalom. Jádro práce obsahuje popis vozidel, povrchů, stavu počasí, měřicí zařízení a uskutečněné testy. Jako alternativa k použití akcelerometru bylo úspěšně použito časoměřičské vybavení na určení zpomalení vozidla. Získané údaje byli spravované a porovnané s jinými publikacemi.

Abstract

This master's thesis deals with driving maneuvers at low coefficient of adhesion, especially in winter season. It includes a list of adhesion coefficients on many surfaces, published by various authors. Figures were through the use of statistical methods divided into normal and exceeding. There are described terms having impact on adhesion. For determination of adhesion was used tests like emergency braking, circle test and slalom. The major part contains specification of used vehicles, surfaces, weather conditions, measuring devices and realized tests. In addition to using accelerometer, there was a successful attempt to use timekeeping facilities to determine deceleration of vehicle. Acquired data were processed and compared to another publications.

Klíčová slova

adheze, jízdní manévry, brzdová zkouška, kruhová zkouška, slalom, zpomalení

Keywords

adhesion, driving maneuvers, emergency braking, circle test, slalom, deceleration

Citace

ŠABÍK, M. Analýza jízdních manévru vozidel za sníženého adheze. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2016. 61 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Stanislav Tokař.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. mája 2016

.....
podpis diplomanta

Poděkování

Ďakujem svojmu vedúcemu diplomovej práce Ing. Stanislavovi Tokařovi za poskytnutú odbornú pomoc.

Obsah

1 Úvod	6
2 Adhézia	8
2.1 Smerová úchylka	9
2.2 Adhézna elipsa	11
2.3 Priečne premiestnenie vozidla	12
2.3.1 Priečne premiestnenie jedným oblúkom	12
2.3.2 Priečne premiestnenie dvoma oblúkmi	13
2.4 Vplyvy pôsobiace na adhéziu	14
2.4.1 Hĺbka dezénovej drážky	14
2.4.2 Hustenie pneumatík	15
2.4.3 Mikrotextúra a makrotextúra vozovky	16
2.4.4 Množstvo vody na vozovke	18
2.4.5 Rýchlosť	20
2.4.6 Sklz kolies	20
2.4.7 Šírka pneumatík	21
2.4.8 Teplota	22
2.4.9 Tvar dezénu pneumatiky	22
2.4.10 Zmes pneumatiky	23
2.5 Ďalšie faktory ovplyvňujúce spomalenie	23
2.6 Používané hodnoty súčiniteľa adhézie	25
2.6.1 Príklad výpočtu	27
3 Meracie prístroje	28
3.1 GPS	28
3.2 OBD, ELM327, mobilná aplikácia Torque	28
3.3 Časomiera	29
3.4 XL Meter	31
3.5 Racelogic PerformanceBox	32
4 Jazdné skúšky	33
4.1 Testovacie vozidlá	33
4.2 Testovací jazdci	36
4.3 Testovacie povrchy	36
4.4 Brzdňá skúška	40
4.5 Skúška akcelerácie	46
4.6 Kruhová skúška	47
4.7 Slalom	48

5	Vyhodnotenie	51
5.1	Prehľad získaných hodnôt	51
5.2	Vplyv rýchlosti vozidla na dosiahnutelné spomalenie	52
5.3	Verifikácia získaných hodnôt z kruhovej skúšky	52
5.4	Verifikácia získaných hodnôt zo slalomu	53
6	Záver	54
6.1	Možnosti ďalšieho výskumu	55
	Literatúra	55
	Prehľad vzorcov	59
	Pohyb vozidla v súradnicovom systéme a názvy pohybov karosérie	60

Zoznam obrázkov

2.1	Trecia a normálová sila	8
2.2	Rozloženie sily na zložky	9
2.3	Sily pôsobiace na koleso	10
2.4	Smerová úchylka kolesa	11
2.5	Adhézna elipsa	12
2.6	Priečne premiestnenie jedným oblúkom	13
2.7	Priečne premiestnenie dvoma oblúkmi	14
2.8	Vplyv hĺbky dezénovej drážky na adhéziu	15
2.9	Kontakt pneumatiky s vozovkou	15
2.10	Zmena tvaru stopy pneumatiky vplyvom hustenia	16
2.11	Textúra vozovky	17
2.12	Prilnavosť na mokrom povrchu	17
2.13	Pozitívny a negatívny profil textúry	17
2.14	Textúra vozovky a jej dopad na charakteristiky povrchu	18
2.15	Závislosť súčiniteľa adhézie na okamžitom stave vozovky	19
2.16	Vznik aquaplaningu	19
2.17	Závislosť adhézie na rýchlosti	20
2.18	Závislosť adhézie na sklze kolies	21
2.19	Priemerné spomalenie na suchej ceste v závislosti na šírke pneumatík	21
2.20	Vplyv teploty na prilnavosť pneumatík	22
2.21	Shoreova tvrdosť pneumatík	23
2.22	Priemerné dosiahnuteľné spomalenie podľa triedy vozidla	24
2.23	Priemerné spomalenie na suchej ceste v závislosti na pohlaví	24
2.24	Grafický prehľad rozmedzí hodnôt súčiniteľa adhézie	26
3.1	Adaptér ELM327	29
3.2	Aplikácia Torque	29
3.3	Fotobunka s odrazkou	30
3.4	Alge Timy	30
3.5	XL Meter	31
3.6	Racelogic performance box	32
4.1	Škoda Favorit	34
4.2	Seat Leon	35
4.3	Prehľad technických parametrov vozidiel	35
4.4	Mapa s vyznačenými miestami skúšok	36
4.5	Povrch 1 - drsný asfalt	37
4.6	Povrch 2 - hladký asfalt	37
4.7	Povrch 3 - zámková dlažba	38
4.8	Povrch 4 - znečistený povrch	38

4.9	Povrch 5 - kamenné kocky	39
4.10	Povrch 6 - zrnitý asfalt	39
4.11	Zasnežený povrch 1, výška snehovej vrstvy 2 mm	40
4.12	Zasnežený povrch 6, výška snehovej vrstvy 8 mm	40
4.13	Náčrtok brzdnej skúšky	41
4.14	Rozostavenie fotobuniek s 5 m rozostupmi	43
4.15	Poškodenie pneumatiky intenzívnym brzdením s vyradeným ABS	45
4.16	Náčrtok kruhovej skúšky	47
4.17	Náčrtok slalomu	49
5.1	Prehľad zistených stredných hodnôt súčiniteľa adhézie v zimnom období z XL Metru	51

Zoznam tabuliek

2.1	Prehľad rozmedzí hodnôt súčiniteľa adhézie	27
4.1	Prehľad zistených hodnôt spomalenia brzdou skúškou z XL Metru	42
4.2	Príklad výpočtu priemerného maximálneho spomalenia z údajov časomierey	44
4.3	Porovnanie zistených hodnôt spomalenia z XL Metru, Racelogic a časomierey	44
4.4	Prehľad zistených hodnôt z kruhovej skúšky	48
4.5	Prehľad zistených hodnôt zo slalomu	50
5.1	Prehľad zistených stredných hodnôt spomalenia rôznymi skúškami	52

Úvod

Prvé pokusy o zapojenie odborníkov do procesného riadenia siahajú do 16. storočia. S rozvojom lekárstva a techniky sudca nebol schopný obsiahnuť všetky potrebné vedomosti, aby mohol objektívne rozhodnúť. Tak si súd prizval odborníka v danej oblasti. V 19. storočí sa zo znaleckého posudku stal samostatný druh súdneho dôkazu. Súadne lekárstvo objasňovalo príčiny smrti, siahalo aj do toxikológie a lekárskej chémie. V ekonomických oboroch existovali znalci na odhad cien nehnuteľností a hnutelných vecí. Technickí odborníci vysvetľovali príčiny a následky väd na výrobkoch. [1]

Analýza dopravných nehôd je príkladom multioborového prístupu k znaleckej činnosti. Využíva poznatky hlavne z nasledujúcich vedných disciplín:

- Súadne lekárstvo
- Psychológia a fyziológia vodiča
- Biomechanika
- Konštrukcia motorových vozidiel
- Machanika pohybu vozidiel
- Opravárenstvo vozidiel
- Pozemné komunikácie
- Riadenie dopravy
- Kriminalistika a časti práva
- Technická mechanika
- Súadne inžinierstvo, obecná a špeciálna časť

Pri výpočte brzdných dráh treba dosadiť vhodné rozmedzie hodnôt súčiniteľa adhézie. Veľký interval vstupných hodnôt spôsobí veľké rozmedzie výsledkov, preto je vhodné dosadiť čo najpresnejšie vstupné údaje. Hodnoty z rôznych publikácií sa od seba líšia. Neznamená to, že by boli nesprávne. Boli merané za určitých podmienok, ktoré ovplyvnili celý priebeh skúšky, vrátane výsledkov. Niektoré merania boli uskutočnené ešte pred vyše 20 rokmi. Vzhľadom na to, že vývoj technológií v automobilovom

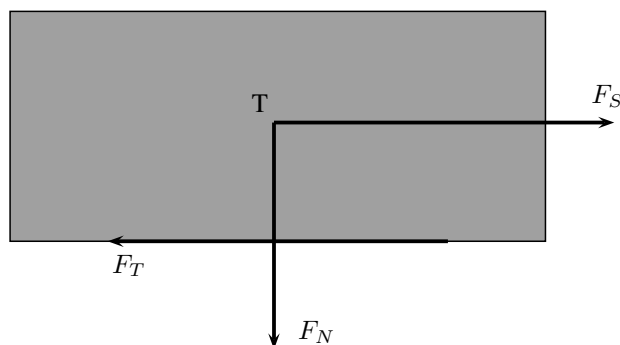
priemysle pokročil, dajú sa považovať za neaktuálne. V Českej republike sa autá bežne pohybujú po asfaltových cestách v priaznivých podmienkach. Preto na asfaltovom povrchu bolo uskutočnených najviac meraní. Ťažšie je získať hodnoty súčiniteľa adhézie menej tradičných povrchov. A práve na mieste, kde je cesta znečistená blatom, pieskom, kamienkami, olejom, alebo inou látkou, je riziko dopravnej nehody väčšie. Zimné obdobie trvá len zlomok roku, no jazdné podmienky sa rapídne menia. Veľa vodičov zabúda prispôbiť jazdu stavu vozovky. Tým porušujú § 18 Rychlost jízdy, odsek 1, zákona o silničním provozu, který hovorí: „*Rychlost jízdy musí řidič přizpůsobit zejména svým schopnostem, vlastnostem vozidla a nákladu, předpokládanému stavebnímu a dopravně technickému stavu pozemní komunikace, její kategorii a třídě, povětrnostním podmínkám a jiným okolnostem, které je možno předvídat; smí jet jen takovou rychlostí, aby byl schopen zastavit vozidlo na vzdálenost, na kterou má rozhled.*“ [10]

Na základe vyššie uvedeného som určil nasledujúce ciele práce:

- I. **Vytvoriť prehľad používaných hodnôt súčiniteľa adhézie z rôznych zdrojov.**
- II. **Navrhnuť a uskutočniť jazdné manévry na zistenie maximálnej adhézie v zimnom období.**
- III. **Zistiť vplyv rýchlosti vozidla na dosiahnuteľné spomalenie.**
- IV. **Vypočítať a jazdnou skúškou overiť maximálnu dosiahnuteľnú rýchlosť pri jazde v rovinnom oblúku.**
- V. **Vypočítať a jazdnou skúškou overiť čas potrebný na priečne premiestnenie vozidla.**
- VI. **Vytvoriť prehľad zistených hodnôt súčiniteľa adhézie a porovnať ich s hodnotami z iných publikácií.**

Adhézia

Sily medzi pneumatikou a vozovkou sa odvodzujú podľa Coulombovho zákona trenia.



Obr. 2.1: Trecia a normálová sila

Pri odvalujúcom sa kolese namiesto pojmu súčiniteľ trenia používame pojem súčiniteľ adhézie. Vzorec na výpočet trecej sily potom môžeme prepísať do tvaru

$$F_T = F_N \cdot \mu \quad (1)$$

kde μ vo vzorci znamená súčiniteľ adhézie. Vyjadruje prilnavosť pneumatiky k povrchu, na ktorom sa nachádza. Pryž má dobrú schopnosť prilnúť k makronerovnostiam vozovky a tým zaručiť spoľahlivý prenos adhéznych síl.

Zotrvačná sila udržiava teleso v pohybe, až kým ho nejaká iná sila nezastaví. Pri priamočiarom pohybe po rovine sa trecia sila rovná sile zotrvačnej.

$$F_T = F_S \quad (2)$$

Dosadením do vzorca získame:

$$m \cdot g \cdot \mu = m \cdot a \quad (3)$$

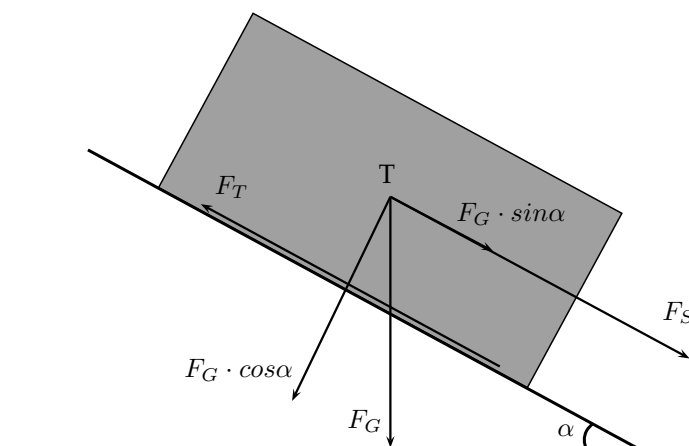
Hmotnosť sa dá vykrátiť a získame vzťah pre maximálne dosiahnuteľné spomalenie pri priamej jazde po rovine. Zo vzorca vyplýva, že teoreticky maximálne **spomalenie nezávisí na hmotnosti** vozidla.

$$a \leq g \cdot \mu \quad (4)$$

Pri jazde z kopca sa normálová sila F_N rozloží na zložku rovnobežnú s vozovkou

a zložku kolmú k vozovke. Zotrvačná sila F_S je rovnobežná s vozovkou. Vektory síl rovnakého smeru sčítame a po úprave dostaneme vzťah pre maximálne dosiahnuteľné spomalenie pri jazde z kopca.

$$a \leq g \cdot (\mu \cdot \cos\alpha - \sin\alpha) \quad (5)$$



Obr. 2.2: Rozloženie sily na zložky

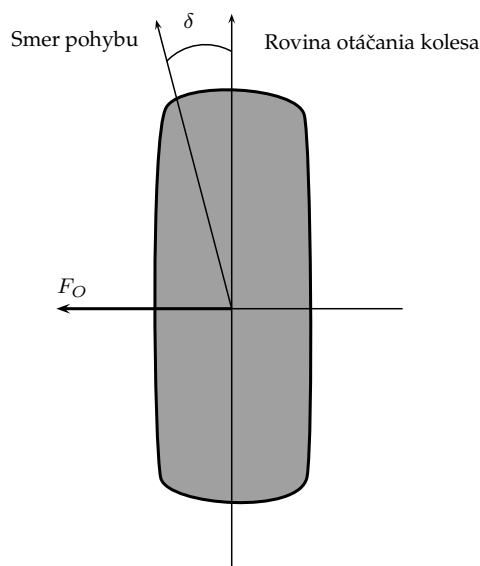
2.1 Smerová úchylka

Na koleso obecné pôsobia sily v axiálnom (osovom), radiálnom (lúčovitom) a tangenciálnom (dotýčnicovom) smere (Obr. 2.3). V každom z týchto smerov má koleso určitú pružnosť. Axiálna pružnosť pôsobí v smere osi, okolo ktorej sa koleso otáča. Nadmerná axiálna pružnosť je nežiadúca, lebo spôsobuje vybočovanie vozidla. Triviálne sa hovorí, že vozidlo pláva. Dá sa zmenšiť použitím pneumatík s nižším profilovým číslom a tvrdou bočnicou. Radiálna pružnosť pôsobí v smere polomeru kolesa, to je od stredu k obvodu a naopak. Pomáha perovaniu eliminovať tvrdé rázy, ktoré by sa prenášali do karosérie. Tangenciálna pružnosť pôsobí kolmo k osi otáčania kolesa na povrchu pneumatiky, v rovine, ktorá neprechádza osou otáčania kolesa. Prejavuje sa pri akcelerácii a brzdení. Na obrázku 2.3 je radiálna sila označená ako X, tangenciálna ako Y a axiálna ako Z.



Obr. 2.3: Sily pôsobiace na koleso

Pri zatáčaní vozidla pôsobí na koleso v axiálnom smere bočná sila. Vyvolaná reakčná sila opačného smeru sa nazýva bočná vodiaca sila kolesa. Valiace koleso sa nepohybuje v smere svojej pozdĺžnej osi. Pohybuje sa v smere úchylky kolesa. Uhol smerovej úchylky δ sa nachádza medzi vektorom rýchlosti pohybu kolesa a jeho pozdĺžnou rovinou (Obr. 2.4). Smerová úchylka lineárne rastie so zvyšujúcou sa bočnou silou, asi do 14° . Potom postupne nastáva šmyk kolesa.

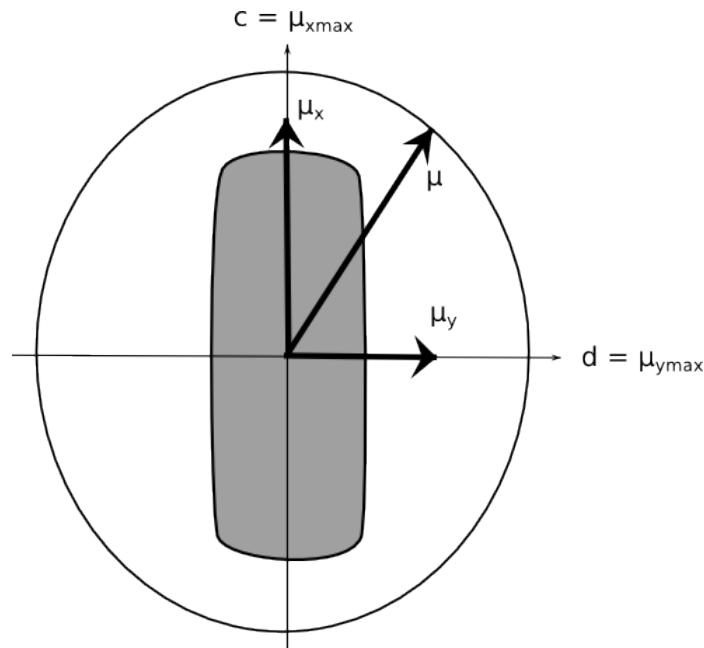


Obr. 2.4: Smerová úchylka kola

Plocha vztyku pneumatiky s vozovkou sa nazýva stopa. Výslednica síl pôsobiacich v stope vytvára vratný moment kola, ktorý vracia koleso do pôvodného smeru jazdy. Bočná vodiaca sila je posunutá mierne dozadu od priečnej osi kola. Jej rameno od osi sa nazýva zúvlek.

2.2 Adhézna elipsa

Adhézna elipsa reprezentuje maximálne prenesiteľné sily z pneumatiky na vozovku v pozdĺžnom a priečnom smere. Vektorovým súčtom pozdĺžnej a priečnej zložky dostaneme výslednú adhéziu. Tá musí ležať vo vnútri adhéznej elipsy. Vďaka modernej konštrukcii pneumatík sa maximálne prenesiteľné sily v pozdĺžnom a priečnom smere skoro rovnajú. Preto má adhézna elipsa tvar podobný kružnici. Z toho je aj názov Kammova kružnica prilnavosti.



Obr. 2.5: Adhézna elipsa

Adhézna elipsa je vyjadrená vzťahom:

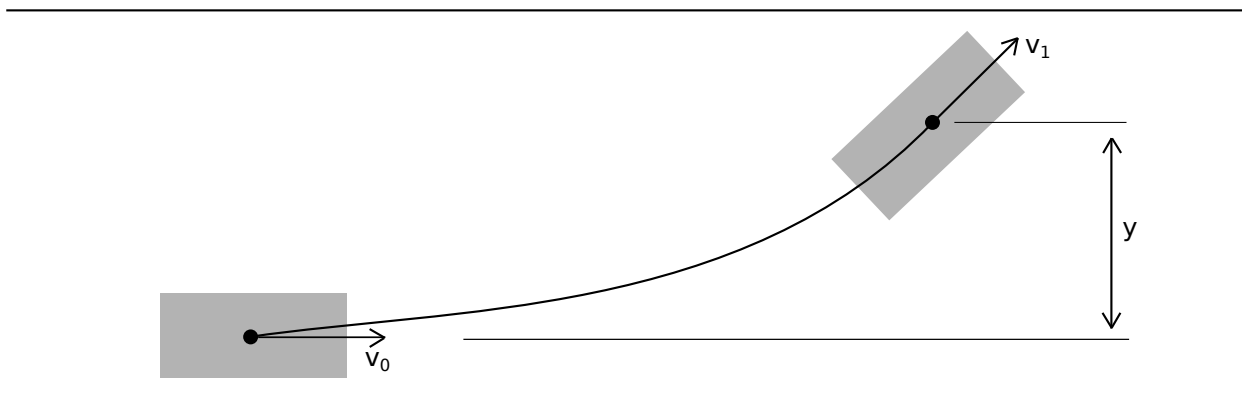
$$\frac{\mu_x}{c^2} + \frac{\mu_y}{d^2} = 1 \quad (6)$$

2.3 Priečne premiestnenie vozidla

2.3.1 Priečne premiestnenie jedným oblúkom

Pre krátke priečne premiestnenie (napr. vyhnutie sa prekážke) sa dá odvodiť tzv. Kovaříkův vzorec, pre výpočet minimálnej doby potrebnej na priečne premiestnenie jedným oblúkom. [1]

$$y = \frac{a_y \cdot t_y^2}{2}; \quad a_y = g \cdot \mu_y \quad \Rightarrow \quad t_y = \sqrt{\frac{2 \cdot y}{a_y}} = \sqrt{\frac{2 \cdot y}{g \cdot \mu_y}} \quad (7)$$



Obr. 2.6: Priechne premiestnenie jedným oblúkom

Dosadením hodnoty gravitačného zrýchlenia a úpravou vzorca dostaneme najkratšiu dobu, za ktorú sa dá priechne premiestnenie po jednom kruhovom oblúku bez prechodnice uskutočniť. [1]

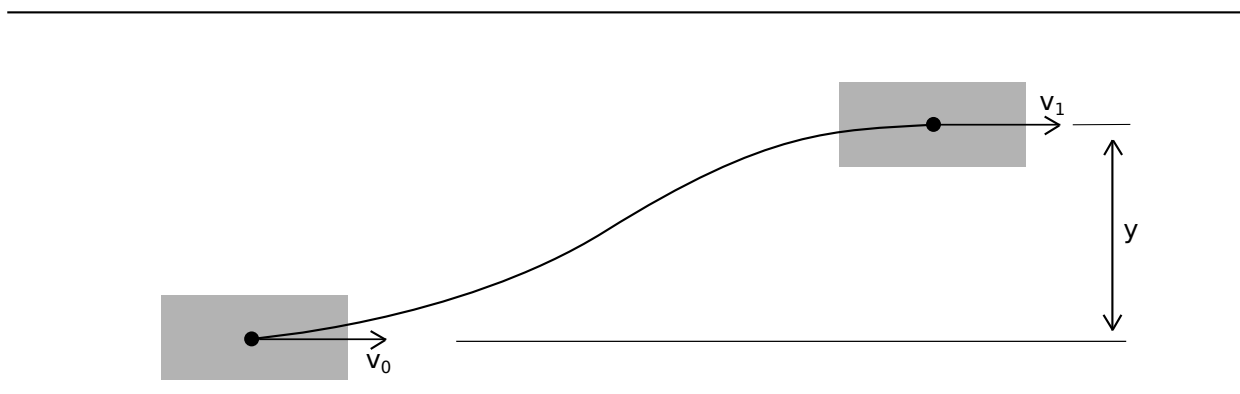
$$t_y \geq 1,41 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_y}} = 0,45 \cdot \sqrt{\frac{y}{\mu_y}} \quad (8)$$

Prakticky sa však používa nasledujúci vzťah, ktorý uvažuje prechod z priamej jazdy po prechodnicovom oblúku, zohľadňuje spozdenie mechanizmu riadenia a vplyv momentu zotrvačnosti vozidla. [1]

$$t_y \geq 1,57 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_y}} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{y}{\mu_y}} \quad (9)$$

2.3.2 Priechne premiestnenie dvoma oblúkmi

Pohyb po dvoch oblúkoch spočíva v premiestnení do polovice y a následnom vyrovnaní vozidla do priameho smeru. Po vyhýbaní dvoma oblúkmi vozidlo pokračuje v smere rovnobežnom s pôvodným smerom jazdy.



Obr. 2.7: Priečne premiestnenie dvoma oblúkmi

Pre priečne premiestnenie dvoma oblúkmi s prechodnicami sa používa nasledujúci vzťah:

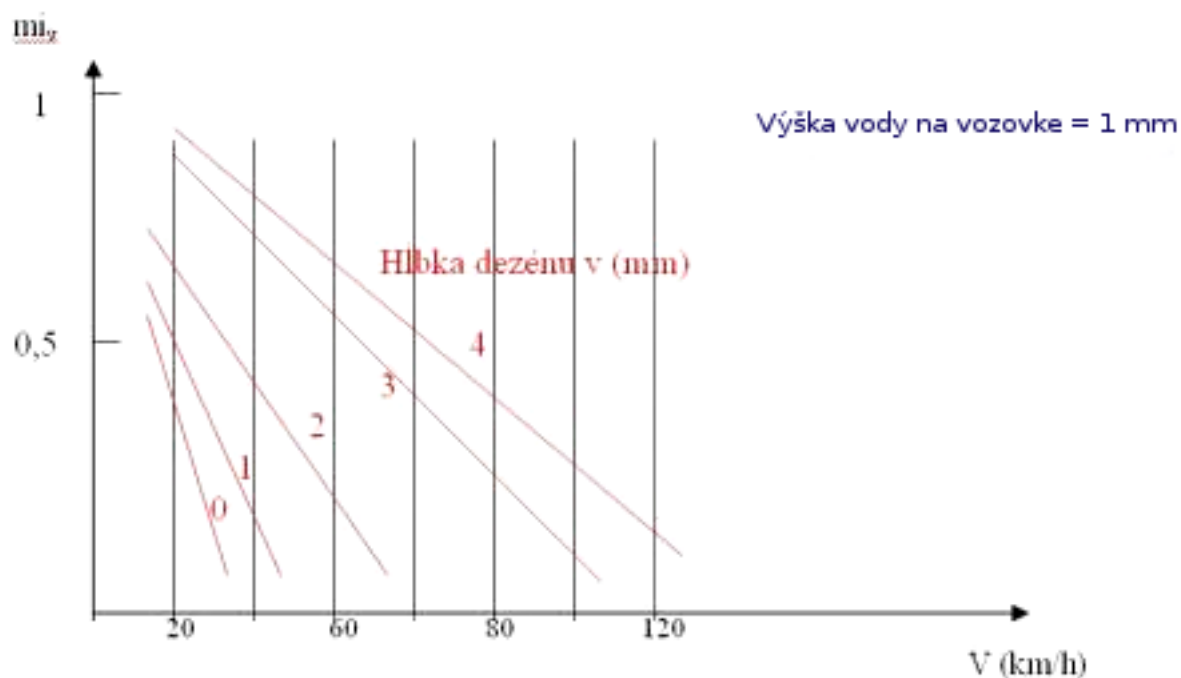
$$t_y \geq 3,13 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_y}} = 1,0 \cdot \sqrt{\frac{y}{\mu_y}} \quad (10)$$

Je dôležité poznamenať, že vozidlo musí mať dostatočnú rýchlosť v pozdĺžnom smere, aby vôbec bolo schopné za uvedený čas prejsť príslušnú dráhu. [1]

2.4 Vplyvy pôsobiace na adhéziu

2.4.1 Hĺbka dezénovej drážky

Na suchom povrchu majú najlepší súčiniteľ adhézie hladké pneumatiky, ktorých styčná plocha s vozovkou nie je zmenšovaná dezénovými drážkami. Na mokrom povrchu hrá hĺbka dezénovej drážky významnú rolu v odvádzaní vody. Dostatočná hĺbka drážok oddaluje vznik aquaplaningu.



Obr. 2.8: Vplyv hĺbky dezénovej drážky na adhéziu [14]

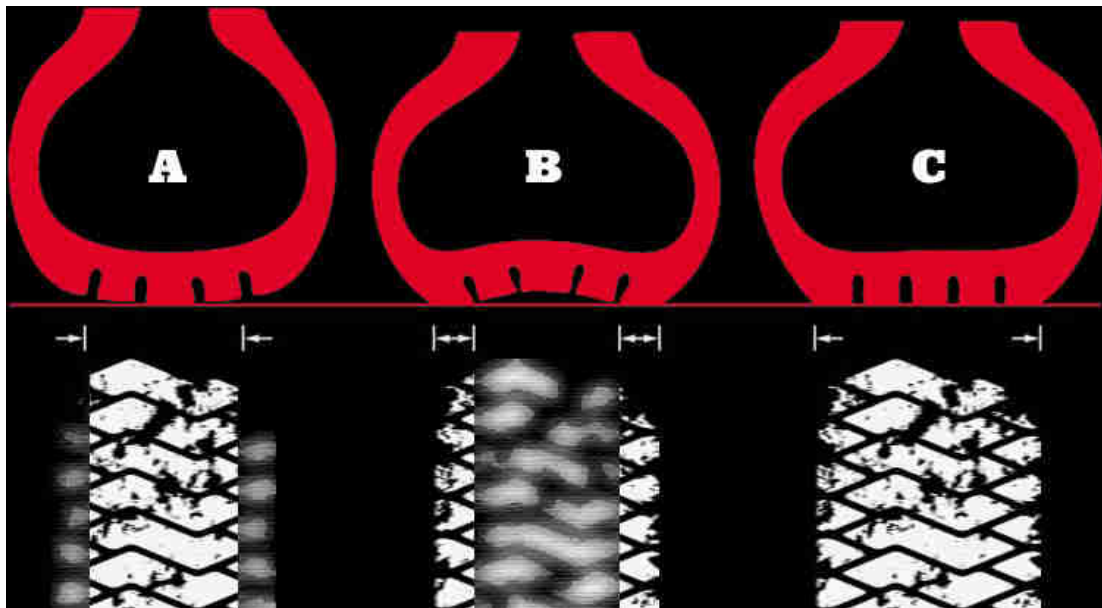
Hĺbka dezénu Rýchlosť automobilu	1,6 mm	4 mm	8 mm
5 km/hod	 plocha 100%	 plocha 100%	 plocha 100%
75 km/hod	 plocha 16%	 plocha 58%	 plocha 74%
125 km/hod	 plocha 6%	 plocha 11%	 plocha 47%

Obr. 2.9: Kontakt pneumatiky s vozovkou [25]

2.4.2 Hustenie pneumatík

Podhustené pneumatiky spôsobujú zmenšenie kontaktu v strede behúňa a tým mierne zhoršenie adhézných vlastností. Predlžuje sa tiež odozva v riadení a nadmerne sa

opotrebováva behúň na vonkajších stranách. Prehustené pneumatiky spôsobujú stratu kontaktu na okrajoch behúňa.



Obr. 2.10: Zmena tvaru stopy pneumatiky vplyvom hustenia [22]

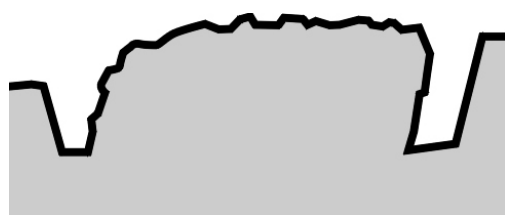
A - Prehustenie - na pneumatike je nadmerne opotrebovaný stred behúňa

B - Podhustenie - na pneumatike sú nadmerne opotrebované okraje behúňa

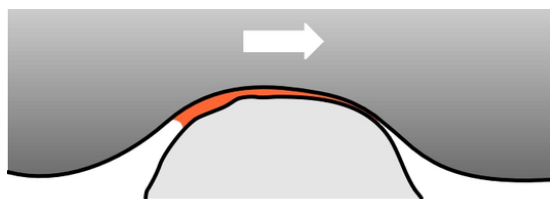
C - Optimálny tlak uvedený výrobcom pre daný typ vozidla

2.4.3 Mikrotextúra a makrotextúra vozovky

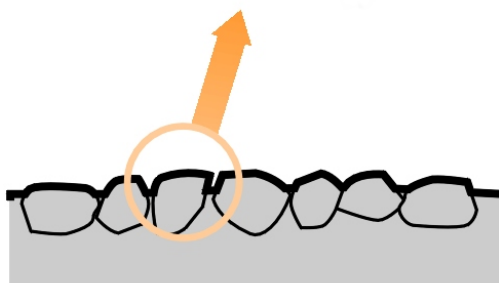
Makrotextúra je tvorená výstupkami zŕn kameniva na povrchu vozovky. Priaznivo ovplyvňuje prilnavosť hlavne na mokrom povrchu a vo vyšších rýchlostiach. Spôsobuje väčší hluk valenia pneumatík. Mikrotextúru tvoria povrchy jednotlivých zŕn kameniva. Priaznivo ovplyvňuje prilnavosť hlavne na suchom povrchu a v nižších rýchlostiach. No aj na mokrom povrchu pomáha odvádzať tenký vodný film medzi výbežky, ako je vidieť na obrázku 2.12.



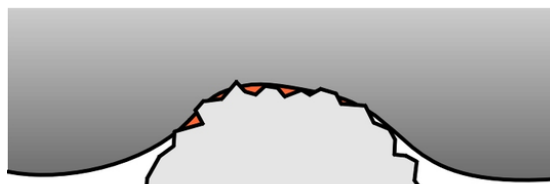
Mikrotextúra (~ 0,5 mm)



bez mikrotextúry



Makrotextúra (5 - 20 mm)



s mikrotextúrou

Obr. 2.11: Textúra vozovky [31]

Obr. 2.12: Prilnavosť na mokrom povrchu [31]

Profil textúry sa dá charakterizovať aj ako pozitívny a negatívny. Pozitívny profil sa dá predstaviť ako hladká plocha, z ktorej von vystupujú zrná kameniva. Je typický pre povrchy, kde sa pri výrobe do roztaveného asfaltu vmieša kamenivo. Negatívny profil sa dá predstaviť ako plochý povrch, v ktorom sa nachádzajú malé jamky. Je typický pre porézne asfalty. Hluk valenia pneumatík je výrazne nižší. [31]

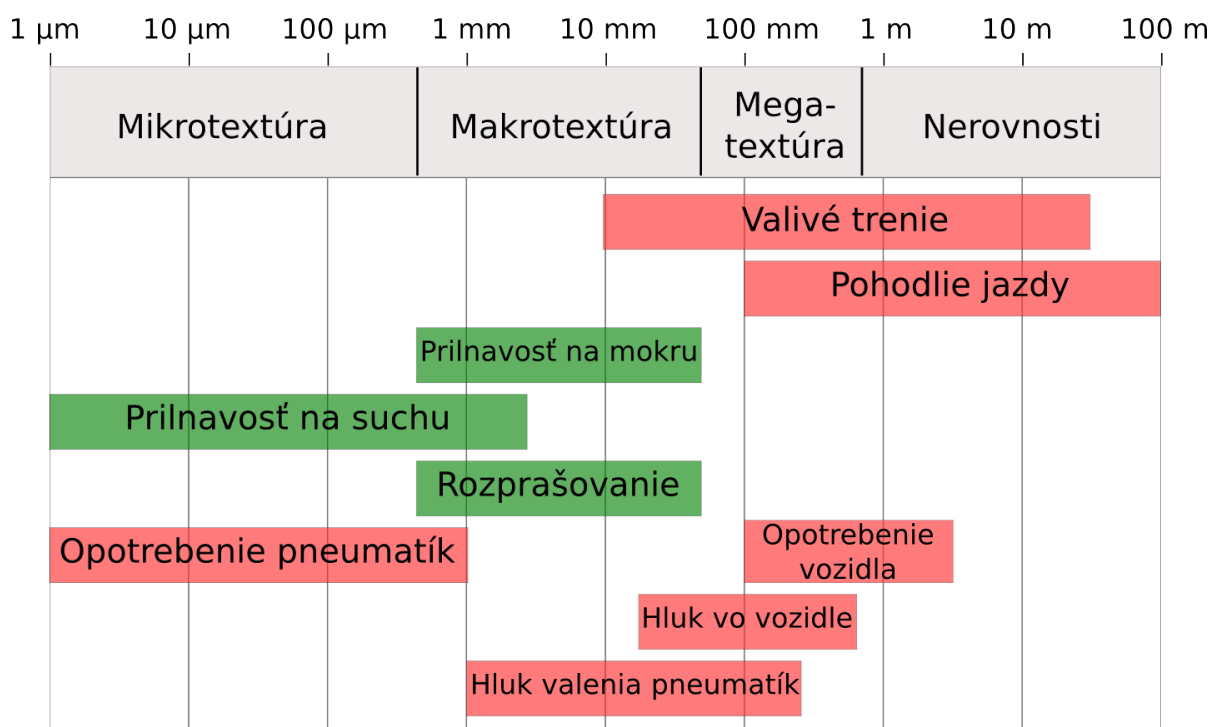


pozitívna



negatívna

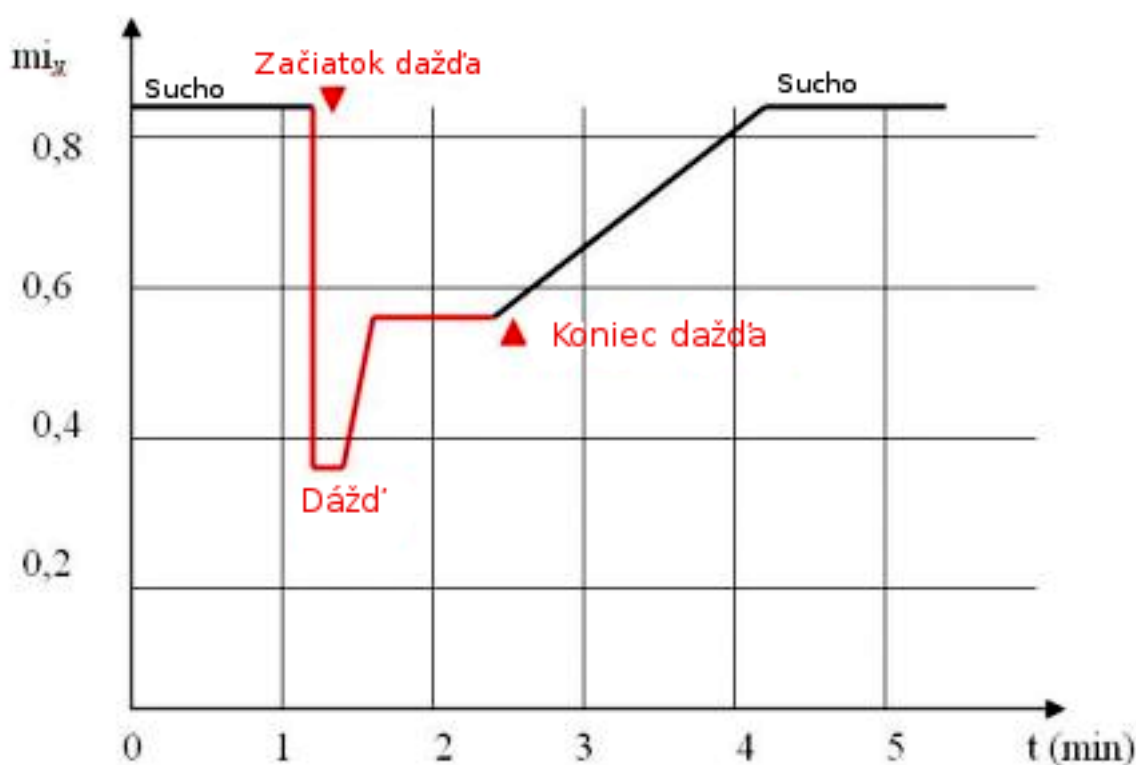
Obr. 2.13: Pozitívny a negatívny profil textúry [31]



Obr. 2.14: Textúra vozovky a jej dopad na charakteristiky povrchu [16]

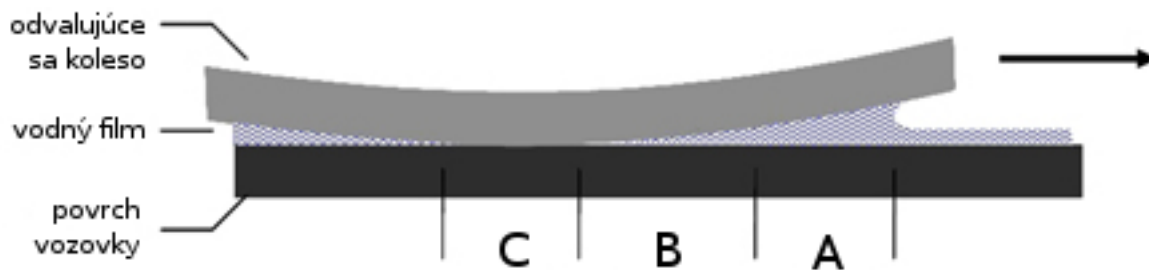
2.4.4 Množstvo vody na vozovke

Rozdiel v zmene adhézie pri nástupe dažďa sa najviac prejavuje v letnom období, kvôli zvýšenej prašnosti. Z prachu a vody sa vytvorí vrstva kaše obmedzujúca prilnavosť, ktorá sa neskôr pri intenzívnejšom daždi zmyje a súčiniteľ adhézie stúpne.



Obr. 2.15: Závislosť súčiniteľa adhézie na okamžitom stave vozovky [5]

Pri hustom daždi, keď voda z cesty nestíha odtekať, sa tvorí vodný film. Valiaca sa pneumatika odvádza určité množstvo vody pomocou dezénových drážok. Keď je však dosiahnutý limit a voda sa už odvádzať nestíha, začne sa tvoriť vodný stĺpec pred pneumatikou. Ten odtláča pneumatiku smerom od vozovky, až úplne stratí kontakt a nastáva aquaplaning. Na obrázku 2.16 je znázornený vznik aquaplaningu, časť A - vodný stĺpec, B - čiastočne prenesený vodný film, C - kontakt pneumatiky s vozovkou.

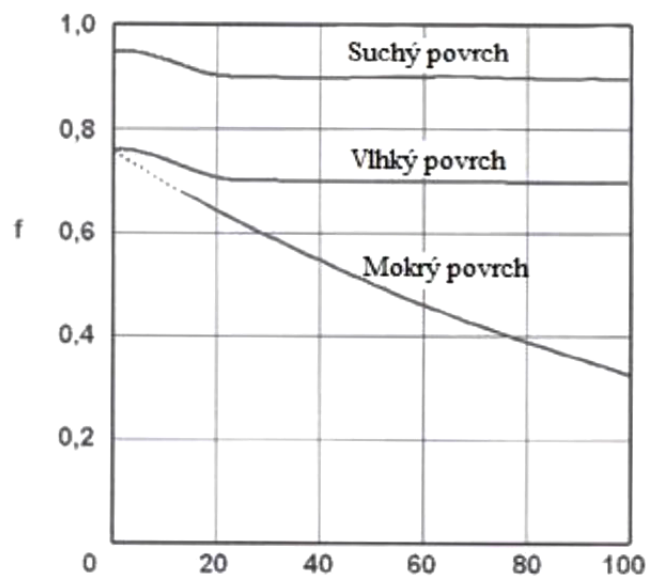


Obr. 2.16: Vznik aquaplaningu [26]

2.4.5 Rýchlosť

Rýchlosť jazdy ovplyvňuje súčiniteľ adhézie hlavne na mokrej vozovke a snehu, kde so zvyšujúcou sa rýchlosťou prínavosť klesá. Na suchej vozovke je pokles nepatrný.

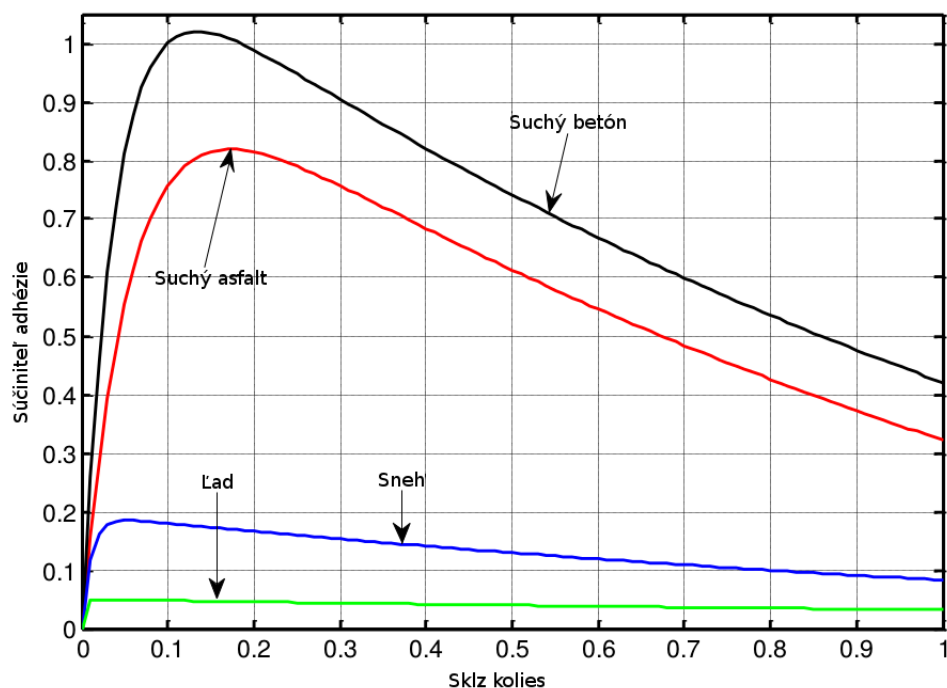
V niektorých prípadoch môže prínavosť na suchej vozovke vo vyššej rýchlosti dokonca stúpať. Je to typické pre závodné pneumatiky z tvrdej zmesy, ktoré potrebujú byť zahriate na optimálnu teplotu, ktorú si udržia športovou jazdou.



Obr. 2.17: Závislosť adhézie na rýchlosti [3]

2.4.6 Sklz kolies

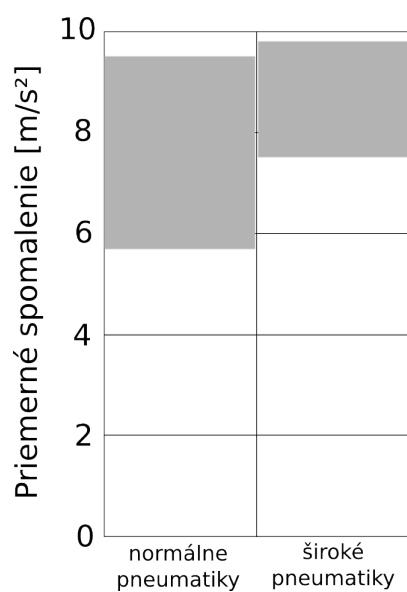
O sklze kolesa hovoríme, keď je dopredná rýchlosť vozidla väčšia ako obvodová rýchlosť kolesa. Podobne sa používa výraz preklz, keď je dopredná rýchlosť vozidla menšia ako obvodová rýchlosť kolesa. Najlepšie adhézne vlastnosti má koleso pri sklze 10% - 30%. Pri prudkom brzdení aj systém ABS udržiava sklz kolies v tomto rozmedzí. Je to však primárne kvôli zachovaniu ovládateľnosti vozidla.



Obr. 2.18: Závislosť adhézie na sklze kolies [24]

2.4.7 Šírka pneumatík

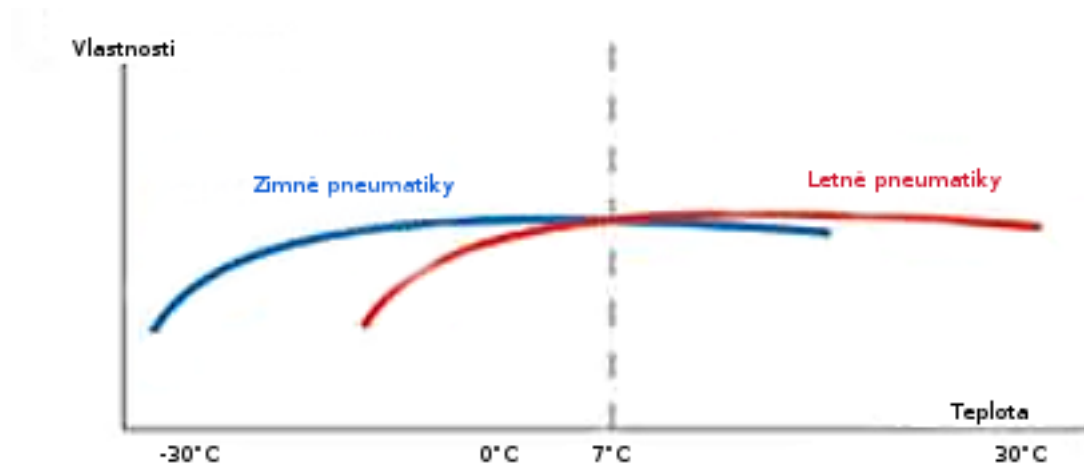
Na suchej ceste široké pneumatiky priaznivo vplývajú na skrátenie brzdnjej dráhy. Je to viditeľné aj v prílohe A, kde pneumatiky 255/40 R19 dosiahli výrazne lepšie spomalenie. Použitie širokých pneumatík má aj svoje negatíva, ako zvýšená spotreba pohonných hmôt a riziko vzniku aquaplaningu v menších rýchlostiach.



Obr. 2.19: Priemerné spomalenie na suchej ceste v závislosti na šírke pneumatík [3]

2.4.8 Teplota

Letné pneumatiky pri teplotách pod 7 °C začínajú tuhnúť a tým strácajú požadované vlastnosti. Dezén zimných pneumatík obsahuje husté lamelovanie, ktoré v kombinácii s mäkkou zmesou zabezpečujú elastické vlastnosti aj pod bodom mrazu. Celoročné pneumatiky by mali mať dobré vlastnosti počas zimného obdobia, aj počas letného obdobia, testy však ukazujú nevhodnosť používania v akomkoľvek období.



Obr. 2.20: Vplyv teploty na prilnavosť pneumatík [19]

„Používanie zimných pneumatík na vozidle, pri teplote 24 °C, má nepriaznivý vplyv na brzdné vlastnosti automobilu. Meraním a výpočtami sme zistili hodnoty spomalenia v priemere o $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ nižšie ako pri jazde na letných pneumatikách.“ [13]

2.4.9 Tvar dezénu pneumatiky

Dezén pneumatiky obsahuje pozdĺžne a priečne drážky. Pozdĺžne drážky pomáhajú prenášať bočné sily a tým zlepšujú smerovú stabilitu. Priečne drážky pomáhajú prenášať hnaciu a brzdnú silu.

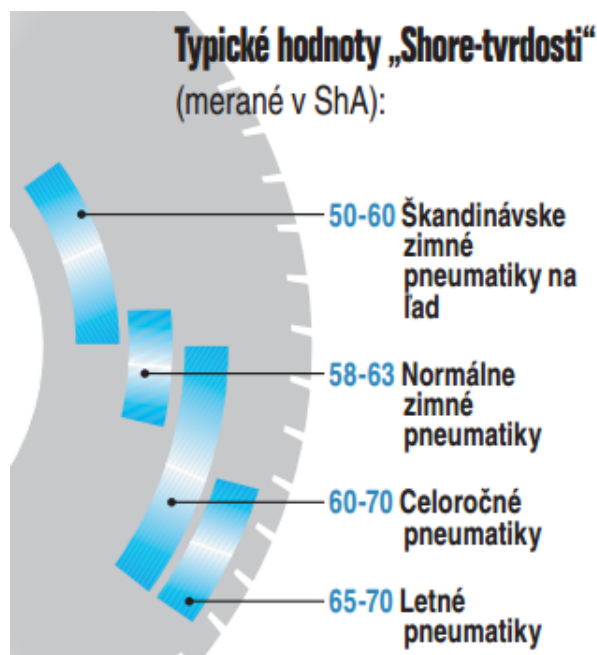
Pásový lamelový vzor má na vozovke dobrý záber, lebo sa o nerovnosti prichytáva väčším počtom hrán. Čisto pásový vzor je vhodný pre použitie na nepoháňaných kolesách, lebo dobre prenáša bočné sily. U terénnych vozidiel sa používa šípový vzor. [5]

2.4.10 Zmes pneumatiky

Tvrdosť gumy plášťov sa udáva pomocou Shoreovej tvrdosti. Na jazdu v zimnom období sa používa mäkkšia zmes pneumatík, tvrdosť začína od 45 Shore. Paradox je, že mäkká zmes (50 Shore) sa používa aj v letnom období, na závodných špeciáloch. Je tomu tak hlavne na krátkych šprintoch, alebo pretekoch do vrchu, kde by sa pneumatiky z tvrdej zmesi nestíhli zahriať na pracovnú teplotu. Bežné letné pneumatiky majú tvrdosť do 70 Shore.

„V rozmezí 45 až 50 Shore jsou nejměkčí směsi pneumatik Bridgestone Blizzak WS-50, Gislaved SoftFrost, Nokian Hakkapeliitta Q, Michelin Ivalo.“ [34]

V článku v časopise *Soudní inženýrství* sa píše: „Analýza získaných hodnot tvrdosti ve vztahu k dosahovaným hodnotám zpomalení neprokázala závislost mezi tvrdostí gumy protektoru a dosahovanými hodnotami zpomalení.“ [27] Použité pneumatiky mali tvrdosť v rozmedzí 58 - 62 Shore. Tento rozsah je príliš malý na to, aby sa dal posúdiť rozdiel v brzdnych skúškach.



Obr. 2.21: Shoreova tvrdosť pneumatík [33]

2.5 Ďalšie faktory ovplyvňujúce spomalenie

„Pokiaľ je brzdová sústava vozidla v riadnom technickom stave, vek vozidla nemá vplyv na brzdne vlastnosti automobilu, dosahuje porovnateľné hodnoty ako vozidlá

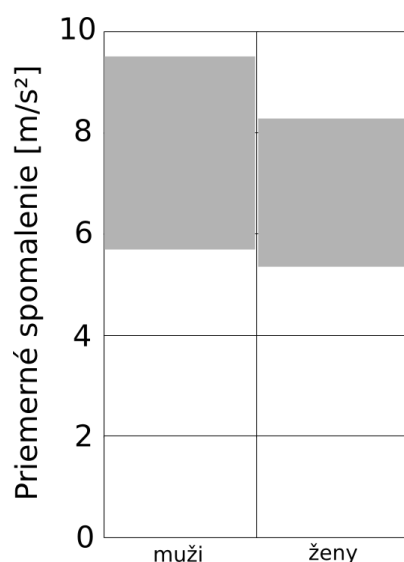
s pomerne novším dátumom výroby.“ [13]

Priemerné dosiahnuteľné spomalenie ovplyvňuje aj trieda vozidla. Medzi triedami sú rozdiely v rozmeroch, hmotnostiach, konštrukcii, polohe ťažiska a tým aj rozdielnym prerozdelením zaťaženia prednej a zadnej nápravy.

Trieda automobilu	Bez nákladu	S nákladom
Mini	6,6 – 9,4	6,2 – 9,6
Nižšia	7,8 – 10,7	6,9 – 11,0
Nižšia stredná	8,3 – 10,8	7,6 – 10,8
Stredná	9,2 – 11,7	8,4 – 11,8
Vyššia	9,0 – 10,8	9,0 – 10,8
Luxusná	9,0 – 10,5	9,0 – 10,5
Športová	9,1 – 10,8	9,0 – 10,8
SUV	7,3 – 10,6	7,3 – 10,5

Obr. 2.22: Priemerné dosiahnuteľné spomalenie $[m \cdot s^{-2}]$ podľa triedy vozidla [3]

Priemerné spomalenie v závislosti na pohlaví je podmienené psychologickými a fyziologickými rozdielmi medzi mužom a ženou. Z technického hľadiska je graf 2.23 irelevantný.



Obr. 2.23: Priemerné spomalenie na suchej ceste v závislosti na pohlaví [3]

2.6 Používané hodnoty súčiniteľa adhézie

V kvalitných zdrojoch nie je uvedená presná hodnota súčiniteľa adhézie. Táto veličina je závislá na veľa faktoroch, ako sú typ povrchu, znečistenie, výška vodnej vrstvy, typ a kvalita pneumatík, hĺbka dezénovej drážky, typ vozidla, teplota vzduchu a iné. Všetky vstupné faktory nepoznáme, najmä ak sa jedná o rekonštrukciu nehody z pred niekoľkých mesiacov, alebo rokov. Preto sa uvádza určité rozmedzie súčiniteľa adhézie. Hodnoty udávané v odlišných zdrojoch sa od seba mierne, alebo viac líšia. Kompletná tabuľka sa nachádza v prílohe A.

V nasledujúcom grafe (Obr. 2.24) sa nachádza zostručený prehľad hodnôt z prílohy. Zostrojevanie prebiehalo pre každý povrch nasledovne. Z minimálnych hodnôt súčiniteľa adhézie je vypočítaný aritmetický priemer. Obdobne je vypočítaný aj aritmetický priemer z maximálnych uvádzaných hodnôt. Ich rozmedzie je označené zelenou farbou. Potom bola vzatá z minimálnych hodnôt tá najmenšia a z maximálnych hodnôt tá najväčšia. Dajú sa považovať za extrémny a sú označené červenou farbou.

Pri výpočtoch brzdných dráh by sa dalo vychádzať z hodnôt v zelenej oblasti. Extrémna hodnota by sa použila iba v ojedinelých prípadoch, kde sú jasne preukázateľné okolnosti. Napríklad s použitím hrubých pneumatík, na kvalitnej, čistej vozovke, by hodnota inklinovala k hornému extrému.



Obr. 2.24: Grafický prehľad rozmedzí hodnôt súčiniteľa adhérie

Povrch	Min. extrém	Min. priemer	Max. priemer	Max. extrém
Asfalt suchý	0,54	0,72	0,97	1,21
Asfalt mokrý	0,20	0,49	0,75	0,91
Betón suchý	0,60	0,67	0,99	1,20
Betón mokrý	0,40	0,47	0,78	0,82
Dlažba/Makadam suchý	0,51	0,59	0,82	0,90
Dlažba/Makadam mokrý	0,30	0,32	0,55	0,76
Kamenné kocky suché	0,46	0,57	0,85	0,94
Kamenné kocky mokré	0,20	0,35	0,62	0,76
Poľná cesta/Tráva suchá	0,25	0,40	0,63	0,77
Poľná cesta/Tráva mokrá	0,10	0,25	0,42	0,75
Piesok/Štrk	0,20	0,38	0,57	0,76
Sneh	0,02	0,18	0,33	0,55
Ľad	0,02	0,10	0,22	0,36

Tabuľka 2.1: Prehľad rozmedzí hodnôt súčiniteľa adhézie

2.6.1 Príklad výpočtu

Vo väčšine prípadov sa v zdrojoch dá nájsť priamo súčiniteľ adhézie. Keď bolo zadané brzdné spomalenie, bolo treba súčiniteľ adhézie vypočítať podľa vzorca

$$\mu = a / g \quad (11)$$

Keď bola zadaná brzdná dráha, východzia rýchlosť a konečná rýchlosť, brzdné spomalenie je vypočítané podľa vzorca

$$a = \frac{(v_2/3,6)^2 - (v_1/3,6)^2}{2 \cdot s} \quad (12)$$

Príklad výpočtu: východzia rýchlosť 100 km/h, vozidlo brzdí do zastavenia, brzdná dráha 44,8 m.

$$a = \frac{(100/3,6)^2 - (0/3,6)^2}{2 \cdot 44,8} \doteq 8,612 \quad m \cdot s^{-2} \quad (13)$$

$$\mu = a / g = 8,612/9,81 \doteq 0,88 \quad (14)$$

Meracie prístroje

3.1 GPS

Globálny lokalizačný systém (z anglického Global Positioning System) slúži na zisťovanie presnej polohy pomocou družíc na obežnej dráhe. Pôvodne vznikol ako armádny projekt USA. Časť služieb môžu využívať aj civilní užívatelia. Presnosť určenia polohy v našich podmienkach s použitím bežne dostupných zariadení môžeme uvažovať okolo 3 m.

GPS je využívaný v mnohých zariadeniach, obsahuje ho aj prístroj Racelogic, ktorý je popísaný v kapitole 3.5.

3.2 OBD, ELM327, mobilná aplikácia Torque

Protokol OBD-II je určený na digitálnu diagnostiku automobilov. Na prepojenie rozhrania palubnej diagnostiky sa dá použiť adaptér ELM327, ktorý sa pomocou technológie bluetooth spojí s chytrým telefónom. Aplikácia Torque podporovaná systémom Android okrem iného dokáže zobrazovať aktuálne hodnoty z riadiacej jednotky automobilu. Pripojením aplikácie k riadiacej jednotke je možné získať prehľad informácií zo senzorov vozidla pri jazde.



Obr. 3.1: Adaptér ELM327



Obr. 3.2: Aplikácia Torque

Aplikácia Torque imituje zobrazenie analógových ciferníkov, digitálnych displejov, alebo grafov. Na obrázku 3.2 je ukážka zobrazenia hodnôt teplota chladiacej kvapaliny, okamžitý výkon vozidla, otáčky motoru, teplota nasávaného vzduchu, prietok vzduchu a tlak turba.

3.3 Časomiera

Časomiera Alge sa používa na všetky druhy rýchlostných športov, vrátane motoristických pretekov. Fotobunka s odrazkou tvoria pomyslenú líniu, ktorá sníma prejazd súťažiaceho. Presnosť impulzu je vyššia ako 1/10000 sekundy. Maximálna vzdialenosť umiestnenia fotobunky od odrazky je 25 metrov. Pri použití druhej fotobunky namiesto odrazky sa dá vzdialenosť dosahu teoreticky zvýšiť na dvojnásobok. Silný dážď skracuje dosah fotobunky tým, že rozptyluje lúče infračerveného svetla fotobunky do iných smerov, ako je žiadúce. Pri poklese intenzity zachytávaného svetla pod hraničnú úroveň vznikajú falošné impulzy, ktoré treba manuálne vymazať. Fotobunka má zníženú citlivosť na denné svetlo, avšak prudké slnečné lúče dopadajúce na fotosenzor ho môžu poškodiť, preto sa používa tienidlo.



Obr. 3.3: Fotobunka s odrazkou

Impulz z fotobunky sa prenesie káblom, alebo pomocou telemetrie do jedného zo vstupných kanálov zariadenia Timy, ktoré vo svojej pamäti uchováva všetky časy. Každý vstupný kanál sa používa na príjem impulzov z iného zdroja, teda z inej fotobunky. Preto sa dajú rozlíšiť štartovné časy, medzičasy a cieľové časy. V hornej časti zariadenia sa nachádza malá tlačiareň, ktorá dokáže jednotlivé časy impulzov, alebo spočítané výsledné časy tlačiť na papierovú pásku. Timy je továrne nastavené tak, aby po prijatí impulzu ostatné impulzy filtrovalo po dobu 20 ms. Tento interval sa dá nastaviť podľa potreby. Napríklad počas dažda sa predlžuje na dobu 1 s, lebo rozvírené kvapôčky vody letiace za autom dokážu vyvolať falošný impulz. Pracovná teplota Timy je od -20 do 60 °C. Pri použití viacerých zariadení Timy je najskôr potrebné synchronizovať ich aktuálny čas a to buď manuálne, alebo pomocou GPS modulu.



Obr. 3.4: Alge Timy

Pri meraní bolo použitých 6 fotobuniek, ktoré boli rozostavené po 5 metroch od seba. Vďaka relatívne krátkej vzdialenosti celého meraného úseku boli fotobunky s Timy prepojené iba káblami. Nebolo treba použiť technológiu prenosu dát na vzdialenosť rádovo v kilometroch.

3.4 XL Meter

XL meter je prístroj určený na meranie zrýchlenia/spomalenia v 2 osách s frekvenciou merania až 200 Hz. Rozsah merania je $\pm 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, citlivosť je $0,005 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Skladá sa z prísavky, ktorou je prístroj uchytený na čelné sklo vozidla z vnútornej strany. Ďalej nastaviteľného ramena, ktorým sa prístroj po uchytení kalibruje. A napokon samotnej skrinky s elektronickou jednotkou, tlačítkami a displejom. Vzadu sa nachádza konektor RS-232, ktorý slúži na prepojenie s počítačom. Dáta sa dajú graficky zobrazíť programom XL Vision. Prístroj má vstavanú pamäť, do ktorej sa dajú uložiť 3 merania dĺžky 80 sekúnd a 5 meraní dĺžky 40 sekúnd. [32]



Obr. 3.5: XL Meter

3.5 Racelogic PerformanceBox

PerformanceBox dokáže okrem iných veličín merať rýchlosť, časy kola, zrýchlenie 0 - 100 km/h, brzdnú vzdialenosť a preťaženie. Pri meraní využíva pripojenú externú GPS anténu. GPS meria rýchlosť s presnosťou 0,1 km/h, presnosť určenia polohy (95% CEP) je 3 m, presnosť nadmorskej výšky 10 m. Dáta sa zaznamenávajú frekvenciou 10 Hz na SD pamäťovú kartu, neskôr sa dajú zobrazíť na počítači v programe Performance Tools, alebo Circuit Tools. Dátový tok zápisu je priemerne 1,1 MB/h. PerformanceBox meria preťaženie do 4 g, s rozlíšením po 0,01 g. Podporuje napájanie 12 V priamo z vozidla. Pracovná teplota zariadenia je -20 až 50 °C. [23]



Obr. 3.6: Racelogic performance box

Jazdné skúšky

Pod pojmom ovládateľnosť sa v dynamike motorových vozidiel rozumejú jazdné vlastnosti celého systému vodič, vozidlo, okolie. Pri posudzovaní ovládateľnosti sa používajú hlavne tri prístupy. **Čisto subjektívne hodnotenie** stavuje sám vodič, reprodukovať túto metódu je značne obmedzené a výsledky sa nezakladajú na žiadnom objektívnom meraní. **Subjektívne skúšky ovládateľnosti** sú také, kde vodič jazdí po presne stanovenej dráhe, hodnotí sa rýchlosť prejazdu a iné veličiny. **Objektívne skúšky ovládateľnosti** vylučujú vplyv vodiča na skúšku, sú stanovené presné úkony, ktoré musí vozidlo v presnom čase vykonať. Ideálne je použitie programovateľného ovládacieho stroja. [8]

Objektívne metódy skúšania ovládateľnosti sú brzdenie pri priamej jazde, ustálené zatáčanie, zatáčanie cez ojedinelú nerovnosť, skokové natočenie volantu, impulzové natočenie volantu, harmonické natáčanie volantu, zmena hnacej sily pri zatáčaní, brzdenie pri zatáčaní a citlivosť na bočný vietor pri fixovanom volante. [6]

Rozdiel medzi skokovým a impulzovým natočením volantu je v tom, že pri skokovom natočení volant ostáva v polohe natočenia, pri impulzovom natočení sa volant po určitom čase vráti do pôvodnej polohy. Harmonické natáčanie volantu dosiahneme pri slalome s rovnomerným rozmiestnením kužielok.

4.1 Testovacie vozidlá

Prvé testovacie vozidlo je Škoda Favorit, rok výroby 1994, najjazdených 165 tisíc kilometrov. Je to predstaviteľ starších vozidiel, bez elektronických asistenčných systémov. Vozidlo malo pri skúškach zimné pneumatiky Matador Nordicca Basic 165/70 R13, nahustené na tlak 2,1 bar.



Obr. 4.1: Škoda Favorit

Druhé testovacie vozidlo je Seat Leon, rok výroby 2008, najazdených 90 tisíc kilometrov. Vozidlo má elektronické asistenčné systémy ABS, ASR a ESP. Pri skúškach malo obuté hlavne zimné pneumatiky Matador Nordicca 195/65 R15, nahustené na tlak 2,5 bar. V prípade, že sa pri skúške nachádza poznámka "letné pneumatiky", boli použité Michelin Primacy 3 s rozmerom 225/45 R17, nahustené na tlak 2,5 bar.



Obr. 4.2: Seat Leon

	Škoda Favorit	Seat Leon
Typ	136 LXI	1P, 1,8 TSI
Karoséria	hatchback	hatchback
Počet dverí	5	5
Prevodovka	5 st. manuálna	6 st. manuálna
Náhon	predný	predný
Palivo	BA 95	BA 95 B
Max. výkon	50 kW	118 kW
Max. krútiaci moment	103 Nm	250 Nm
Objem motora	1289 cm^3	1798 cm^3
Max. rýchlosť	150 km/h	213 km/h
Zrýchlenie 0-100 km/h	15 s	7,8 s
ABS	nie	áno
ESP	nie	áno
Prevádzková hmotnosť	875 kg	1395 kg
Dĺžka	3855 mm	4315 mm
Šírka	1620 mm	1768 mm
Výška	1415 mm	1459 mm
Rozvor	2450 mm	2578 mm
Rozchod	1400 mm	1533 mm
Pneumatiky	165/70R13	205/55R16

Obr. 4.3: Prehľad technických parametrov vozidiel

4.2 Testovací jazdci

Profesionálni jazdci dokážu trať opakovane prechádzať v malom rozmedzí časov, lebo naplno využívajú prilnavosť povrchu. Pri jazdných skúškach je potrebné v čo najväčšej miere vylúčiť ľudský faktor. Údaje prvého vodiča sú: muž, 25 rokov, účasť na amatérskych automobilových pretekoch. Údaje druhého vodiča sú: muž, 22 rokov, vodič z povolania. Ďalej v tejto kapitole bude vidieť, že časy obidvoch vodičov jazdiacich na medzi prilnavosti sa skoro nelíšili.

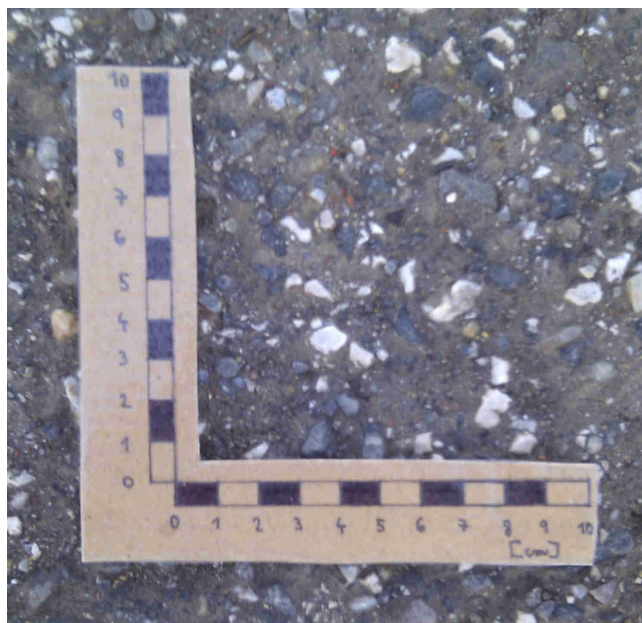
4.3 Testovanie povrchy

Jazdné skúšky prebiehali medzi dátumami 17.10.2015 a 17.1.2016. Vzhľadom na nadpriemerne vysoké teploty počas zimy veľa skúšok prebiehalo v noci, kedy sa teplota vzduchu znížila. Miesta, na ktorých boli skúšky realizované sú vyznačené na obrázku 4.4 a ich presná poloha je popísaná nižšie.



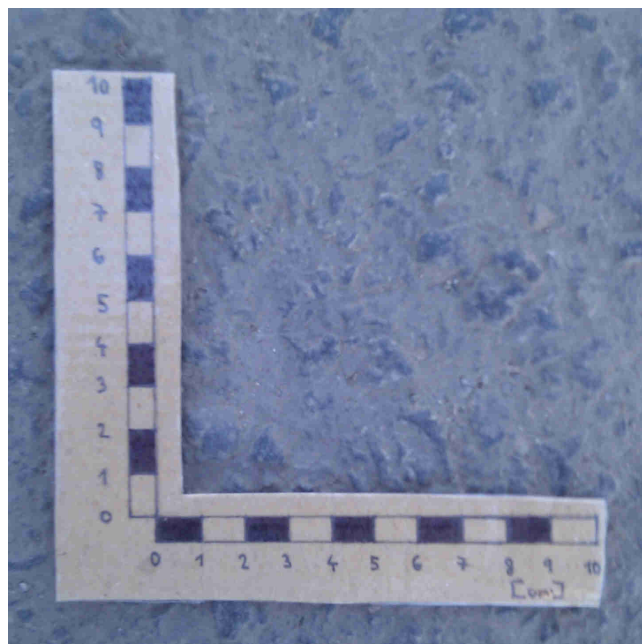
Obr. 4.4: Mapa s vyznačenými miestami skúšok

Povrch 1 slúži ako parkovisko pre poľnohospodárske stroje. Je drsný, s výraznou makrotextúrou. Jeho časti sa pôsobením väčšej sily drobia. Preto sa na tomto povrchu nachádza mnoho kamienkov. Súradnice: $N 48^{\circ} 24' 30.2322''$, $E 18^{\circ} 24' 23.202''$.



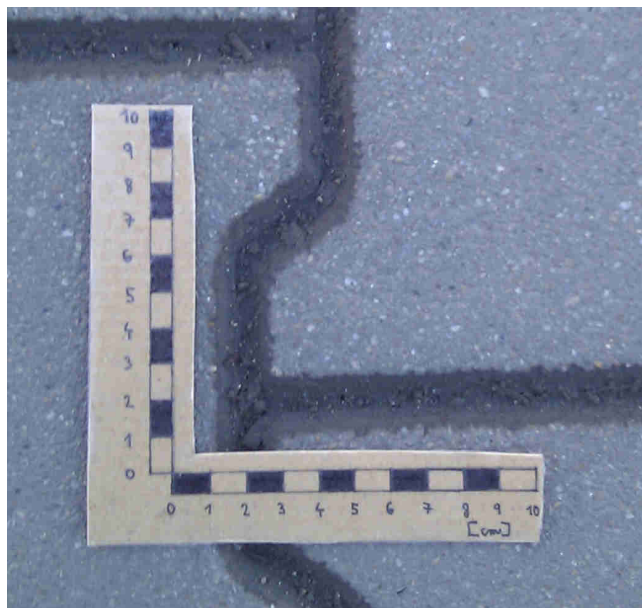
Obr. 4.5: Povrch 1 - drsný asfalt

Povrch 2 je frekventovaná cesta vedúca do okresného mesta. Asfalt je hladký, neobsahuje žiadne špicaté výbežky, iba každenným používaním vyhladené plochy. Súradnice: $N 48^{\circ} 23' 57.8106''$, $E 18^{\circ} 24' 23.7456''$



Obr. 4.6: Povrch 2 - hladký asfalt

Povrch 3 je klasická zámková dlažba šedej farby v tvare písmena H. Nachádza sa pred nákupným centrom. Súradnice: $N 48^{\circ} 23' 1.6542''$, $E 18^{\circ} 23' 24.2988''$



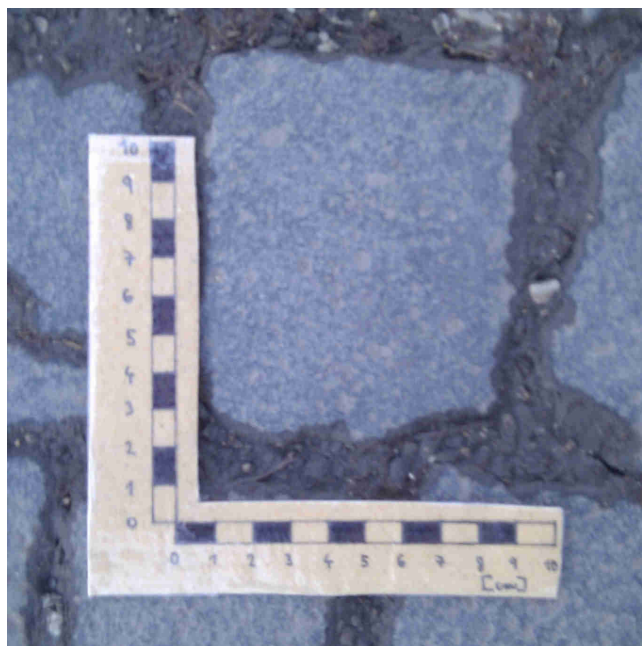
Obr. 4.7: Povrch 3 - zámková dlažba

Povrch 4 je poľnohospodárske letisko, na ktorom bol položený asfalt s dôrazom na nižšiu cenu, celý povrch je znečistený vrstvou schnúceho bahna, ktoré malo výšku približne 1 mm. Súradnice: $N 48^{\circ} 39' 30.3876''$, $E 18^{\circ} 32' 37.9644''$



Obr. 4.8: Povrch 4 - znečistený povrch

Povrch 5 sú kamenné kocky, takzvané mačacie hlavy, jazda po nich je hlučná a nepohodlná, v centre mesta sa nachádzajú iba z historických dôvodov. Súradnice: $N 48^{\circ} 23' 5.4918''$, $E 18^{\circ} 23' 55.5966''$



Obr. 4.9: Povrch 5 - kamenné kocky

Povrch 6 je výjazdová cesta z dediny, vyznačuje sa drobnými zrnami zlepenými pojivom, ktoré sú hladko zarovnané. Súradnice: $N 48^{\circ} 25' 57.378''$, $E 18^{\circ} 24' 40.9824''$



Obr. 4.10: Povrch 6 - zrnitý asfalt

„Ak sneží pri teplote okolo 0°C tak 1 mm zrážok zodpovedá približne 1 cm snehu.“ [15]



Obr. 4.11: Zasnežený povrch 1, výška snehovej vrstvy 2 mm

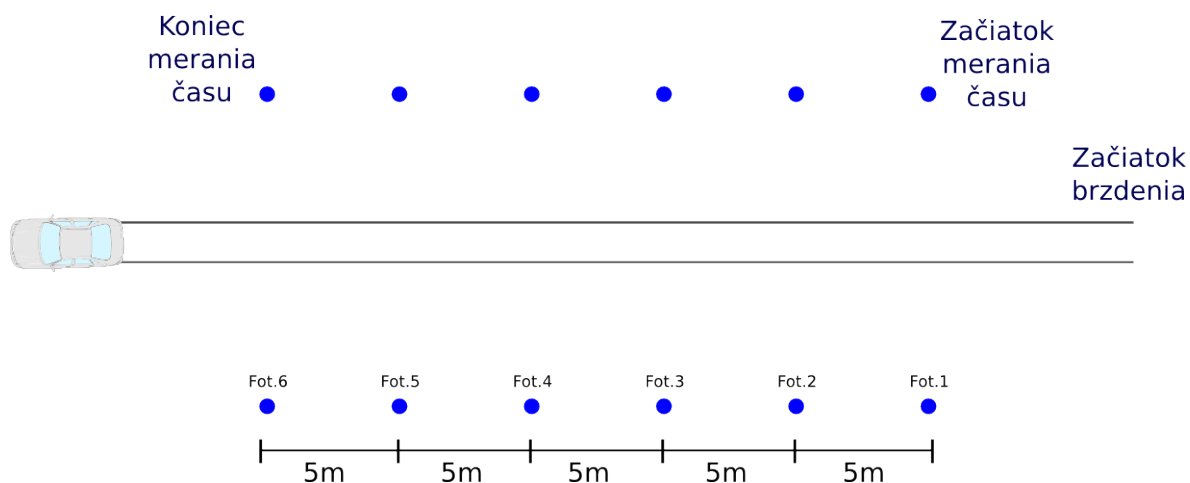


Obr. 4.12: Zasnežený povrch 6, výška snehovej vrstvy 8 mm

4.4 Brzdná skúška

Vozidlo sa rozbehlo na požadovanú rýchlosť, ktorá sa kontrolovala pomocou GPS a prípadne aj palubnej diagnostiky. Vo vozidle Seat Leon sa na korigovanie rýchlosti dali

používať tlačítka tempomatu. Po ustálení rýchlosti vodič začal brzdnu skúšku rýchlym stlačením brzdového a spojkového pedála. Brzdná skúška skončila až keď vozidlo úplne zastavilo. Keď bolo pri skúške používané aj časomeračné vybavenie, vozidlo začalo brzdiť pár metrov pred prvou fotobunkou. Náčrtok brzdnej skúšky s rozostavenými fotobunkami je vidieť na obrázku 4.13.



Obr. 4.13: Náčrtok brzdnej skúšky

V tabulke 4.1 sa nachádza zoznam všetkých uskutočnených brzdných skúšok, hodnoty spomalenia boli získané XL Metrom. Každé meranie má svoje číslo, ktoré slúži ako identifikátor brzdnej skúšky.

Č.	Poč. rých. [km · h ⁻¹]	s _b [m]	t[s]	Min. [m · s ⁻²]	Max. [m · s ⁻²]	MFDD [m · s ⁻²]
17.10.2015, Povrch 1, 10°C, mokrá cesta						
1	96	54,31	3,98	5,5	7,8	6,85
2	91	45,19	3,46	5,9	9,0	7,48
27.12.2015, Povrch 2, -0,5°C, vlhká cesta, hmľa						
4	52	15,69	2,10	5,4	8,2	7,24
5	51	14,40	1,98	6,0	8,2	7,72
27.12.2015, Povrch 3, -0,5°C, vlhká cesta, hmľa						
6	50	15,65	2,19	5,4	7,7	6,57
7	50	14,93	2,15	5,4	7,4	6,65
29.12.2015, Povrch 4, 6°C, bahno						
8	52	17,55	2,37	5,3	7,5	6,07
9	52	17,15	2,37	5,3	7,2	6,11
30.12.2015, Povrch 5, 0°C, sucho						
10	52	23,78	3,13	3,6	5,4	4,83
11	52	20,36	2,74	4,5	6,1	5,47
1.1.2016, Povrch 6, -3,5°C, sneh 8 mm						
12	21	6,39	2,13	1,9	3,7	2,82
13	31	13,55	2,93	2,2	4,5	2,93
14	41	22,61	3,90	2,0	4,1	2,89
15	51	30,55	4,33	2,5	4,8	3,08
16	61	45,93	5,13	2,4	4,3	3,23
17	72	68,90	6,74	2,3	4,0	2,90
2.1.2016, Povrch 1, -3,5°C, sneh 2 mm						
18	55	24,86	3,18	3,9	5,7	4,73
19	54	24,25	3,12	4,0	5,8	4,80
20	73	44,74	4,28	3,4	5,6	4,57
21	74	45,42	4,39	3,3	5,2	4,70
22	90	70,64	5,51	3,2	5,4	4,46
23	91	71,93	5,73	3,4	5,3	4,47
24	43	16,03	2,65	3,7	5,2	4,73
25	31	8,17	1,83	3,8	5,7	4,75
26	56	26,46	3,40	3,8	5,8	4,69
27	60	30,73	4,04	3,5	6,2	4,51
28	50	23,21	3,48	3,1	5,6	4,26
29	55	29,22	4,07	2,6	5,4	3,89
30	54	29,12	3,81	2,2	5,1	4,36

č. 1 až 25 - vozidlo Seat Leon

č. 1 až 2 - použité letné pneumatiky

č. 1 - vyradené ABS

č. 26 až 30 - vozidlo Škoda Favorit

č. 29 až 30 - prerušované brzdenie

Tabuľka 4.1: Prehľad zistených hodnôt spomalenia brzdou skúškou z XL Metru

Merania č. 18 - 30 boli zaznamenané aj pomocou fotobuniek. Fotobuniek bolo 6

a boli rozostavené po piatich metroch od seba, ako je vidieť na obrázku 4.14. Vozidlo vždy začalo brzdiť pár metrov pred prvou fotobunkou. Takže napríklad pri meraní č. 25, kde je brzdná dráha 8,17 m vozidlo prešlo iba prvou fotobunkou a jeho spomalenie sa z údajov časomiere nedá určiť. Na prejdeie všetkými fotobunkami bola potrebná brzdná dráha aspoň 25 metrov.



Obr. 4.14: Rozostavenie fotobuniek s 5 m rozostupmi

Každá fotobunka zaznamenala čas prejazdu (t_r) brzdiaceho vozidla. Odčítaním susedných časov dostaneme čas na úseku (t) medzi fotobunkami. Každý úsek mal dĺžku 5 m, vypočítame priemernú (strednú) rýchlosť úseku (v). Zo zmeny stredných rýchlostí a časov sa dá vypočítať spomalenie pri prechode z jedného úseku na druhý (a). MFDD je aritmetický priemer všetkých vypočítaných spomalení.

č.	1	2	3	4	5	6
tr	11:52:45,007	11:52:45,308	11:52:45,638	11:52:46,014	11:52:46,434	11:52:46,940
t [s]		0,301	0,330	0,376	0,420	0,506
v [$m \cdot s^{-1}$]		16,61	15,15	13,30	11,90	9,88
a [$m \cdot s^{-2}$]			4,63	5,25	3,50	4,37
MFDD [$m \cdot s^{-2}$]						4,44

č. - číslo fotobunky n

tr - reálny čas tr_n

t - diferencia reálnych časov $t_{n+1} = tr_{n+1} - tr_n$ [s]

v - priemerná rýchlosť na úseku $v_n = s / t_n$ [$m \cdot s^{-1}$]

a - priemerné spomalenie medzi úsekmi $a_{n+1} = (v_n - v_{n+1}) / ((t_n + t_{n+1}) / 2)$ [$m \cdot s^{-2}$]

MFDD - priemerné maximálne spomalenie [$m \cdot s^{-2}$]

Tabuľka 4.2: Príklad výpočtu priemerného maximálneho spomalenia z údajov časomierey

Merania č. 18 - 25 boli zaznamenané aj pomocou Racelogic. Porovnanie zistených hodnôt spomalenia sa nachádza v tabuľke 4.3.

Č.	Poč. rých. [$km \cdot h^{-1}$]	XL Meter [$m \cdot s^{-2}$]	Časomiera [$m \cdot s^{-2}$]	Racelogic [$m \cdot s^{-2}$]
2.1.2016, Povrch 1, -3,5°C, sneh 2 mm				
18	55	4,73	4,76	4,69
19	54	4,80	4,72	4,62
20	73	4,57	4,44	4,45
21	74	4,70	4,57	4,63
22	90	4,46	4,33	4,45
23	91	4,47	4,34	4,48
24	43	4,73	4,80	4,65
25	31	4,75	-	4,60
26	56	4,69	4,61	-
27	60	4,51	4,43	-
28	50	4,26	4,17	-
29	55	3,89	3,93	-
30	54	4,36	4,00	-

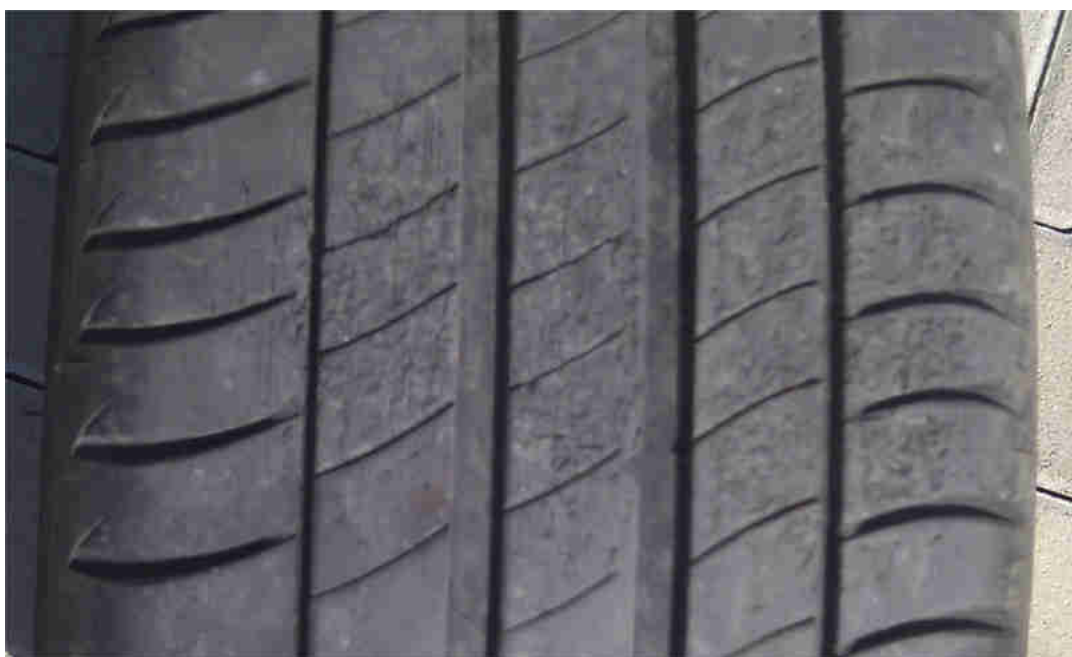
Tabuľka 4.3: Porovnanie zistených hodnôt spomalenia z XL Metru, Racelogic a časomierey

Priemerná odchýlka medzi meraniami XL Metru a časomierey je menšia ako 3%, priemerná odchýlka medzi meraniami XL Metru a Racelogic je menšia ako 2%.

Komentár k brzdnéj skúške č. 1

Plné stlačenie brzdového pedálu s vyradeným systémom ABS zablokovalo predné kolesá, zadné kolesá sa otáčali kvôli regulátoru brzdného tlaku na zadnej náprave.

Vozidlo až do zastavenia pokračovalo v priamom smere, nezačalo vybočovať, ani sa stáčať. S vozidlom s posilovačom brzdného účinku a vyradeným ABS bolo pomerne jednoduché zablokovat' predné kolesá. Bolo ťažké odhadnúť, akou silou treba pôsobiť na brzdomý pedál, aby sa predné kolesá nezablokovali a vozidlo ostalo ovládateľné. Už po prvom intenzívnom brzdení s vyradeným ABS ostala na každej z pneumatikách prednej nápravy výrazne opotrebená plocha, ktorá pri ďalšej jazde spôsobila klepanie volantom vo vyšších rýchlostiach. Systém ABS okrem zachovania ovládateľnosti zabezpečí aj rovnomernejšie opotrebovanie pneumatík pri brzdení. Tým pomáha predísť vibráciám a zvýšenému hluku v kabíne.



Obr. 4.15: Poškodenie pneumatiky intenzívnym brzdením s vyradeným ABS

Komentár k brzdnej skúške č. 8

Testovacia plocha s bahnom pôsobila ako povrch so zlou prilnavosťou, no dosiahnuté spomalenie bolo zrovnateľné s mokrou cestou.

Komentár k brzdnej skúške č. 10

Suché kamenné kocky subjektívne vyzerajú ako povrch s dobrou prilnavosťou, avšak brzdná dráha je znateľne dlhšia, ako na asfaltovom povrchu.

Komentár k brzdnej skúške č. 17

Na čerstvo zasneženom povrchu sa vozidlo pri brzdení stáčalo do oboch smerov, jazdu bolo treba korigovať miernym natáčaním volantu počas celej doby brzdenia, ktorá trvala skoro 7 sekúnd.

Komentár k brzdnej skúške č. 23

Vrstva snehu 2 mm je tak malá, že po brzdiacom vozidle ostávajú stopy v podobe odkrytého šedohnedého asfaltu, ktoré sú dobre viditeľné vďaka kontrastu s bielym okolím. Pri tejto skúške bola dosiahnutá najdlhšia brzdná dráha - 72 m.

4.5 Skúška akcelerácie

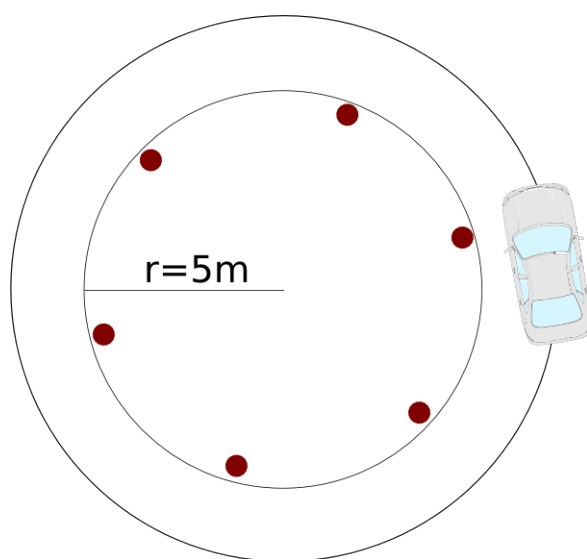
Skúška akcelerácie prebiehala s vozidlom Seat Leon na suchom povrchu s letnými pneumatikami pri teplote 10 °C. Pribeh akcelerácie je vidieť na grafe v prílohe B. Skúška sa potom opakovala na iných povrchoch so zimnými pneumatikami. Na suchej ceste bola akcelerácia na prvom rýchlostnom stupni $5,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, je limitovaná výkonom motora, pneumatiky v pozdĺžnom smere nevyužili maximálnu dosiahnuteľnú adhéziu silu. Na mokrej ceste pri teplote 3 °C pneumatiky už výrazne preklzovali a zasahoval systém ASR. Vyššie zrýchlenie ako $4,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ sa nepodarilo dosiahnuť. Na zasneženej ceste s výškou **snehu 8 mm** bola maximálna dosiahnuteľná akcelerácia len $1,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Vozidlo Škoda Favorit na zasneženom povrchu s výškou **snehu 2 mm** dosiahlo $3,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Na štvrtom rýchlostnom stupni sa situácia medzi letnými a zimnými pneumatikami obrátila. Letné pneumatiky na suchom povrchu dosiahli akceleráciu $1,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Zimné pneumatiky na mokrom povrchu dosiahli $1,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, čo je o $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ viac. Bolo to spôsobené nižšou hmotnosťou diskov so zimnými pneumatikami a menšou šírkou pneumatík. Malý vplyv mala aj nižšia teplota vzduchu, kedy má vzduch väčšiu hustotu a dosiahne sa tak lepšie plnenie valcov.

Po uvoľnení plynového pedála so zaradením štvrtým rýchlostným stupňom vozidlo spomalovalo $0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

4.6 Kruhová skúška

Z kuželiiek sa na rovnom povrchu bez sklonu postavil kruh s polomerom 5 m. Vozidlo jazdilo čo najbližšie k okraju kruhu z vonkajšej strany. Cieľom skúšky bolo prejsť 10 koliečok okolo kruhu v čo najkratšom čase. Smer pohybu vozidla sa korigoval miernym natočením volantu do potrebného smeru, v niektorých chvíľach sa dal korigovať iba prácou s plynovým pedálom. Brzdový pedál ani ručná brzda neboli používané.



Obr. 4.16: Náčrtok kruhovej skúšky

Čas prvého kola sa vo výpočtoch nezohľadňuje, lebo vozidlo sa rozbiehalo. Ostatné kolá boli odjazdené so zaradeným 2. rýchlostným stupňom. Kruhovú skúšku s nepárnym poradovým číslom sa jazdili proti smeru hodinových ručičiek, skúšky s párnym poradovým číslom sa jazdili v smere hodinových ručičiek.

Polomer kružnice, po ktorej sa pohybovalo vozidlo sa dá odhadnúť ako súčet polomeru kruhu z kuželiiek, polovice rozchodu vozidla a rezervnej vzdialenosti 0,5 m. Pre vozidlo Seat to činí 6,27 m, pre vozidlo Škoda 6,20 m. Tento odhad je iba orientačný, priemerný polomer kružnice bol odmeraný zo zanechaných stôp vozidla a skontrolovaný údajmi z GPS. Je to 7,0 m pre jazdu proti smeru hodinových ručičiek, táto hodnota bude použitá v ďalších výpočtoch. Pri jazde v smere hodinových ručičiek vodič sedí na vzdialenejšej strane vozidla od kruhu a má výrazne obmedzený výhľad na kuželky. Jednotlivé prejazdy boli viac rozptýlené smerom od stredu. Preto sa v tabuľke [4.4](#)

nachádza v zátvorke aj hodnota, ktorá vznikla uvažovaním polomeru kružnice 8,0 m.

Priemerná rýchlosť jedného prejazdu sa vypočíta ako:

$$v = \frac{2 \cdot \Pi \cdot r}{t} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (15)$$

Priečne zrýchlenie sa vypočíta ako:

$$a_y = \frac{v^2}{r} \quad [m \cdot s^{-2}] \quad (16)$$

Bočné zrýchlenie môžeme namerať vo vnútri vozidla, je ovplyvnené klopením. Priečne zrýchlenie je preto o niečo menšie. [28]

Č.	Priemerný čas kola [s]	Priemerná rýchlosť [km · h ⁻¹]	Vypočítané priečne zrýchlenie [m · s ⁻²]	XL Meter bočné zrýchlenie [m · s ⁻²]
2.1.2016, Povrch 1, -3,5°C, sneh 2 mm				
1	7,87	20,1	4,48	4,5 - 6,9
2	8,31	19,1 (21,8)	4,01 (4,58)	3,9 - 6,7
16.1.2016, Povrch 1, 3°C, vlhko, veterno				
3	6,79	23,3	6,00	4,3 - 8,6
4	7,82	20,2 (23,1)	4,52 (5,16)	2,8 - 7,0
5	6,61	24,0	6,34	4,6 - 8,9
6	7,32	21,7 (24,8)	5,17 (5,91)	3,5 - 8,0
17.1.2016, Povrch 1, 0°C, vlhko, slnečno				
7	6,24	25,4	7,09	5,7 - 9,0
8	7,33	21,6 (24,7)	5,15 (5,88)	3,6 - 7,6
9	6,93	22,9	5,77	5,3 - 8,8
10	7,90	20,1 (23,0)	4,45 (5,08)	4,1 - 6,7

č. 1, 2, 7 až 10 - vozidlo Škoda Favorit

č. 3 až 6 - vozidlo Seat Leon

č. 5, 6 - vypnuté ESP

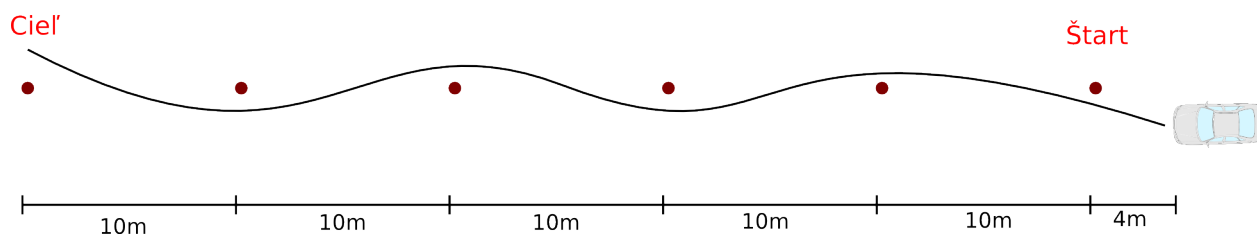
č. 9, 10 - vozidlo riadil druhý vodič

Tabuľka 4.4: Prehľad zistených hodnôt z kruhovej skúšky

4.7 Slalom

Dráha slalomu obsahovala 6 kužielok s 10 m rozostupmi, postavených na jednej priamke. Vozidlo sa rozbiehalo zo vzdialenosti 4 m od prvej kužielky. Čas sa začal merať, keď vozidlo bolo na úrovni prvej kužielky a prestal sa merať, keď vozidlo dosiahlo úroveň

poslednej kuželky. Cieľom bolo prejsť dráhu slalomom v čo najkratšom čase.



Obr. 4.17: Náčrtok slalomu

Vzdialenosť priečného premiestnenia potrebná na prejazd z jednej krajnej polohy do druhej sa dá odhadnúť ako šírka rozchodu vozidla + 1 m. U vozidla Seat to je 2,53 m, u vozidla Škoda 2,40 m. Priemerná vzdialenosť priečného premiestnenia je určená zo súradníc zaznamenaných Racelogic-om a je to 2,42 m. Táto vzdialenosť odpovedá odhadu a bude sa používať pri ďalších výpočtoch.

Priemerná pozdĺžna rýchlosť sa vypočíta ako dĺžka meraného úseku (50 m) deleno čas jazdy. Vozidlo počas slalomu 5 krát vykonalo priečne premiestnenie dvoma oblúkmi, preto sa celkový čas delí 5. Výpočet priečného zrýchlenia vychádza z Kovaříkovho vzorca. Jeho úpravou dostaneme:

$$a_y = \frac{7,9524 \cdot y}{(t : 5)^2} \quad [m \cdot s^{-2}] \quad (17)$$

V poslednom stĺpci tabuľky 4.5 sa nachádzajú hodnoty bočného zrýchlenia získané XL Metrom, pri prejazde okolo kužielok. Vynechaná je hodnota pri prvej a poslednej kuželke, lebo pri nich nebolo využité maximálne zrýchlenie. Ukážka grafu sa nachádza v prílohe ??.

Č.	Čas jazdy [s]	Priemerná pozdlžna rýchlosť [km · h ⁻¹]	Vypočítané prične zrýchlenie [m · s ⁻²]	XL Meter bočné zrýchlenie [m · s ⁻²]			
2.1.2016, Povrch 1, -3,5°C, sneh 2 mm							
1	10,9	16,5	4,04	4,4	4,3	5,0	5,2
2	9,7	18,5	5,08	5,0	5,2	5,2	5,3
3	9,7	18,5	5,08	5,9	5,3	5,4	5,4
4	10,1	17,9	4,73	5,5	5,1	5,0	5,5
5	9,8	18,3	4,97	6,0	6,0	6,0	6,0
6	9,2	19,5	5,66	5,6	5,1	5,5	6,1
16.1.2016, Povrch 1, 3°C, vlhko, veterno							
7	9,2	19,6	5,68	7,0	6,0	7,3	7,2
8	9,0	20,0	5,94	7,2	6,5	7,3	8,2
9	9,0	20,0	5,94	7,4	5,3	6,9	7,1
10	9,4	19,1	5,45	6,9	6,9	7,0	7,0
11	9,2	19,6	5,68	6,5	6,3	7,1	7,1
12	9,8	18,4	5,01	7,4	7,0	7,3	8,0
13	8,9	20,2	6,07	5,8	6,6	7,0	7,1
14	8,8	20,5	6,21	6,7	7,0	6,8	7,1
17.1.2016, Povrch 1, 0°C, vlhko, slnečno							
15	8,9	20,2	6,07	6,0	6,0	6,5	7,1
16	9,1	19,8	5,81	6,0	6,0	7,0	6,0
17	8,3	21,7	6,98	6,0	5,7	6,0	6,0
18	8,7	20,7	6,36	6,3	5,0	6,0	6,6

č. 1 až 6, 15 až 18 - vozidlo Škoda Favorit

č. 7 až 14 - vozidlo Seat Leon

č. 11 až 14 - vypnuté ESP

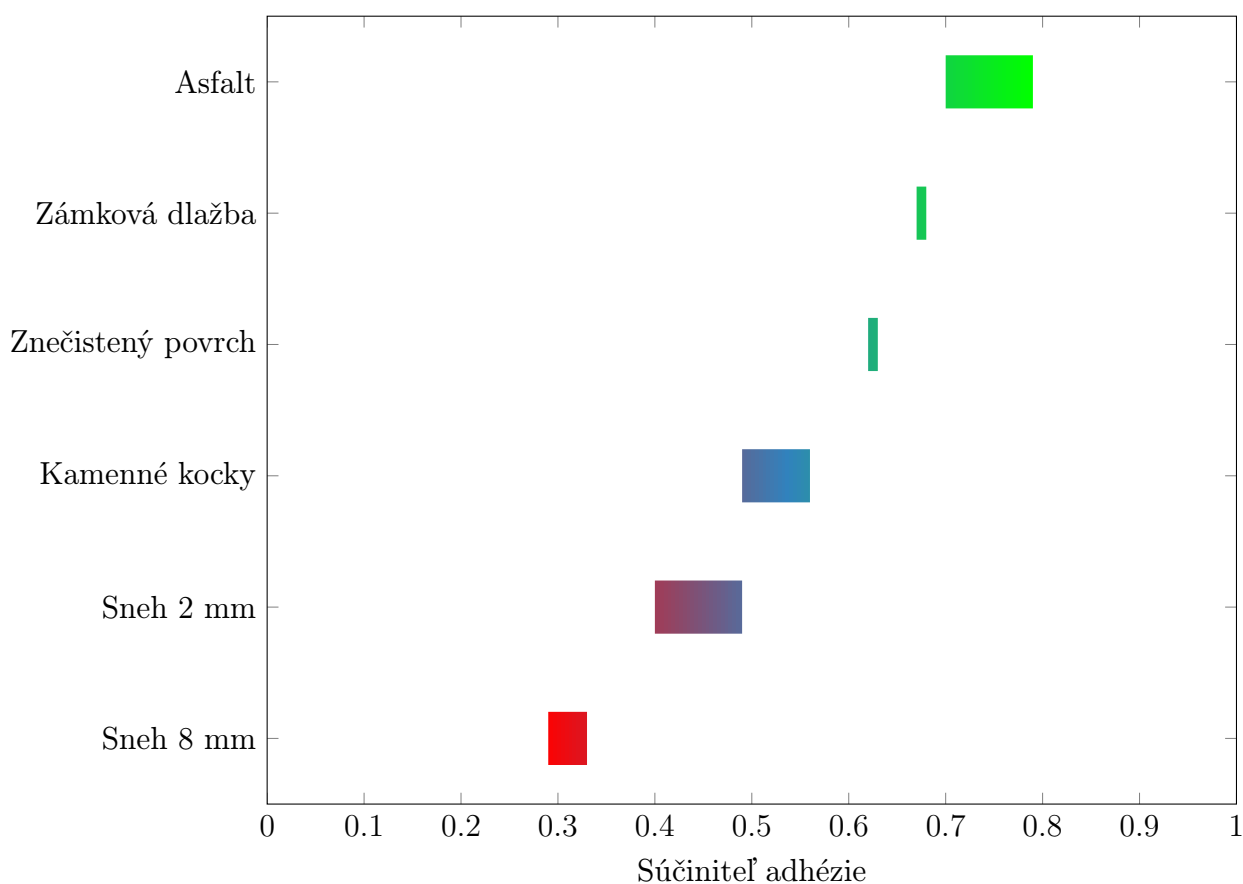
č. 17, 18 - vozidlo riadil druhý vodič

Tabuľka 4.5: Prehľad zistených hodnôt zo slalomu

Vyhodnotenie

5.1 Prehľad získaných hodnôt

Z tabulky 4.1 bol vytvorený prehľad súčiniteľov adhézie. Použité boli stredné hodnoty spomalenia (MFDD). Preto má napríklad znečistený povrch malé rozpätie hodnôt. Minimálny a maximálny extrém súčiniteľa adhézie sa dá zjednodušene dosiahnuť pridaním hodnoty 0,1 na obidve strany rozpätia.



Obr. 5.1: Prehľad zistených stredných hodnôt súčiniteľa adhézie v zimnom období z XL Metru

Povrch	Brzdňá skúška	Kruhová skúška	Slalom
Asfalt	6,85 - 7,72	4,45 - 7,09	5,45 - 6,98
Zámková dlažba	6,57 - 6,65	-	-
Znečistený povrch	6,07 - 6,11	-	-
Kamenné kocky	4,83 - 5,47	-	-
Sneh 2 mm	3,89 - 4,80	4,01 - 4,48	4,04 - 5,66
Sneh 8 mm	2,82 - 3,23	-	-

Tabuľka 5.1: Prehľad zistených stredných hodnôt spomalenia $[m \cdot s^{-2}]$ rôznymi skúškami

Tabuľka 5.1 obsahuje prehľad hodnôt spomalenia z brzdnej skúšky a vypočítané hodnoty priečného zrýchlenia z kruhovej skúšky a slalomu. Hodnoty si približne odpovedajú.

5.2 Vplyv rýchlosti vozidla na dosiahnutelné spomalenie

Závislosť dosiahnuteľného spomalenia na rýchlosti vozidla je vidieť v prílohe ???. Potvrdilo sa, že dosiahnuteľné spomalenie klesá so zvyšujúcou sa rýchlosťou. Pre povrch s 2 mm snehu sa dá zistená závislosť vyjadriť priamkou $f(x) = 0,01x - 5,21$, kde x je rýchlosť $[km \cdot h^{-1}]$, $f(x)$ je potom spomalenie $[m \cdot s^{-2}]$.

5.3 Verifikácia získaných hodnôt z kruhovej skúšky

V ukážke sú použité hodnoty z merania č. 1. Bočné zrýchlenie zistené XL Metrom bolo 4,5 až 6,9 $m \cdot s^{-2}$. Po dosadení do vzorca získame teoreticky vypočítanú maximálnu rýchlosť v rovinnom oblúku:

$$v_t = \sqrt{a \cdot r} = \sqrt{(4,5 \div 6,9) \cdot 7} = 5,61 \div 6,95 [m \cdot s^{-1}] = 20,2 \div 25,0 [km \cdot h^{-1}] \quad (18)$$

Skutočná rýchlosť bola:

$$v_s = \frac{2 \cdot \Pi \cdot r}{t} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 7}{7,87} = 5,59 [m \cdot s^{-1}] = 20,1 [km \cdot h^{-1}] \quad (19)$$

Keď sa zohľadní klopenie vozidla pri jazde, výsledky sa dajú považovať za presné.

5.4 Verifikácia získaných hodnôt zo slalomu

V ukážke sú použité hodnoty z merania č. 3. Bočné zrýchlenie zistené XL Metrom bolo 5,3 až 5,9 $m \cdot s^{-2}$. Vozidlo sa priečne premiestnilo o 2,42 m. Čas potrebný na priečne premiestnenie sa vypočíta pomocou Kovaříkovho vzorca:

$$t_t = 3,13 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_y}} = 3,13 \cdot \sqrt{\frac{2,42}{5,3 \div 5,9}} = 2,0 \div 2,12 \quad [s] \quad (20)$$

Skutočný čas premiestnenia sa vypočíta ako celkový čas deleno počet premiestnení:

$$t_s = 9,7 : 5 = 1,94 \quad [s] \quad (21)$$

Použitá konštanta 3,13 vo vzorci zohľadňuje spozdenie mechanizmu riadenia a vplyv momentu zotrvačnosti vozidla. Keby použijeme konstantu 2,82, ktorá tieto faktory nezohľadňuje, zistíme minimálny čas priečného premiestnenia 1,81 s. Z toho vyplýva, že testovacie vozidlo dosiahlo lepšie priečne premiestnenie, ako obecné vozidlo, minimálny čas však nebol dosiahnutý.

Záver

V práci bol vytvorený prehľad hodnôt súčiniteľa adhézie rôznych povrchov, publikovaných rozličnými autormi. Hodnoty boli rozdelené na bežné a krajné. V praktickej časti boli na zistenie súčiniteľa adhézie použité brzdná skúška, kruhová skúška, slalom a skúška akcelerácie. Jazdné skúšky boli realizované na viacerých povrchoch v zimnom období. Zistené hodnoty súčiniteľa adhézie pre asfaltový povrch a zámkovú dlažbu sa nevymykajú od bežne používaných hodnôt z iných publikácií. Znečistený povrch bol výzorom najviac podobný mokrej poľnej ceste, no zistený súčiniteľ adhézie bol o 0,2 vyšší ako používaný priemer. Neprekračuje však maximálny extrém z iných publikácií. Zistený súčiniteľ adhézie na kamenných kockách (mačacích hlavách) je zhodný so súčiniteľom adhézie mokrých kamenných kociek, aj keď v čase merania bolo sucho. Výsledok pravdepodobne ovplyvnila teplota 0 °C počas merania. Prilnavosť na povrchu s výškou snehu 2 mm sa blížila k hornému extrému súčiniteľa adhézie snehu. Bolo to spôsobené tým, že snehová vrstva bola príliš malá na to, aby spôsobila stratu kontaktu pneumatiky s drsnými výbežkami asfaltu. Súčiniteľ adhézie povrchu s výškou snehu 8 mm už spadá do hornej oblasti priemerných hodnôt. Sneženie bolo čerstvo napadané, takže dolné hranice neboli dosiahnuté.

Pri akcelerácii na zasneženom povrchu s výškou snehu 2 mm vozidlo Škoda Favorit dosiahlo zrýchlenie $3,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Pre porovnanie vozidlo Seat Leon na zasneženej ceste s výškou snehu 8 mm dosiahlo zrýchlenie len $1,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, priom má vyšší výkon motoru o viac ako dvojnásobok. Dá sa konštatovať, že športový potenciál motoru sa dá využiť iba vtedy, keď pneumatiky dokážu výkon preniesť na vozovku.

Kruhovou skúškou bol zistený súčiniteľ adhézie v priečnom smere. Teoreticky maximálna rýchlosť jazdy v rovinnom oblúku odpovedala nameranej rýchlosti. Časy kôl pri jazdách proti smeru hodinových ručičiek boli mierne lepšie ako časy jász z smeru hodinových ručičiek, lebo keď vodič sedí na vzdialenejšej strane vozidla, má obmedzený

výhľad na kuželky. To spôsobuje jazdu po kružnici s mierne väčším polomerom.

Pri slalome sa vozidlo 5 krát priečne premiestnilo dvoma oblúkmi. Bol zistený minimálny čas potrebný na priečne premiestnenie vozidla. Verifikáciu podľa Kovaříkovho vzorca, ktorý zohľadňuje spozdzenie mechanizmu riadenia a vplyv momentu zotrvačnosti, boli zistené mierne odlišnosti v časoch. Testovacie vozidlá dosiahli lepšie priečne premiestnenie, ako obecné vozidlo.

Na zistenie spomalenia pri brzdnéj skúške bol použitý aj neobvyklý spôsob pomocou časomeračského vybavenia. Priemerná odchýlka medzi meraniami XL Metru a časomierou bola menšia ako 3%. Z dát časomierou bol určený vplyv rýchlosti vozidla na dosiahnuteľné spomalenie.

6.1 Možnosti ďalšieho výskumu

Spomalenie určené pomocou dát z časomierou bolo síce relatívne presné, no fotobunky nezachytili časy prejazdu brzdiaceho vozidla pred a hlavne za meraným úsekom. Spresnenie výsledkov by sa dalo dosiahnuť predĺžením meraného úseku a použitím menších rozstupov medzi fotobunkami. Toto riešenie by však bolo technicky náročnejšie. Ďalšie spresnenia by sa dali dosiahnuť aj v kruhovej skúške a slalome meraním viacerých medzičasov. Zaujímavá je až možnosť zmeny polomeru kruhovej skúšky a zmeny rozstupov kužielok pri slalome. Ďalšia možnosť je zistiť, pri akom súčiniteli adhézie dôjde k zablokovaniu kolies pri prudkom podradení, alebo pustení plynového pedála. Súbor nameraných hodnôt sa dá rozšíriť uskutočnením ďalších meraní, na ďalších povrchoch, v iných podmienkach, prípadne použitím iných vozidiel.

Literatúra

- [1] BRADÁČ, Albert. Soudní inženýrství. Dot. 1. vyd. Brno: CERM, 1999. ISBN 80-7204-133-9.
- [2] BURG, Heinz. MOSER, Andreas. Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion. Wiesbaden : Vieweg, 2007. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2. citované v SEMELA, Marek. Analýza silničních nehod I. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2012. ISBN 978-80-214-4548-2.
- [3] BURG, Heinz. MOSER, Andreas. Handbook of Accident Reconstruction: Accident investigation, Vehicle dynamics, Simulation. 1st ed. Washington: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2014. ISBN 978-149-2328-421.
- [4] SEMELA, Marek. Analýza silničních nehod I. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2012. ISBN 978-80-214-4548-2.
- [5] VALA, Miroslav a Miroslav TESAŘ. Teorie a konstrukce silničních vozidel I. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-503-X.
- [6] VLK, František. Automobilová technická příručka. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-9681-4.
- [7] VLK, František. Dynamika motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.
- [8] VLK, František. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Brno: Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.
- [9] ZANTEN, Anton van. Regulace jízdní dynamiky ESP. Praha: Robert Bosch, 2001. ISBN 80-902585-8-1.
- [10] Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (zákon o silničním provozu).
- [11] Analýza brzdění, brzdné dráhy osobních vozidel 1. Marcel Janco, znalec v odbore Doprava cestná. [online]. [cit. 2016-01-28]. Dostupné z: <http://marceljanco.sk/analyza-brzdenia-brzdne-drahy-osobnych-vozidiel-1/>
- [12] Analýza brzdění, brzdné dráhy osobních vozidel 2. Marcel Janco, znalec v odbore Doprava cestná. [online]. [cit. 2016-01-28]. Dostupné z: <http://marceljanco.sk/analyza-brzdenia-brzdne-drahy-osobnych-vozidiel-2/>
- [13] Analýza brzdění, brzdné dráhy osobních vozidel 3. Marcel Janco, znalec v odbore Doprava cestná. [online]. [cit. 2016-01-28]. Dostupné z: <http://marceljanco.sk/analyza-brzdenia-brzdne-drahy-osobnych-vozidiel-3/>

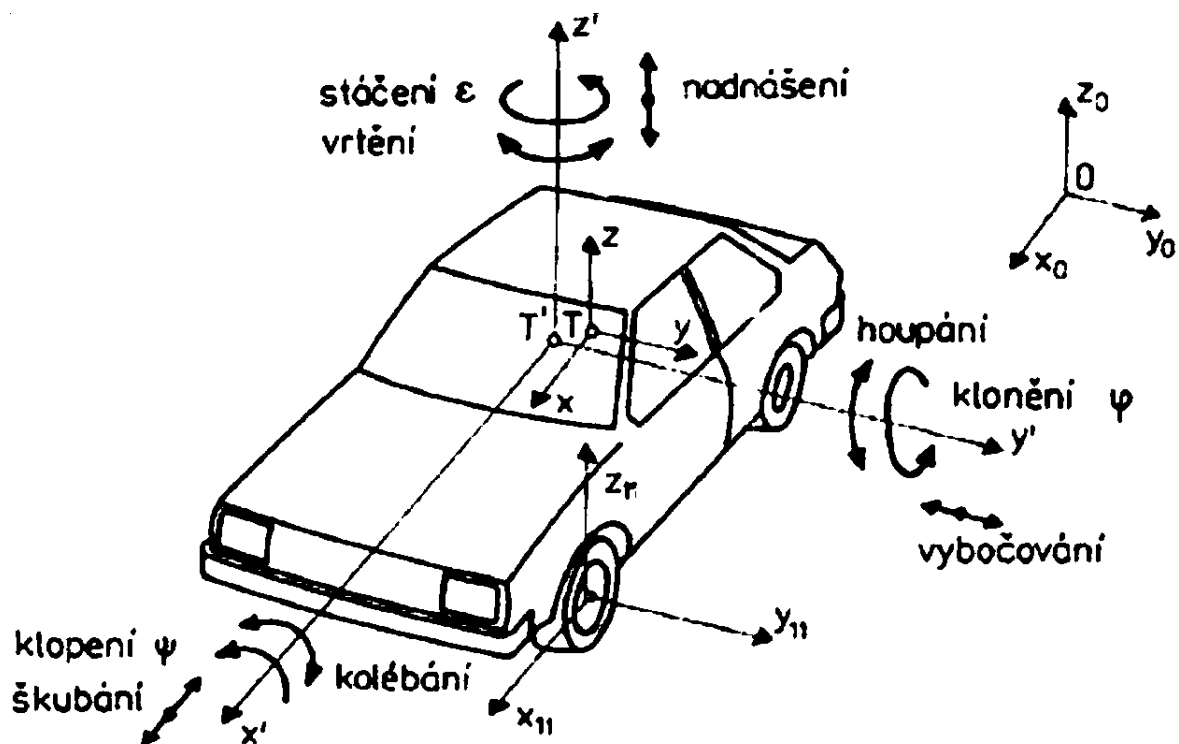
- [14] Aquaplaning. BEJA - bezpečná jazda. [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://www.beja.sk/aquaplaning.phtml?id3=53217>
- [15] Beránek. Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ). [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: www.facebook.com/permalink.php?story_fbid=432727140134198&id=132018136871768
- [16] Evaluation of Pavement Safety Performance. The Transtec Group, Inc. [online]. [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/14065/002.cfm>
- [17] Goodyear. TÜV SÜD Automotive Tire Benchmark Test 2009. Report No. 76236753-2. [online]. [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: http://www.goodyear.eu/po_pt/images/Report%20No.%2076236753-2_tcm177-57523.pdf
- [18] Goodyear. TÜV SÜD Automotive Tire Test 2010. Report No. 76244609. [online]. [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: http://www.goodyear.eu/lv_lv/images/TUV-SUD-report-UG8.pdf
- [19] Jaké jsou rozdíly mezi zimní a letní pneumatikou. Rezulteo. [online]. [cit. 2016-01-28]. Dostupné z: <http://www.rezulteo-pneumatiky.cz/pruvodce-pneumatik/vase-zimni-pneumatiky/jake-jsou-rozdily-mezi-zimni-a-letni-pneumatikou-4134>
- [20] Jsou větší pneumatiky lepší. Autoklub České republiky. [online]. [cit. 2016-01-24]. Dostupné z: <http://www.autoklub.cz/dokument/6991-jsou-vetsi-pneumatiky-lepsi.html>
- [21] Opel. TÜV SÜD Automotive Tire Benchmark 2009. [online]. [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://www.opel.com/eklenti/1/0/3/7/8/1583.attach>
- [22] Optimálny tlak v pneumatikách. Pneux. [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://www.pneux.sk/obsah/26-informacie-a-rady>
- [23] PerformanceBox. VBOX Motorsport. [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.vboxmotorsport.co.uk/index.php/en/products/performance-meters/performancebox>
- [24] Performance evaluation of an anti-lock braking system for electric vehicles with a fuzzy sliding mode controller. Molecular Diversity Preservation International. [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <https://www.e-helvetica.nb.admin.ch/directAccess?callnumber=bel-433401>
- [25] Prezuť, či dojazdiť ešte letné. Podkapotou. [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://podkapotou.zoznam.sk/cl/1000618/1331153/Prezut--ci-dojazdit-este-letne>
- [26] Road surface texture and skid resistance. IOP Publishing Ltd. [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/2051-672X/3/4/043001>

- [27] Soudní inženýrství: Forensic engineering : časopis pro soudní znalectví v technických a ekonomických oborech. Brno: CERM, 1990-. ISSN 1211-443x. 4x ročně. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-02-97-102.pdf>
- [28] Soudní inženýrství: Forensic engineering : časopis pro soudní znalectví v technických a ekonomických oborech. Brno: CERM, 1990-. ISSN 1211-443x. 4x ročně. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-05-267-273.pdf>
- [29] Testing of AutoSocks on winter roads. AZ pneu. TÜV Order no. 70006115 [online]. [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: http://www.az-pneu.cz/pics/snehove_retezy/files/TUV_report.pdf
- [30] Textalk. TÜV SÜD Automotive Tire Test 2010. Report No. 76244706-1. [online]. [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: https://shop2.textalk.se/shop/21152/files/dacktester/TUVSUDAutomotive_UHP_dacktest_2010.pdf
- [31] The road surface. The contact patch. [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://the-contact-patch.com/book/road/c1603-the-road-surface>
- [32] XL Meter Pro Gamma. Inventure. [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.nehodar.cz/docs/xlmdatasheet.pdf>
- [33] Zastavenie na pneumatikách. Pneucentrum Marting. [online]. [cit. 2016-01-31]. Dostupné z: <http://www.aapneu.sk/testpneu.pdf>
- [34] Zimní pneumatiky. Osmium. [online]. [cit. 2016-01-31]. Dostupné z: http://www.osmium.cz/pdf/stk092008_16.pdf

Prehľad vzorcov

Veličina	Označenie	Jednotka	Vzorec
Čas	t	[s]	Rovnomerný pohyb: $t = s / v$ Rovnomerne spomalený pohyb: $t = (v_2 - v_1)/a$
Dráha	s	[m]	Rovnomerný pohyb: $s = v \cdot t$ Rovnomerne spomalený pohyb: $s = (v_2^2 - v_1^2)/(2 \cdot a)$
Rýchlosť	v	$[km \cdot h^{-1}]$, $[m \cdot s^{-1}]$	$v = s / t$ 1 m/s = 3.6 km/h
Zrýchlenie, spomalenie	a	[$m \cdot s^{-2}$]	$a = (v_2 - v_1)/t = (v_2^2 - v_1^2)/(2 \cdot s)$
Uhlová rýchlosť	ω	[$rad \cdot s^{-1}$]	$\omega = \varphi/t$
Obvodová rýchlosť	v	[$m \cdot s^{-1}$]	$v = \omega \cdot r$ r - polomer oblúku
Uhlové zrýchlenie	ε	[$rad \cdot s^{-2}$]	$\varepsilon = (\omega_2 - \omega_1)/t$
Sila	F	[N], $[kg \cdot m \cdot s^{-2}]$	$F = m \cdot a$
Tiažové zrýchlenie	g	[$m \cdot s^{-2}$]	$g = 9,81 m \cdot s^{-2}$
Odstredivá sila	F_O	[N], $[kg \cdot m \cdot s^{-2}]$	$F_O = (m \cdot v^2)/r$
Trecia sila	F_T	[N], $[kg \cdot m \cdot s^{-2}]$	$F_T = F_N \cdot f$ F_N - normálová sila f - súčiniteľ trenia
Hybnosť	H	[$kg \cdot m \cdot s^{-1}$]	$H = m \cdot v$

Pohyb vozidla v súradnicovom systéme a názvy pohybov karosérie pri jazdnej dynamike



Pohyb vozidla v súradnicovom systéme a názvy pohybov karosérie pri jazdnej dynamike [7]

Zoznam príloh

Príloha A - Používané hodnoty súčiniteľa adhézie

Príloha B - Výsledky meraní

Príloha C - Fotodokumentácia

Príloha D - CD